

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE

CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



ULBRA

**INVESTIGAÇÃO DOS CONCEITOS QUÂNTICOS DESENVOLVIDOS ATRAVÉS
DE REPRESENTAÇÕES VIRTUAIS EM ENSINO DE FÍSICA**

MARCELA MACEDO NEVES

ORIENTADOR: AGOSTINHO SERRANO DE ANDRADE NETO

**Canoas
2012**

MARCELA MACEDO NEVES

**INVESTIGAÇÃO DOS CONCEITOS QUÂNTICOS DESENVOLVIDOS
ATRAVÉS DE REPRESENTAÇÕES VIRTUAIS EM ENSINO DE
FÍSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil como parte dos requisitos na obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

ORIENTADOR: AGOSTINHO SERRANO DE ANDRADE NETO

**Canoas
2012**

INVESTIGAÇÃO DOS CONCEITOS QUÂNTICOS DESENVOLVIDOS ATRAVÉS DE REPRESENTAÇÕES VIRTUAIS EM ENSINO DE FÍSICA

Marcela Macedo Neves

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil como parte dos requisitos na obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Nestor C. Saavedra
UFTPR

Prof. Dra. Marlise Geller
ULBRA

Prof. Dr. Renato P. dos Santos
ULBRA

Canoas
2012

Ora, a fé é a certeza daquilo que esperamos e a prova das coisas que não vemos. (Hebreus 11:1)

Pela fé entendemos que o universo foi formado pela palavra de Deus, de modo que aquilo que se vê não foi feito do que é visível. (Hebreus 11:3)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e, em seguida, o apoio e orientação do professor Agostinho Serrano de Andrade, que com toda sua competência me ajudou a concluir este trabalho;

Registro meu reconhecimento à ULBRA e aos meus professores, por terem acreditado em meu potencial. Agradeço também a UERR e a Escola Estadual Ayrton Senna da Silva, por oportunizarem a realização deste estudo;

Um sincero agradecimento aos meus familiares (pais e irmãos), que diretamente e indiretamente me apoiaram com incentivo psicológico e financeiro, e aos amigos, pelo apoio e pelas sugestões que foram de grande valia para que esta pesquisa pudesse ser concluída;

Agradeço em especial ao meu marido Emerson, que foi capaz de me compreender e apoiar em todos os momentos de dificuldade, e por ter cuidado dos nossos filhos (M^a Clara e Caio Enzo); também agradeço a minha sogra Rosana, pelo seu apoio e dedicação que foi de fundamental importância.

RESUMO

Nessa investigação científica, a proposta tem fundamentação teórica nos campos conceituais de Gérard Vergnaud. Segundo o autor, o conhecimento só ocorre ao longo de um período de tempo, através de experiências, maturidade e aprendizagem, vivenciados pelo próprio sujeito e, por isso, organizado em campos conceituais. De acordo com esse referencial, o aprendizado ocorre quando se adquirem, de forma integrada, representações, invariantes operatórios e situações onde se apliquem o conceito. Por isso, o nosso objetivo de investigar principalmente a aquisição simultânea de representações e invariantes operatórios, durante o uso de simulações sobre o fenômeno da dualidade onda-partícula no experimento da dupla fenda. Desta forma, destacamos quatro delas: a) Interpretação Ondulatória; b) Interpretação de coletivos estatísticos (corpúscular); c) Interpretação da dupla-solução; e d) Interpretação da complementaridade. Desse modo, os experimentos produzem resultados intrinsecamente diferentes se o seu “setup” se altera. Quando há a possibilidade de dois caminhos para o objeto quântico, há o surgimento de um padrão de interferência e a necessidade de se atribuir características ondulatórias ao objeto quântico. Quando o setup se altera, para, por exemplo, permitir a detecção do “caminho” percorrido pelo objeto quântico, não ocorre a interferência e o objeto quântico se porta de forma corpúscular. Estes experimentos contemporâneos permitem que o estudante tenha contato com situações que são estudadas na área da mecânica quântica de forma bastante intuitiva. As simulações supracitadas irão, portanto, serem utilizadas como experimentos virtuais por estudantes de nível médio e expondo-lhes às situações em que, de acordo com a interpretação de Bohr, como um objeto quântico pode ser interpretado, e, portanto determinar a formação do conceito de dualidade onda-partícula. Durante todo o desenvolvimento da pesquisa, teremos três focos: a) foco na representação (ondas ou corpúsculos); b) foco nos invariantes (a simulação); e c) foco na situação (experimentos quânticos). O método a ser utilizado será uma combinação de questões compostas de questões abertas sobre situações-problemas (pré e pós-testes) utilizando-se o protocolo *Think aloud*. Esperamos assim, com essa pesquisa, investigar o aprendizado nos moldes de conceitos científicos e tornar a ferramenta um instrumento potencial na formação dos estudantes, tanto do ensino médio ou universitário.

Palavras - Chave: Teoria dos Campos Conceituais - Representações Virtuais - Softwares de Física - Simulação Dupla Fenda.

ABSTRACT

In this research proposal is a theoretical concept in the fields of Gérard Vergnaud, according to the author, knowledge only occurs over a period of time, through experience, maturity and learning experienced by the subject, therefore, organized in fields conceptual. According to this framework the learning takes place when we acquire, in an integrated manner, representations, and invariant operative situations where they apply the concept. Therefore our aim primarily to investigate the simultaneous acquisition of representations and invariants operative during the use of simulations on the phenomenon of wave-particle duality in the double-slit experiment -. Thus we highlight four of them: a) Wave Interpretation. b) Interpretation of statistical collective (corpuscular). c) interpretation of the dual-solution. d) interpretation of complementarity. Thus, the experiments produce fundamentally different results if your "setup" change. When there is the possibility of two paths to the quantum object, there is the emergence of an interference pattern and the need to assign the quantum object wave characteristics. Once the setup is changed to, for example, allow detection of the "road" traveled by the quantum object, there is no interference and quantum object behaves in a corpuscular form. These experiments allow the contemporary student has contact with situations that are studied in the field of quantum mechanics quite intuitive. The simulations above will therefore be used as virtual experiments for high school students and exposing them to situations in which, according to Bohr's interpretation as a quantum object can be interpreted, and thus determine the formation of the concept of wave-particle duality - Throughout the development of the research will have three focuses: a) focus on the representation (waves or corpuscles), b) focus on the invariants (simulation) and c) focus on the situation (quantum experiments). The method used a combination of issues will be composed of open questions about problem situations (pre-and post-tests) using the Think Aloud Protocol. We hope so, with this research to investigate the learning of scientific concepts in the mold and become a potential tool in the training of students, both high school or university.

Word - key: Conceptual Fields Theory, Virtual Representations, Physics Software, double slit simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO - FIGURAS

Figura 1 - Situação para balas e ondas.....	49
Figura 2 - Mostra os simuladores da pesquisa.....	53
Figura 3 - Mostra o tipo de representação, que atende para “laser”	53
Figura 4 - o tipo de representação, que atende para “fótons individuais”	54
Figura 5 - Mostra o tipo de representação, que atende para “Balas”	54
Figura 6 - Mostra o tipo de representação, que atende para “elétrons” – sem luz	55
Figura 7 - Mostra o tipo de representação, que atende para “elétrons” – com luz	55
Figura 8 - 1º situação – várias balas	56
Figura 9 - 2º situação – elétrons / sem luz	57
Figura 10 - 3º situação – elétrons com presença da lâmpada	58
Figura 11 - 4º situação – várias ondas	58
Figura 12 - 5º situação – uma onda	59
Figura 13 - - Pré-teste de VI, para um feixe de elétrons passando por duas fendas.	62
Figura 14 - Pré-teste de EM, para um feixe de elétrons passando por duas fendas.	62
Figura 15- Pré-teste de IA, para um feixe de elétrons passando por duas fendas....	62
Figura 16- pré-teste de NA, para um feixe de elétrons passando por duas fendas...	63
Figura 17 - Pré-teste de GI, para um feixe de elétrons passando por duas fendas ..	63
Figura 18 - Pré-teste de VI, situação com a lâmpada	64
Figura 19- Pré-teste de NA, situação com a lâmpada.....	64
Figura 20 - Pré-teste de EM, situação com a lâmpada	65
Figura 21 - Pré-teste de GI com a lâmpada	65
Figura 22 - Pré-teste de IA, situação com a lâmpada	66
Figura 23 - Pré-teste de VI	66
Figura 24 - Pré-teste de IA	66
Figura 25 - Pré-teste de GI.....	67
Figura 26 - Pré-teste de EM	67
Figura 27 - Pré-teste de NA.....	67
Figura 28 - Pré-teste de VI, sobre uma onda se propagando em direção as duas fendas	68
Figura 29 - Comentários do estudante EM.....	71
Figura 30 - Comentários do estudante IA.....	72
Figura 31 - Comentários do estudante EM na tab. 3a.....	72

Figura 32 - Comentário do estudante IA da tabela 3b.....	73
Figura 33 - Comentário do estudante EM	74
Figura 34 - Comentário do estudante EM	75
Figura 35 - Comentário do estudante IA	76
Figura 36 - Comentário do pré-teste do estudante IA	77
Figura 37 - Comentário do pós-teste do estudante IA.....	77
Figura 38 - Comentário da estudante NA.....	78
Figura 39 - Comentário do estudante VI	79
Figura 40 - Comentário do estudante NA.....	80
Figura 41 - Comentário do estudante VI	80
Figura 42 - Comentários de NA.....	81
Figura 43 - Comentário de VI.....	82
Figura 44 - Comentário de NA.....	83
Figura 45 - Comentário de VI.....	84
Figura 46 - Comentário de VI.....	86
Figura 47 - Comentário do Pós-teste de GI.....	87
Figura 48 - Comentário de GI, após os simuladores.....	88
Figura 49 - Comentários do pré-teste de GI, antes dos simuladores	88
Figura 50 - Comentários do pós-teste de GI, após os simuladores.....	88
Figura 51 - Comentários do pré-teste de GI, antes dos simuladores	89
Figura 52 - Comentários do pós-teste de GI, após os simuladores.....	89
Figura 53 - Comentário do pré-teste de GI, antes dos simuladores	90
Figura 54 - Comentário do pós-teste de GI, após os simuladores	90
Figura 55 - Comentário do pré-teste de GI – antes dos simuladores	91
Figura 56 - Comentário do pós-teste de GI – após os simuladores	91

LISTA DE FIGURAS – QUADROS

Quadro 1 - Mostra as diferenças entre cada grupo, o qual foi dividido conforme a classificação dos estudantes, considerando o seu nível de evolução.....	70
Quadro 2- Resposta do aluno EM.....	71
Quadro 3 – Resposta do estudante IA.....	71
Quadro 4 - Representação da estudante EM.....	72
Quadro 5 – Respostas do estudante IA.....	73
Quadro 6 - estudante EM.....	74
Quadro 7 – estudante IA.....	74
Quadro 8 – estudante EM.....	75
Quadro 9 – Estudante IA.....	76
Quadro 10 - do estudante EM – sem lâmpada.....	76
Quadro 11 - do estudante EM - com a lâmpada.....	77
Quadro 12 - do estudante IA.....	77
Quadro 13 - estudante NA.....	78
Quadro 14 - estudante VI.....	79
Quadro 15 – Estudante NA.....	80
Quadro 16 – estudante VI.....	80
Quadro 17 - Estudante NA.....	81
Quadro 18 - estudante VI.....	82
Quadro 19 – estudante NA.....	83
Quadro 20 - Representa dados observados de VI.....	84
Quadro 21 - Estudante NA. Sem a lâmpada.....	85
Quadro 22- estudante NA. Com a lâmpada.....	85
Quadro 23 - Estudante VI Sem a Lâmpada.....	85
Quadro 24 - estudante VI Com a lâmpada.....	86
Quadro 25 - Estudante GI.....	87
Quadro 26 - estudante GI, antes dos simuladores.....	87
Quadro 27 – estudante GI.....	88
Quadro 28 – estudante GI.....	89
Quadro 29 – estudante GI.....	90
Quadro 30 – estudante GI.....	91

INTRODUÇÃO	12
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1.1 A EVOLUÇÃO E O DESENVOLVIMENTO DAS IDEIAS DESDE OS PRIMEIROS CONCEITOS E REPRESENTAÇÕES ACERCA DO ÁTOMO. ...	14
1.2 QUANTO À TEORIA DA MECÂNICA QUÂNTICA.....	18
1.3 QUANTO AO USO DAS REPRESENTAÇÕES NO ENSINO DA MECÂNICA QUÂNTICA	24
1.4 QUANTO ÀS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS LIGADAS AO ENSINO DA FÍSICA	26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE GÉRARD VERGNAUD	29
2.2 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA	36
2.3 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NA UTILIZAÇÃO DA PESQUISA	39
3 DELINEAMENTO DA PESQUISA	43
3.1 PROBLEMÁTICA DA INVESTIGAÇÃO	43
3.2 HIPÓTESES	43
3.3 OBJETIVOS.....	44
3.4 JUSTIFICATIVA.....	44
4 METODOLOGIA DA PESQUISA	47
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PESQUISA.....	47
4.2 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS	47
4.3 PARA O EXPERIMENTO	48
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	49
5.1 EXPERIMENTO PILOTO.....	49
5.2 DETALHAMENTOS DA METODOLOGIA E DOS SOFTWARES.....	51
5.3 DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA COLETA	56
5.4 DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS	60
5.5 ANÁLISES DAS REPRESENTAÇÕES.....	70
5.6 BOA EVOLUÇÃO – (NA e VI).....	78
5.7 EXCELENTE EVOLUÇÃO – GI	86
5.8 ANÁLISES DAS REPRESENTAÇÕES E TRANSCRIÇÕES DAS ENTREVISTAS	92
5.9 LEVE EVOLUÇÃO	93

5.10 EXPERIMENTO PARA ELÉTRONS (VÁRIOS E INDIVIDUAIS) - OBJETOS QUÂNTICOS COM PRESENÇA DE LUZ.....	95
5.11 CLASSIFICAÇÃO (RELAÇÃO/REFERENCIAL).....	96
5.12 EXPERIMENTO PARA ELÉTRONS (VÁRIOS E INDIVIDUAIS) - OBJETOS QUÂNTICOS COM PRESENÇA DE LUZ.....	100
5.13 ANÁLISE GERAL.....	101
5.14 EXCELENTE EVOLUÇÃO.....	101
5.15 EXPERIMENTO PARA ELÉTRONS (VÁRIOS E INDIVIDUAIS) - OBJETOS QUÂNTICOS COM PRESENÇA DE LUZ.....	104
6 ANÁLISE GERAL.....	106
6.1 CLASSIFICAÇÃO (RELAÇÃO/REFERENCIAL):.....	106
6.2 DAS HIPÓTESES LEVANTADAS NO TRABALHO, CONCLUÍMOS:.....	107
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXO A - CARTA DE APRESENTAÇÃO	12
ANEXO B - GUIA PARA UTILIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES.....	13
APÊNDICE A	28
APÊNDICE B	38

INTRODUÇÃO

Esta dissertação busca identificar as diferentes representações e como elas influenciam na compreensão da Teoria Quântica de estudantes, assim como, a decorrente capacidade de resolução de problemas associados. Tais representações foram expostas por meio de atividades de simulação computacional, durante o processo de conceitualização do conceito de dualidade onda-partícula, por estudantes do Ensino Médio, em Boa Vista/RR. Os dados obtidos foram analisados com base na teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud.

Optou-se em trabalhar esse tema com alunos do ensino médio pelo fato de entender que existe uma leve tendência em incluir esse assunto nesse nível, há muito tempo já visto em trabalhos como de Ileana Greca, Marco Antonio Moreira (2001) e Fernanda Ostermann (2000); outro motivo foi o entusiasmo que os alunos têm quando se deparam com o fascínio da física quântica, fazendo com que aumente seu interesse em estudar física.

Objetivando contribuir com uma mudança do quadro, por vezes desalentador, existente no ensino médio brasileiro e tornar o processo de ensino-aprendizagem mais proveitoso e interessante, introduzi a utilização das tecnologias computacionais para abordar as representações dos comportamentos de partículas e ondas. Estas são colocadas em situações específicas, de modo a visualizar tal fenômeno da dualidade onda-partícula. Esta pesquisa foi realizada utilizando as situações-problemas existentes dentro dos experimentos virtuais: Quantum Eraser e Doppel Spalt Versush – os quais foram analisados com base na teoria dos Campos Conceituais. A escolha por trabalhar com essa teoria se deu pelo fato de que a estrutura da Teoria dos Campos Conceituais parece se encaixar mais em uma análise representacional, a qual parte para uma compreensão do conceito de dualidade onda-partícula formada pelos estudantes; também pelo fato de que a estrutura de Campos Conceituais e a definição de um conceito são direcionadas a habilitar pesquisadores e professores à melhor compreensão.

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC), desenvolvida por Gérard Vergnaud, considera que o processo de formação de conceitos envolve três conjuntos: o das situações, o dos invariantes operatórios e o das representações (VERGNAUD,1996). Nosso maior foco está no conjunto das representações, baseado nos pressupostos da TCC, que considera que elas podem ajudar o

estudante a resolver problemas que não conseguiriam sem este tipo de suporte e que alguns tipos de representações podem ser “mais poderosos” que outros no processo de conceitualização (VERGNAUD, 1982).

Inicialmente realizamos um levantamento bibliográfico da temática da representação da estrutura atômica e seus questionamentos, a qual permanece válida até hoje. Em seguida foi realizado o desenvolvimento de um estudo piloto e um experimento, que consistiram em: aula expositiva, pré-teste, tratamento (aula no laboratório de informática), pós-teste e entrevistas, respectivamente.

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo investigar os conceitos quânticos desenvolvidos pelos estudantes ao utilizar representações virtuais oferecidas pelos softwares utilizados quando os objetos quânticos são utilizados em situações diferentes. O software é um facilitador desta conceitualização, pois, a Mecânica Quântica é considerada para muitos cientistas a maior revolução científica da história da humanidade (pela profundidade da sua teoria), mas traz consigo o fardo de ser de difícil compreensão. Os softwares vieram para ajudar nesse impasse, mas podem ser considerados como verdadeiros obstáculos quando não trabalhados com os cuidados didáticos que exigem (ANDREU, 1996).

O capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica e aborda a importância do estudo da Mecânica quântica (desde os primeiros conceitos da estrutura da matéria) e seus primeiros questionamentos quanto ao comportamento das partículas e das ondas, assim como, a contribuição das ferramentas tecnológicas para o uso dos conceitos desenvolvidos durante a pesquisa.

O capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, apresenta alguns aspectos da Teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud e sua influência na aprendizagem e no desenvolvimento dos conceitos físicos.

O capítulo 3 apresenta a problemática da pesquisa, e as possíveis hipóteses da pesquisa – a exposição dos objetivos (geral e específicos), e a justificativa do trabalho que abrange a ferramenta virtual e a escolha da teoria abordada.

Nos capítulos 4 e 5 descrevemos a metodologia, juntamente com os resultados e a discussão. Eles apresentam os aspectos abordados pelos estudantes no desenvolvimento das questões do pré-teste e pós-teste e a relação entre os conceitos trabalhados com os níveis de representação, utilizados durante o experimento por meio dos softwares de simulação.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresentamos algumas amostras de pesquisas que vão dar base à visão do trabalho, contribuindo para o esclarecimento do uso das ferramentas tecnológicas (softwares) e a importância do estudo da mecânica quântica no ensino médio ou universitário.

1.1 A EVOLUÇÃO E O DESENVOLVIMENTO DAS IDEIAS DESDE OS PRIMEIROS CONCEITOS E REPRESENTAÇÕES ACERCA DO ÁTOMO.

Há muito tempo, já se discutia a respeito da estrutura atômica. Essas idéias foram evoluindo, durante todo o período da história até os dias atuais, atingindo posições relevantes e satisfatórias frente as indagações científicas. Contudo, torna-se importante evidenciar a teoria quântica segundo seus princípios, interpretações, representações e modelos. Faremos isso apresentando, de forma sucinta, essa evolução representacional. Esta exposição está fundamentada na obra de Benuzzi (MARTINS, 2001).

1.1.1 As origens

Entre as várias teorias sobre a constituição da matéria que compunham o universo na antiguidade grega, havia a hipótese atomista (MARTINS, 2001). Esta hipótese possibilitou aos seus autores, Leucipo e Demócrito, da Escola de Abdera, constituírem uma explicação para a estrutura da matéria do nosso Universo sem recorrer a entidades divinas ou misteriosas.

A teoria fundamental de Leucipo e Demócrito (meados de 478 a.c) era a de que o Universo se constituía de duas coisas: átomos e vácuo; isto é, composto de agregados de matéria e de um vazio total. E acreditavam que as diversas espécies de matéria poderiam ser subdividas em pedaços cada vez menores, até atingir um limite, além do qual nenhuma divisão seria possível. A denominação átomo dada a estas partículas indivisíveis foi, na realidade, de Epicuro, quase um século mais tarde. Então, foi Epicuro que, retomando as ideias de Demócrito e Leucipo, ampliou esses pensamentos, citando em uma de suas cartas:

São estes corpos simples, indivisíveis e imutáveis, que não podem passar a não existência, de tal maneira que permanecem eternamente estáveis, mesmo quando se dissolvem os corpos compostos. Deste modo,

precisamente os princípios fundamentais de todas as coisas, constituem as naturezas intrínsecas destes pequenos corpos, átomos, ou seja, indivisíveis. (MARTINS, 2001).

Já no início do século XVII, discutia-se muito a respeito da teoria, consideravam que existiam átomos de luz (hipótese idêntica à da teoria de emissões¹), átomos de frio, átomos de calor, átomo do paladar, átomos associados ao olfato. Teoria aceita por Isaac Newton e negada por Descartes.

O atomismo de Descartes (1596 – 1650) admitia que entre as partículas de matéria existissem outras partículas cada vez menores, cujo limite seria as partículas infinitesimais, e que não existiriam dessa forma juntamente com o vazio (MORTIMER, 1994).

1.1.2 Apartir do século XIX

1.1.2.1 O atomismo moderno: John Dalton

No início do século XIX, Dalton postulou uma teoria que se constituiu num poderoso estímulo para a pesquisa da natureza química dos elementos e de suas partes constituintes.

Dalton desenvolveu a nova teoria atômica da matéria, sendo, por esta razão, conhecido como um dos precursores da Ciência Física Moderna. A proposta (1803) nasceu por esse desenvolvimento e foi expressa pelas leis de combinações químicas como: proporções definidas, múltiplas e recíprocas. Baseava-se em seus postulados sobre elementos químicos, sua estrutura e formação. Conseguiu dar à interpretação da estrutura da matéria uma fundamentação mais real e objetiva (MARTINS, 2001).

1.1.2.2 O elétron: J. J. Thomson

A famosa descoberta do elétron aconteceu em 1897, por J. J. Thomson, no meio de uma polêmica considerável: os raios catódicos eram partículas carregadas ou algum processo indefinido do éter? Logo verificou a existência de sua carga elétrica e a sua natureza corpuscular. Estabeleceu a relação carga-massa: a sua propagação reta, a penetração em pequenas espessuras da matéria, a carga negativa e seu transporte considerável de quantidade de energia cinética. Aplicou os

¹ Teoria compartilhada mais adiante no trabalho.

resultados de suas medidas para a determinação da relação carga-massa das partículas dos raios catódicos e, na mesma experiência, determinou também as velocidades das partículas.

Assim, declarou:

Poderia alguma coisa à primeira vista parecer menos prática que um corpo que só existiria em vasos nos quais extraímos quase todo ar, exceto uma fração diminuta; o qual é tão pequeno que sua massa é um fragmento insignificante da massa de um átomo de hidrogênio, o qual por sua vez é tão pequeno que uma grande quantidade destes átomos, igual em número à população de todo o mundo, seria tão pequena para ser detectada por qualquer método conhecido da ciência? (MARTINS, 2001).

Constatou então, Thomson, a decisão em defender a teoria corpuscular, partindo para a experimentação – a partir da premissa desta descoberta.

Certo que o átomo não era indivisível, ele propôs um modelo estrutural para o átomo, conhecido como “pudim de ameixas”. Esse modelo tinha como constituinte o elétron, que ficava distribuído homogeneamente em uma massa de carga positiva. A existência de partículas positivas, segundo Bassalo (1980), foi evidenciada experimentalmente em 1895, pelo físico francês Jean Baptiste Perrin (1870-1942), ao estudar os raios canais. Mais tarde, em 1904, tais partículas foram denominadas de prótons (SILVA e NATTI, 2007).

1.1.3 Primeira metade do século XX

1.1.3.1 Novas conquistas: E. Rutherford

Em 1911, o físico Ernest Rutherford fez incidir partículas alfa sobre uma fina lâmina de ouro. Assim, esperava-se que essas partículas sofressem uma deflexão relativamente pequena ou, simplesmente, nada sofressem, tendo em vista a constituição atômica da lâmina. Porém, o resultado foi surpreendente, o desvio de algumas dessas partículas eram maiores que 90° (CARUSO e OGURI, 1997) – com esse fato, incompatível com o cientificamente aceito, Ernest Rutherford concluiu que o espalhamento das partículas alfa era devido ao fato de que as partículas positivas estavam concentradas em uma região central do átomo, denominada núcleo, e que praticamente concentrava toda a massa do átomo.

Esse modelo, segundo Bassalo (1980), seria como um sistema planetário em miniatura. Essa ideia já havia sido sugerida por outros cientistas, como o físico

Japonês Hantaro Nagaoka, em 1904, composto por um núcleo extremamente denso, com elétrons girando em torno e um grande vazio. Nesse modelo, os elétrons, ligados ao núcleo pela atração eletrostática, moviam-se em órbitas circulares e, ficavam distribuídos ao redor do núcleo. Porém, tal modelo, por estar em desacordo com algumas teorias já aceitas na época, logo começou a receber críticas. Isto porque, segundo a teoria do eletromagnetismo, todo movimento de elétrons em torno do núcleo produziria um decaimento na energia, o que implicaria numa união dessas partículas com o núcleo (BOHR, 1995). Como o núcleo é formado por prótons, e muito pequeno comparado ao raio atômico, como explicar a sua estabilidade já que existe uma força de repulsão atuando entre as partículas?

1.1.3.2 A posição de Bohr

Com as novas tentativas em explicar a instabilidade do átomo de Rutherford, o físico Niels Bohr (1885-1962), utilizando a ideia de quantização de energia, proposta por Planck² (1900), postulou que os elétrons só poderiam descrever um número discreto de órbitas circulares, ou seja, os elétrons se moveriam apenas em órbitas permitidas; dessa forma, não emitiriam energia e não se colapsariam com o núcleo.

Logo depois, com a ideia da estabilidade do núcleo, passaram a incomodar os físicos da época. Cogitaram a existência de mais uma partícula no núcleo do átomo, denominada neutra. A teoria era que, por ser neutra, não poderia ser detectada por campos eletromagnéticos.

Feitas as experiências de bombardeio de Berílio, com partículas alfa, permitiram notar a emissão de uma radiação muito penetrante, mas que, de acordo com Bassalo (1980b), não foram bem interpretadas pelos responsáveis pelas observações. Após repetir essas experiências, o físico inglês James Chadwick (1891-1974), em 1932, interpretou tais radiações como sendo uma partícula neutra, com massa aproximadamente igual a do próton, denominando-a de nêutron. A hipótese de que o nêutron era um constituinte do átomo foi formulada pelo físico Werner Karl Heisenberg (1901-1987) e, independentemente, pelo físico russo Dimitrij Iwanenki (BASSALO, 1980a). Portanto, atualmente, considera-se que o

² Primeira grande descoberta rumo a mecânica quântica – teoria criada a partir da explicação do espectro de radiação de corpos aquecidos (dos corpos negros).

átomo é constituído por elétrons, que circulam o núcleo em órbitas discretas e que, por sua vez, é formado por prótons e nêutrons de massas praticamente idênticas.

Com a estabilidade nuclear explicada, surgiram novas questões quanto às partículas elementares, tais como: seriam os elétrons, os prótons e os nêutrons partículas verdadeiramente elementares?

No entanto, mesmo com esses novos questionamentos, as concepções já existentes permaneceram por um período longo de tempo.

Porém, em 1964, Murray Gell-Mann (1929) e George Zweig (1937), independentemente, propuseram a existência do quark (OSTERMANN, 1999). A respectiva teoria propunha, inicialmente, a existência de três tipos de quarks: up (u), down (d) e strange (s). Essa teoria menciona que os prótons e os nêutrons são formados pelos quarks mais abundantes da natureza, os quarks up e down. Também que os prótons são compostos por dois quarks up e um quark down (uud), e que os nêutrons são formados por dois quarks down e um quark up (ddu). Segundo Moreira (2007, p. 6): “Hoje, a teoria é que os quarks, assim como os elétrons, são as partículas verdadeiramente elementares da matéria, uma espécie de tijolos básicos para a construção de toda a matéria, inclusive dos nêutrons e prótons”.

Como já se esperava, essa breve evolução do átomo e sua representação estrutural representaram uma busca cheia de perguntas, implicações e questionamentos. Evolução essa que busca, muitas vezes, o que não se pode explicar. Assim, o nosso trabalho vem ao encontro dessa ideia, a qual contém várias e diferentes interpretações, mas que são inteiramente aceitáveis, com relação à teoria quântica.

1.2 QUANTO À TEORIA DA MECÂNICA QUÂNTICA

A seguir, apresentaremos um resumo sobre o surgimento da Física Quântica e, na sequência, as implicações desta teoria junto à problemática da pesquisa.

1.1.4 O Surgimento da Mecânica Quântica

As investigações de Planck, Einstein, Millikan e Compton ressuscitaram as discussões sobre a natureza da luz, que se julgavam extintas no final do século XIX.

Essas discussões consistiam em:

Max Planck: Explicou, através de hipóteses, o espectro de radiação do corpo negro: um pequeno orifício aberto em um corpo representa um “corpo negro”. Tal orifício aparecerá negro para corpos em temperaturas usuais, daí advindo o seu nome. No entanto, à medida que a temperatura se eleva, o orifício se torna vermelho, depois amarelo e, finalmente, branco. Neste ponto, ou mesmo antes, o material se funde (fenômeno do mesmo tipo pode ser observado aquecendo-se um pedaço de metal). Cada temperatura corresponde a uma coloração da luz emitida, que resulta da mistura de radiações luminosas de diferentes frequências; cada frequência contribui na mistura em uma determinada proporção, fornecendo uma determinada parcela de energia total irradiada pelo orifício (CHIBENI, 1992).

Albert Einstein: A ideia de Einstein, talvez ainda mais inaceitável que a de Planck, surgiu no contexto de suas investigações de um fenômeno descoberto por Hertz em 1887, o chamado efeito fotoelétrico. Tal efeito consistia no favorecimento da emissão de raios catódicos (elétrons) propiciado pela incidência de luz sobre o cátodo. Esse fenômeno não despertou muito a atenção dos físicos. Supunha-se que a energia, transferida pelas ondas eletromagnéticas de luz aos elétrons do cátodo, provocava o seu desprendimento para que se movessem na direção do ânodo, formando, assim, uma corrente elétrica através do circuito. Ao propor que a energia eletromagnética da luz fosse quantizada, ou seja, que ela se propagava em “pedaços”, ou “quanta” (posteriormente batizados com o nome de fótons), Einstein previu que, se fossem realizados experimentos para a medição de certos parâmetros do efeito fotoelétrico, os resultados mostrariam que sua hipótese, e somente ela, forneceria as previsões corretas. Essas inusitadas previsões eram: 1) que a energia cinética dos elétrons independeria da intensidade da luz; 2) que existiria uma frequência de corte da luz incidente, abaixo da qual o efeito cessa, não importando quão intensa seja a luz; e 3) que os elétrons seriam ejetados imediatamente, não importando quão baixa fosse a intensidade da luz.

Robert Millikan: Para perplexidade geral, medições cuidadosas (realizadas em 1914, pelo grande experimentalista americano Robert Millikan) confirmaram as previsões de Einstein - logo que surgiram as discussões sobre as previsões de Einstein, as prescrições contrariavam as ideias da época, que aceitavam o pressuposto da natureza da luz como uma onda eletromagnética e que a energia transportada se distribuía continuamente no espaço.

Arthur Compton: Em seu experimento, Compton bombardeou um alvo de grafite com raios-X de uma dada frequência. Medindo a frequência da radiação espalhada pelo alvo, verificou que surgia ao lado da esperada radiação com a frequência da radiação incidente, outra com frequência menor. Em termos da teoria ondulatória da radiação eletromagnética, tinha-se como certo que os raios-X eram uma radiação desse tipo e já que se havia observado difração e interferência de raios-X, a existência da radiação “anômala” detectada era completamente inexplicável. Assume-se, porém, que os raios-X também são quantizados e o efeito pode assim ser explicado em termos simples - ao serem espalhados pelos átomos de carbono, tais partículas transferem parte de sua energia, sendo assim refletidas com menos energia do que tinham antes. Essa perda de energia pode ser calculada pelas leis da mecânica relativista de Einstein. Usando, então, a relação entre energia e frequência, proposta por Planck e Einstein, ou seja, $E = hf$ (onde h é a chamada constante de Planck), pode-se calcular o quanto essa perda de energia significa em termos de diminuição de frequência. O valor obtido concorda perfeitamente com os dados experimentais. Com isso, esse trabalho forneceu forte evidência à natureza corpuscular da radiação eletromagnética (JAMMER, 1966).

A física, nesse momento, se via à frente de uma dificuldade, por simplesmente não poder abandonar a concepção ondulatória da luz e retomar a concepção corpuscular. Se fizesse isso, solucionar-se-iam os novos problemas (explicar o espectro do corpo negro e os efeitos fotoelétricos de Compton), mas à custa da exumação de vários outros, que pareciam definitivamente resolvidos pela teoria ondulatória eletromagnética de Maxwell (difração e interferência da luz, correlações entre os parâmetros ópticos e eletromagnéticos) (CHIBENI, 1992).

Tais concepções de luz, ondulatória e corpuscular, são requeridas para a explicação da totalidade dos fenômenos. O fato da questão é que tais concepções são claramente inconciliáveis – o embaraço envolve as concepções de átomo, elétron, próton (narrados no início do capítulo em termos brevíssimos) e vê-se como hipótese que a matéria é composta de corpúsculos e que, por algum motivo, se tornou aceita pela comunidade científica no início de nosso século.

Sua incorporação à teoria química de Dalton e à mecânica estatística, seu uso por Einstein na explicação do movimento browniano e a confirmação empírica das equações que obteve nas investigações experimentais de J. J. Thomson, Rutherford e colaboradores e, finalmente, o modelo atômico de Bohr, na explicação

do espectro do átomo de hidrogênio, praticamente eliminavam as dúvidas de que a matéria ponderável seria descontínua, constituída de pequenos “pedaços”.

Louis de Broglie (1925) ficou intrigado com o fato de que, na física, os únicos fenômenos que exibem uma quantização desse tipo são determinados fenômenos ondulatórios. Esperava também conforme os trabalhos de Einstein, Planck e Compton, que mostrasse que a radiação eletromagnética tida como onda, às vezes, se comporta composta de partículas. Também esperava que o átomo e o elétron, tidos como partículas, poderiam ter comportamento de onda. Assim, propôs que cada partícula (elétron, átomos), deveria estar associada a uma onda de matéria, a qual ditaria seu comportamento, ideia apoiada por Einstein. A confirmação experimental poderia ser verificada projetando-se um feixe de elétrons sobre um cristal: causando um efeito de difração e de interferência. Dessa forma, poderiam ser observadas, características tidas como se fosse uma onda.

Após a incorporação da ideia de Broglie (1925-1926), com o objetivo de investigar a existência da “onda de elétrons” (paralelamente a essa investigação, experimentos eram realizados por George Thomson (1937), filho do famoso J. J. Thomson), foram realizadas experiências que mostraram o comportamento ondulatório dos elétrons. J. J. Thomson (1906) provou que o elétron é uma partícula.

1.1.5 Dualidade onda-partícula

Apresentaremos aqui as implicações desenvolvidas durante o estudo da teoria quântica e as interpretações, juntamente com a postura científica sobre fenômenos enquadrados como apresentando características de dualidade onda-partícula, como o experimento da dupla fenda.

1.1.6 Das implicações

Como pode um corpúsculo em movimento ter qualquer coisa de onda? (EINSTEIN; INFELD, 1962) - É uma mesma coisa quântica que, sozinha, desempenha os papéis de onda e de partícula? (CHIBENI, 1992) - Por que os fenômenos da natureza parecem ser tão distintos naquelas escalas de tamanho a ponto do nosso senso comum não poder ser usado para nos guiar na resposta dos problemas da física do átomo? (THOMAZ, 1996) – Como é possível que um objeto

quântico exiba propriedades contraditórias? O que é que está acontecendo na realidade, se é que podemos falar em “realidade”? (PESSOA JR, 1997)

Na realidade, na física clássica, a partícula pode ser imaginada como sendo uma bolinha pequena, que se movimenta num espaço e que, em condições normais, não se divide. Além, que uma partícula clássica se caracteriza por estar a cada instante em uma posição bem definida e com velocidade precisa, descrevendo assim uma trajetória bem definida.

Por outro lado, a onda clássica é concebida através de uma excitação, que se propaga em um meio e que tem como característica principal o espalhamento no espaço; além de não ter trajetória definida, e nem localização (por causa de seu espalhamento), as ondas exibem vários fenômenos típicos, como o da interferência.

Com relação aos comportamentos dos objetos quânticos, dizer que são partícula e onda seria uma contradição lógica – como ser indivisível e não ser, ou seguir uma trajetória e não seguir. E a teoria quântica é obrigada a conciliar de alguma maneira esses termos contraditórios (PESSOA Jr, 2005).

No fenômeno da dupla fenda, fica visível a interferência que ocorre em apenas situações ondulatórias, ocorrendo com partículas, mesmo que incida um elétron por vez.

Segundo Richard Feynman, a dualidade onda-partícula é um fenômeno absolutamente impossível de se explicar classicamente e contém, em si, o coração da Física Quântica (Feynman et al. 1963). Halliday e Walker (1995) completam: “É preciso, porém, que se entenda que nenhuma imagem mental concreta, envolvendo simultaneamente onda e partícula, é possível no mundo quântico”. E, continuando, citam a Paul Davis, físico e escritor de ciência, que afirma: “É impossível visualizar uma onda-partícula, portanto, não tente”.

Certamente, há outros aspectos da Física Quântica que a torna radicalmente diferente da física clássica, como, por exemplo, o princípio da incerteza de Heisenberg, que afirma que a posição e o momentum de uma partícula não podem ser simultaneamente determinados com precisão superior a $\hbar/2$. Um dos grandes mistérios da Física Quântica é a não-localidade, explicitada pela desigualdade de Bell. Entretanto, assim como Richard Feynman, adotaremos a dualidade onda-partícula como ponto de partida para o ensino desta teoria (OSTERMANN; RICCI, 2004).

1.1.7 Das interpretações

A característica notável da teoria quântica é que ela pode ser interpretada de diversas maneiras, sendo que, cada uma dessas interpretações é internamente consistente. Dentre tantas outras interpretações, adotaremos a ideia de Pessoa Jr (1998 e 2002). As interpretações podem ser agrupadas em quatro grandes grupos, conforme sua atitude epistemológica:

Ondulatória (realista): defendida por Erwin Schrodinger, considerava que a função de onda quântica corresponde a uma realidade ondulatória ou talvez uma potencialidade – a dificuldade dessa interpretação era explicar os fenômenos sem a noção de colapso³.

Corpuscular (realista): acredita-se que as entidades microscópicas são partículas (pelo menos aquelas possuidoras de massa de repouso), sem uma onda associada. Defendida explicitamente por Alfred Landé, a dificuldade estaria em explicar os padrões de interferência obtidos em experimentos com elétrons.

Dualista (realista): originada por Louis de Broglie em sua teoria da “onda piloto” e ampliada por David Bohm (1952), incluindo o aparelho de medição. O objeto quântico se divide em duas partes: uma partícula com trajetória definida e uma onda associada – a sua dificuldade está na existência de ondas vazias que não carregam energia.

Dualista (positivista): Designa a complementaridade de Niels Bohr, a qual pode usar uma descrição corpuscular ou ondulatória, mas nunca as duas ao mesmo tempo; não significa também que seja onda ou partícula. Segundo a visão positivista, só podemos afirmar as entidades observadas, por isso a dificuldade em afirmar que um elétron não-observado sofre colapso.

Para representar um objeto quântico, como um elétron ou um fóton, pode-se encará-lo como partícula para certas situações experimentais; ou como onda, para outras situações. Porém, só pode compreender um objeto quântico de maneira completa quando levamos em conta esses dois aspectos complementares.

No que conclui Pessoa Jr (2002), no caso de novas previsões, devemos considerá-las apenas como mais uma teoria diferente, mas, se o desacordo com a teoria quântica for tão pequeno que não se possa fazer um experimento crucial para

³ Na versão ingênua da interpretação ondulatória, a realidade que corresponde à função de onda sofreria colapso toda vez que ela interage com um aparelho de medição.

escolher entre elas, é costume considerar que a teoria diferente também é uma interpretação.

Em particular, a interpretação da complementaridade, a mais apreciada pelos cientistas, mostra ainda de forma intrínseca experimental esse comportamento naquelas representações (ondulatório ou corpuscular). A situação didática para investigar o conceito de conceito em Vergnaud, vinculado ao uso de simuladores (no caso experimento real), pode-se tornar um desafio em particular para o ensino.

1.3 QUANTO AO USO DAS REPRESENTAÇÕES NO ENSINO DA MECÂNICA QUÂNTICA

Pode-se afirmar que a ciência procura explicar a natureza utilizando modelos como representações teóricas, que constituem a sistematização dos seus próprios conceitos e teorias, com suas potencialidades e limitações.

As teorias e os conceitos são, enquanto modelos, representações da natureza e não natureza em si. Nesse entendimento, teoria e natureza, é o mesmo que um mapa de uma determinada região.

A compreensão do comportamento dos tais chamados “objetos quânticos”, baseada na simultaneidade dos modelos de onda e partícula, exige um enorme esforço de abstração e racionalização e a desistência de qualquer experiência sensorial, diferente dos modelos e representações já existentes. São situações que possibilitam analogias, carecendo de experiências cotidianas. Como ressalta Ferrero (1998), na mecânica quântica existe um grande paradoxo, pois “sem a mecânica quântica não se compreende a experiência cotidiana, mas a experiência cotidiana não compreende os postulados quânticos”.

Giordan e De Vecchi (1996) explicam quanto às concepções dos alunos relativas à matéria:

O modo de conhecimento pode mudar radicalmente assim que se quer passar para o nível científico. Nesse caso, os alunos devem abrir mão de qualquer recurso aos sentidos, conectar-se a um pensamento abstrato e rejeitar a imagem em proveito do conceito, do modelo (Giordan e De Vecchi, 1996).

A compreensão da estrutura da matéria se dá através de diferentes níveis de formulações conceituais, nas quais acontecem verdadeiras rupturas

epistemológicas, até chegar ao princípio da Incerteza. Nesse caso, não há imagens, modelos, analogias ou representações que levem ao estágio das rupturas necessárias. Por isso a importância de formar nos alunos a consciência do sentido do conhecimento científico como modelo, com seus limites e potencialidades explícitas.

A relação entre o que está acontecendo na realidade e um modelo físico é complexa no sentido de se falar em “visualizar o fenômeno” e deve ser entendida de maneira não pictórica, onde cada elemento da representação corresponde a um elemento da realidade. Dirac (apud Jammer, 1974) argumenta ainda que o objetivo principal da ciência não é o fornecimento de imagens, e o fato de elas existirem ou não deve ser uma questão de importância secundária, pois sempre se pode entender o significado da palavra imagem, de maneira a incluir qualquer forma de enxergar as leis fundamentais que torne evidente sua autoconsistência.

É evidente o fato de que as teorias físicas do último século fizeram um uso cada vez menor de visualizações. Em parte, como dito antes, devido às limitações das representações, que podemos gerar a partir de nossa vivência macroscópica e, em parte, porque dentro da física tem sido paulatinamente abandonada a visão mecanicista (HENDRY apud GRECA, 2005). Assim, as idéias e os conceitos da Mecânica Quântica se assentam na impossibilidade de visualizar. Pauli (apud Greca, 2005) argumentava que nossas concepções visuais eram patentemente inadequadas para compreender conceitos como dualidade onda-partícula ou campo-partícula. Talvez seja por essa razão que o papel das analogias, no sentido de visualização, tenha tido menos relevância nas teorias físicas (MILLER apud SANTOS; GRECA, 2005). Mas, isso não quer dizer que seja a morte das visualizações do espectro de possibilidades para a compreensão dos fenômenos físicos – lembremos de Feynman e suas visualizações das interações entre partículas. No entanto, como destaca Hendry (apud SANTOS; GRECA, 2005), pelo menos a visualização, em Física, não pode ser mais confundida com a realidade, como era antes da aceitação da Mecânica Quântica. No entender de Popper (1987, p. 27)

Átomos e partículas tem caráter dispositivo: são tendências para interagir, podem ser descritos como entidades teóricas altamente abstratas, nós as aceitamos como reais, quer elas ajam de forma direta ou indireta sobre as coisas materiais (POPPER, 1987).

Onda e partícula são imagens que criamos com base na nossa intuição e traçadas pelo que vemos ao nosso redor. Mas, no mundo quântico, tais imagens são irrelevantes. Apenas o que medimos baseado em conceitos restritos pela nossa percepção do mundo é considerado. A natureza da luz, se é que é possível caracterizá-la, permanece um mistério.

Nesse sentido, o presente trabalho pretende investigar a relevância dos Campos Conceituais de Gerárd Vergnaud, na tentativa de favorecer a aprendizagem conceitual do campo e associado às concepções desenvolvidas em estudantes após o uso de simuladores, sugeridos à luz das concepções científicas.

1.4 QUANTO ÀS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS LIGADAS AO ENSINO DA FÍSICA

Rezende (2002), numa reflexão sobre o uso das tecnologias da informação e comunicação no contexto educacional, afirma ser necessário colocar as tecnologias a serviço de um projeto pedagógico, e não o contrário. Embora as tecnologias não representem a solução para os problemas educacionais, são necessárias investigações sobre as possíveis contribuições e limitações de sua utilização na educação. Segundo Rezende, é oportuno

Questionarmos o paradigma tradicional de ensino ainda hegemônico no contexto educativo. O ideal é aproveitar o momento para incorporar novos referenciais teóricos à elaboração de materiais didáticos ou à prática pedagógica até porque as novas tecnologias podem propiciar novas concepções de ensino-aprendizagem (REZENDE, 2002, p. 12).

É necessária a incorporação das tecnologias no contexto educacional para se obter um resultado positivo, as quais devem ser acompanhadas por perspectivas teóricas sobre a natureza do conhecimento e do processo de ensino-aprendizagem. O foco do trabalho está, justamente, na ação necessária em contribuir para o ensino e aproveitar o momento singular das tecnologias de informação ligado à prática educacional presente.

Então, pergunta-se: Como usar um software de simulação em classes de Física? Santos, Otero e Fanaro (2000) discutem as vantagens e desvantagens didáticas do uso de um software de simulação em Física, estabelecendo relações com a teoria de Ausubel-Novak-Gowin e a teoria dos modelos mentais de Johnson-

Laird, de modo a evidenciar a importância da visualização na construção do conhecimento (ARAUJO; VEIT, 2004). O trabalho de Medeiros e Medeiros (2002) busca também avaliar a real importância das animações e simulações no ensino de Física, contrastando com os principais argumentos levantados pelos defensores deste tipo de atividade e com os argumentos dos críticos.

A discussão dos autores mostra o excesso de entusiasmo acerca das novas tecnologias, em particular das simulações computacionais aplicadas ao ensino de Ciências, como se estas fossem uma panacéia capaz de solucionar os problemas oriundos de uma perspectiva educacional construtivista, onde a atenção às dificuldades individuais dos alunos torna-se fundamental. A perda de noção da complexidade de um sistema real é apresentada como um dos riscos da utilização acrítica das simulações.

Em um artigo, na revisão da literatura referente ao uso de tecnologias computacionais no ensino de Física, Araújo e Veit (2004, p.1-2) classificaram 109 artigos, publicados nos principais periódicos na área de ensino de Ciências e, a partir de 1900, o uso do computador. Esses artigos estão divididos em setes categorias, conforme a ordem que aparecem na literatura:

- a) modelagem e simulações computacionais;
- b) coletas e análise de dados em tempo real;
- c) instrução e avaliação mediada pelo computador;
- d) recursos multimídia;
- e) resolução algébrica / numérica e visualização de soluções matemáticas;
- f) comunicação à distância;
- g) estudo de processos cognitivos.

Os resultados mostram que há uma forte predileção pela mecânica newtoniana e a constatação de que somente metade dos artigos pode ser classificada como de pesquisa em ensino de Física.

Por fim, há concordância com as ideias de Rezende, que alertam sobre o uso indiscriminado das tecnologias computacionais, no ensino de física, sem a preocupação com os devidos referenciais teóricos sobre aprendizagem.

Outro artigo que aborda o uso das simulações tem uma visão positiva a respeito das mesmas, por saber o ensino não tem parecido ser uma fácil tarefa, por conter varias situações e conceitos abstratos, fazendo com que a matemática seja uma ferramenta essencial no desenvolvimento da física. Trabalha-se com materiais,

que estão fora do alcance dos sentidos do ser humano, como partículas subatômicas e em altas velocidades e processos dotados de grande complexidade (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, p. 3).

Simulações computacionais vão além das simples animações. Elas englobam uma vasta classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual, que podem ser classificadas em certas categorias gerais, baseadas fundamentalmente no grau de interatividade entre o aprendiz e o computador (GADDIS, 2000). Tal interatividade consiste no fato de que o programa é capaz de fornecer não apenas uma animação isolada de um fenômeno em causa, mas uma vasta gama de animações alternativas selecionadas através do input de parâmetros pelo estudante. Evidentemente, qualquer simulação está baseada em um modelo de uma situação real, modelo este matematizado e processado pelo computador, a fim de fornecer animações de uma realidade virtual. A construção, portanto, de uma simulação computacional pressupõe, necessariamente, a existência de um modelo que lhe dê suporte e que lhe confira significado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentamos o pilar teórico que fundamenta o presente trabalho. Subsidiando-o desde o início, a teoria dos campos conceituais, de Gérard Vergnaud, foi um ícone, principalmente no que se refere à aprendizagem conceitual, que decorre de situações-problema associadas à noção e ao uso de modelos científicos.

2.1 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE GÉRARD VERGNAUD

A teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1990, apud MOREIRA, 2002) é uma teoria psicológica, cognitiva neopiagetiana, porém complexa, por envolver em uma única perspectiva teórica todo o desenvolvimento de situações, conceitos e teoremas necessários para resolver eficientemente as operações. Disto valem-se das ideias de Piaget e Vygotsky (a parte dos conceitos de adaptação, desequilíbrio, reequilíbrio e esquema de assimilação é herança piagetiana). Da mesma forma, a interação social, linguagem e desenvolvimento proximal, de modo a ser papel fundamental na teoria dos campos conceituais.

Segundo Vergnaud, (1982, apud MOREIRA, 2002) o conhecimento só ocorre ao longo de um período de tempo, através de experiências, maturidade e aprendizagem, vivenciadas pelo próprio sujeito e, por isso, organizadas em campos conceituais.

Vergnaud entende como campo conceitual:

um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações estruturais, conteúdos e operações de pensamentos conectados uns nos outros e provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição [...] (MOREIRA, 2002).

E, em outros trabalhos (1990, apud MOREIRA, 2002):

- Como um conjunto de problemas e situações cujo tratamento requer conceitos, procedimentos e representações de tipos diferentes, mas intimamente relacionados.
- Como um conjunto de situações, cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos de natureza distintas.

A teoria de Vergnaud tem interesse nos campos conceituais de matemática. Mas, essa teoria não se restringe somente a esses campos, ela é muito mais abrangente - em física, há vários campos conceituais, como a mecânica clássica, a termodinâmica ou a mecânica quântica, como veremos neste trabalho. Deste modo, podemos nos referir aos campos conceituais associados às situações e representações dentro do campo da física. Embora o estudo esteja organizado em unidades independentes, não quer dizer que o conhecimento científico esteja organizado da mesma forma.

E nessa visão, Vergnaud considera o campo conceitual como uma unidade de estudo que dá sentido às dificuldades observadas na conceitualização do real [...] a conceitualização é a essência do desenvolvimento cognitivo (ibid, 1990).

Para ter progresso em um campo conceitual, o sujeito deve dominar naturalmente distintos conceitos como: ações, modos de raciocínio e representações, todos interligados. Entretanto, Vergnaud destaca que é preciso dar toda atenção à ideia de esquemas e à análise das situações vividas pelos indivíduos na escola e na sua vida (1990, apud MOREIRA, 2002).

Vergnaud (1983 e 1988) diz que para estudar e compreender como os conceitos evoluem na mente de um sujeito, por meio de suas experiências, é preciso considerar o conceito (c) como uma terna de conjuntos, ou seja, $C = (S, I, R)$, onde:

S - é um conjunto de situações que dão significado e sentido ao conceito;

I - é um conjunto de invariantes operatórios associado ao conceito (objeto, relação e propriedades), que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos de modo a dominar as situações;

R - é um conjunto de representações simbólicas (linguagem, gráficos ou gestos, que podem representar os invariantes e, desta maneira, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas).

Na visão psicológica, (s) é a realidade e (I, R) a representação do pensamento, o significado (I) e o significante (R), (ibid, 1988).

É importante considerar esses três conjuntos simultaneamente - situações, invariantes operatórios e representações simbólicas - ao longo da aprendizagem, para estudar o desenvolvimento e o uso de um conceito (VERGNAUD, 1983).

E mais, não se pode, portanto, reduzir o significado, nem o significante, nem as situações (idem), pois como foi dito, um só tipo de situação é uma única situação com um só conceito.

1.1.8 Conjunto das situações

Como se vê, Vergnaud emprega o conceito de situação como o de tarefa, e não o de situação didática, “sendo que, toda situação complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas, para as quais é importante conhecer suas naturezas e dificuldades próprias” (VERGNAUD, 1990).

Uma situação didática representa um conjunto de múltiplas relações estabelecidas, implícita ou explicitamente, entre o professor, o aluno e o saber, a fim de pelo menos em parte, reproduzir características do trabalho científico, propriamente dito, como garantia de uma construção efetiva de um conhecimento específico (BROUSSEAU, 1996).

Vergnaud et al. (1990) afirmam que nos limitaremos ao sentido que lhe atribui usualmente o psicólogo, ou seja, os processos cognitivos e as respostas do sujeito são funções das situações com as quais são confrontadas.

O sentido da situação pode ser entendido também como uma combinação de objetos complexos, propriedades e relações determinadas, envolvendo o indivíduo e suas ações. (FRANCHI, 1999, p. 158)

Para Moreira (2004, p. 11), existem duas idéias que dão sentido ao conceito de situação:

Variedade: em um campo conceitual existe uma grande variedade de situações.

História: sobre o conhecimento que os alunos adquiriram pelas situações encontradas progressivamente. Pois, segundo Vergnaud (1996), “muitas de nossas concepções vêm das primeiras situações que fomos capazes de dominar ou de nossa experiência tentando modificá-las”.

Mais precisamente, o sentido é a relação existente entre o sujeito, as situações e seus significantes; são os esquemas que fazem que se manifestem por si só alguns comportamentos de organização e que, de alguma maneira, constituem o sentido da situação e do significante para esse sujeito.

Por exemplo,

O sentido de adição para um sujeito individual é o conjunto de esquemas que ele pode utilizar para lidar com situações com as quais se defronta e que implicam a idéia de adição; é também o conjunto de esquemas que ele pode acionar para operar sobre os símbolos, números, algébricos, gráficos e lingüísticos que representam a adição (1980, apud MOREIRA, 2002).

Veja que são as situações que dão sentido ao conceito, e dele o de situação e enfim, o de esquemas.

1.1.9 Conceito de esquemas

Para Vergnaud (1996, p. 18), esquema é a organização invariante do comportamento para uma classe de situações determinadas. Assim, a teoria piagetiana de esquema e sua entrada na teoria dos campos conceituais tornam-se de fundamental importância, uma vez que, o desenvolvimento cognitivo é um conjunto de esquemas que existe no sujeito e que está disponível para determinada situação, tratando-a como um problema que pode ser resolvido.

Com a idéia de esquemas, o professor passa a ter uma importante e difícil tarefa, que é a de fazer com que os alunos desenvolvam seus esquemas na zona proximal (VERGNAUD, 1998, p. 181).

Vergnaud (1996) usa o conceito de Piaget sobre esquemas na teoria dos campos conceituais, mas sugere não ter interação sujeito-objeto como a de Piaget, e sim interação esquema-situação.

Na definição de esquema é necessária uma verificação mais específica para uma maior compreensão, por isso, Vergnaud (1993 e 1996) organiza quatro classes de elementos necessários para sua compreensão:

Metas e antecipações: o que se espera de certos efeitos ou certos eventos para uma possível resolução de uma atividade;

Busca de informação e regras de ação: constitui na parte geradora do esquema e sua sequência de ações que o sujeito passa a controlar;

Invariantes Operatórios: são os conhecimentos existentes no indivíduo e contidos nos seus esquemas; são bases do reconhecimento, ora implícitas, ora explícitas, para a importante obtenção de alcançar a meta adequada à ação;

Possibilidade de Inferência (Raciocínio): a partir das informações e das invariantes que o sujeito dispõe, toda a atividade requer cálculos imediatos e assim atingir as metas e as antecipações.

Como foi mencionado, para Vergnaud (1993), esquemas têm uma forte ligação com a situação (ou classe de situações). Assim, ele difere:

a) classes de situações em que o sujeito dispõe, no seu repertório, em dado momento de seu desenvolvimento e sob certas circunstâncias, das

competências necessárias ao tratamento imediato da situação; b) classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que obriga a um tempo de reflexão e exploração, a hesitação, a tentativas frustradas, levando-o eventualmente ao sucesso ou ao fracasso (VERGNAUD, 1993, p. 2).

Contudo, o conceito de esquema funciona apenas em uma das classes, pois, na primeira observa-se uma classe de situações organizadas por um só esquema e a segunda é organizada por vários esquemas em competição com o objetivo de alcançar a solução desejada. Nesse processo, ocorrem contínuas acomodações, descombinações e recombinações.

Segundo Vergnaud apud Moreira, quando o sujeito usa um esquema ineficaz em certa situação, a experiência o leva a mudar de esquema ou a modificá-lo.

Conforme Moreira,

Esta aí é a idéia piagetiana de que os esquemas estão no centro do processo de adaptação das estruturas cognitivas, isto é, na assimilação e na acomodação. Contudo, Vergnaud dá ao conceito de esquema um alcance muito maior do que Piaget e insiste em que os esquemas devem relacionar-se com as características de situações as quais se aplicam (MOREIRA, 2004, p. 13-14).

Embora a definição de esquema seja precisa na teoria de Vergnaud, é necessário um aprofundamento devido à importância da relação entre o comportamento e a representação e pelo fato que é através dos esquemas que se inicia a pesquisa dos conhecimentos-em-ação do sujeito (VERGNAUD, 1993); onde o comportamento está ligado ao teorema-em-ação e representa os conceitos-em-ação.

A partir dessas informações, os esquemas que contêm conceito e teorema em ação, são tratados por Vergnaud também pela expressão mais geral invariante operatório.

1.1.10 Conjunto das invariantes operatório

Nota-se que os conhecimentos implícitos contidos nos esquemas são denominados conceitos-em-ação e teorema-em-ação, ou pela expressão mais abrangente, de acordo com Vergnaud, “invariantes operatórios”.

Vergnaud considera que os invariantes operatórios fazem a articulação essencial entre teoria e prática, pois, a percepção, a busca e a seleção de informações baseiam-se inteiramente no sistema de conceitos-em-ação quanto aos objetos, às relações e aos teoremas-em-ação, no que se refere à sua conduta.

Um teorema-em-ação é uma proposição tida como verdadeira sobre o real. Conceito-em-ação é um objeto, um predicado ou uma categoria de pensamento tida como pertinente e relevante (VERGNAUD, 1998, p. 202).

Essa relação, usualmente, não é expressa verbalmente pelos estudantes, o que faz com que esses teoremas-em-ação tornem-se explícitos, uma vez que, a maior parte deles não é explícito.

Sabe-se que esses conceitos, de teoremas-em-ação e conceitos-em-ação, não são considerados como verdadeiros conceitos e teoremas científicos, uma vez que, estes estão explícitos, quando, na maioria das vezes, permanecem implícitos no sujeito.

O ensino de ciências não pode deixar de lado a simbolização e a formalização, porque a ciência é simbólica, formal e explícita, mas é preciso ter sempre em mente que o conhecimento do aluno, como de qualquer outro sujeito, é, em grande parte, implícito (MOREIRA, 2002).

O papel do professor mediador, em perspectiva, é facilitar a transformação do conhecimento implícito em explícito, sem subestimá-lo ou desvalorizá-lo, pois o caminho do sujeito aprendiz não é fácil, porém demorado.

Vergnaud alerta para o fato de que pode levar muito tempo para que o sujeito domine alguma unidade de algum assunto. Mas, ainda assim, o aluno continuará usando conhecimentos implícitos e, ao mesmo tempo, aprimorando seus conhecimentos explícitos.

1.1.11 Representação (significante)

Lembrando da tríplice inicial da teoria dos campos conceituais, Vergnaud diz que S (conjunto de situação) é a realidade e (I, R) a representação dessa realidade, considerando dois aspectos, o significado e o significante.

Assim, verifica-se que o termo “representação” pode significar, de certo modo, um sistema simbólico para o sujeito.

Para MOREIRA (2002), “conceitos e símbolos representavam duas faces da mesma moeda”; sua atenção voltava-se ao uso constante dos símbolos e à

sequência dos conceitos pelos alunos; ou seja, a linguagem seria uma ajuda na aquisição de conceitos.

Vergnaud (1998) comenta também,

As teorias de representações e diz que, para ser útil, uma teoria dessas deve conter a idéia de que as representações ofereçam possibilidades de inferência, isto é, que elas nos tornem capazes de antecipar eventos futuros e gerar condutas relevantes para chegar a algum resultado positivo ou seja ele negativo (1998, p. 173).

A teoria de Vergnaud, não pode ser vista apenas como um sistema simbólico ou um conjunto de sinais, mas também como um conjunto de imagens internas, gestos e palavras experienciadas.

Há importantes lacunas entre o que está representado na mente de um indivíduo e o significado usual das palavras e outros signos, pois, sistemas lingüísticos e semióticos não têm por finalidade expressar exatamente o que cada indivíduo tem em mente quando enfrenta uma situação, selecionando e processando a informação (VERGNAUD, 1996).

O papel da linguagem não representa apenas o ato de comunicação, mas o de instrumento de organização de experiências, nesse processo da conceitualização do real (VERGNAUD, 1996).

Nesse estudo, é importante não confundir representação com modelos mentais, mesmo a teoria de Vergnaud tendo uma forte ligação com a teoria de Johnson-Laird, onde

Modelos mentais podem ser basicamente proposicionais, isto é, constituídos principalmente de proposições ou basicamente imagísticos, ou seja, ou seja, constituídos predominantemente com imagens, ou, ainda, formados por proposições e imagens (GRECA e MOREIRA, 2002).

Como vimos, segundo Vergnaud, as proposições dos modelos mentais podem ser interpretadas como teorema-em-ação. As representações da realidade fazem progresso no domínio de um campo conceitual e vão se aproximando de teoremas científicos, assim como, analogamente, um modelo mental adquire mais conhecimento e este vai se aproximando dos modelos científicos.

2.2 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NO ENSINO DE FÍSICA

Embora o estudo dos campos conceituais seja voltado para matemática, tendo como objetivo a importância do conteúdo do conhecimento na maior parte das ações ordinárias, sua finalidade “é propor uma estrutura que permita compreender as filiações e rupturas entre conhecimentos, do ponto de vista de seu conteúdo conceitual” (VERGNAUD, 1993, p. 201).

Os interesses dos estudos de Gérard Vergnaud estão voltados para dois principais campos conceituais: o das estruturas aditivas e o das multiplicativas. Porém, a teoria em questão também pode ser utilizada em diversas áreas como a Física, a Geografia, a Biologia e a História, entre outras áreas do conhecimento, onde há diversos campos conceituais em que os estudantes precisam desenvolver esquemas e concepções específicas (MOREIRA, 2004).

De acordo com Vergnaud (1983, p. 128), outros campos conceituais importantes que interferem com estes dois são: (a) deslocamentos e transformações no espaço; (b) classificações de objetos discretos e operações Booleanas; (c) movimentos e relações entre tempo, velocidade, distância, aceleração e força; (d) relações de paternidade; e (e) medida de quantidades físicas e espaciais. (VERGNAUD et. al., 1990).

O conhecimento dos estudantes pode ser implícito ou explícito. É considerado explícito quando este é expresso na forma simbólica (linguagem natural, esquema, diagramas, sentenças formais, etc.) e implícito no caso do aluno utilizarem uma ação, através da escolha de uma operação adequada, sem serem capazes de expressar a razão para esta adequação (VERGNAUD, 1988).

É possível fazer dois diferentes ensinamentos na psicologia e na epistemologia. O primeiro ensina que a maioria do conhecimento consiste de competência, na qual os conceitos são normalmente implícitos (VERGNAUD, 1997). E o segundo ensina que a Física é feita de conceitos específicos, os quais possuem suas próprias representações e dificuldades.

Vergnaud esclarece em sua teoria que o conhecimento se refere tanto às competências quanto às concepções. Competências e concepções são ferramentas essenciais para a descrição e análise da lenta conquista da complexidade feita pelos estudantes, o que de certa forma são dois lados de uma moeda. Entretanto, também é verdadeiro que a competência dos estudantes pode ser traçada através de suas

ações julgadas adequadas para tratar uma situação (resolução de problemas), enquanto que concepções são normalmente expressas por uma sequência de enunciados, traçadas através das expressões simbólicas dos estudantes, sejam elas verbais ou outras (VERGNAUD, 1987).

O alcance da estrutura teórica dos campos conceituais não se limita apenas às estruturas aditivas e multiplicativas. Na física, existem várias aplicações citadas por Vergnaud (1993):

- a) a eletricidade e os esquemas, que organizam as atividades do sujeito nessa área. As situações a compreender e a tratar são diferentes: a iluminação de um aposento, a colocação de uma lâmpada num suporte (dois pólos, dois fios, existência de corrente), a compreensão do circuito elétrico de uma casa ou de um carro, a análise e a dissociação dos conceitos de intensidade, tensão, resistência e energia para os cálculos de eletrocinética, etc;
- b) a mecânica, que igualmente implica uma grande variedade de situações e conceitos.

Devemos reconhecer, contudo, que esse campo conceitual envolve questões sérias para o desenvolvimento e a aprendizagem da racionalidade.

Vergnaud (1996) diz que cada aluno dispõe de um conjunto de competência. Essas competências permitem que os alunos avaliem positivamente uma gama de situações, havendo um equilíbrio entre a complexidade dos recursos cognitivos e a complexidade das situações a serem tratadas. E, frente a essas situações, constata que os alunos não estão em condições de fazer essa avaliação utilizando apenas os conceitos adquiridos em situações anteriores. Isso faz com que eles necessitem criar novos recursos.

Ao utilizar um esquema ineficaz para determinada situação, a experiência leva o sujeito a modificá-lo ou a mudar de esquema e, por isso, pode-se afirmar que esse processo é sempre acompanhado de novas descobertas. Mesmo em uma nova situação, o comportamento do sujeito abrange uma parte de automatismo e outra de decisão consciente (VERGNAUD, 1993). Cabe ao professor auxiliar os estudantes a desenvolverem seus repertórios de esquemas e representações, fazendo com que os estudantes se tornem capazes de se deparar com situações cada vez mais complexas (VERGNAUD, 1987).

Vergnaud, em sua teoria, toma como referência o próprio conteúdo do conhecimento e a análise conceitual desse conhecimento. Deste ponto de vista,

[...] é necessário que os conhecimentos que adquire o aluno sejam construídos por ele mesmo, em relação direta com as operações da qual é capaz de fazer sobre a realidade; com as relações que está em condições de captar, compor e transformar; com os conceitos que constrói progressivamente (1991, p. 9).

Assim, como os conceitos matemáticos, os físicos têm seu significado a partir de várias situações e cada situação não pode, frequentemente, ser analisada com ajuda de um único conceito, pois requer um conjunto de vários conceitos. A construção de um conceito consiste na construção progressiva de representações mentais, implícitas ou explícitas, que são homomórficas da realidade para alguns aspectos e não para outros.

Diferentes campos conceituais não são independentes e uns podem ser importantes para a compreensão de outros, sendo necessário ater-se aos aspectos conceituais envolvidos nas situações em que os estudantes desenvolvem seus esquemas na escola ou na vida real (VERGNAUD, 1983). Nesse sentido,

[...] um dos problemas mais importantes da didática é conhecer a ordem com a qual as noções podem ser adquiridas pelo aluno, tendo quanto à ordem de complexidade assim determinada não podendo ser mais que uma ordem parcial, que dará lugar eventualmente à aprendizagem simultânea de noções relativamente independentes (VERGNAUD, 1991).

Assim, como na psicogenética, a estrutura de campo conceitual também permite estudar o desenvolvimento e aquisição de idéias específicas na mente do estudante em um período longo de tempo. Ou seja, essa conceitualização vem ocorrer a partir do domínio, por parte do estudante, de uma grande diversidade e de tipos diferentes de situações (VERGNAUD, 1983).

No ensino de ciências, em específico no estudo da Física, é fato tratar o assunto em termos de representações de modelos científicos, para evidenciar e torná-lo real no mundo exterior. Mas, sabe-se que apenas as representações ou o simbolismo particular não evocam em um indivíduo todos os esquemas disponíveis.

O homomorfismo entre o real e a representação não deve ser estudado, a princípio, como os simbolismos, mas sim como as invariantes operatórias, contidas nos esquemas. E é aí que se situa a principal base da conceitualização do real (VERGNAUD, 1993).

Vergnaud esclarece que estudar as representações múltiplas de vetores é diferente de representar equações algébricas; elas são polivalentes e se tornam

poderosas na resolução de problemas, pois utilizam apenas representações externas. Já nas representações de vetores, é necessária a racionalização do processo antes da utilização do vetor para a resolução do problema e a representação interna.

A transformação dos conceitos em diferentes níveis conceituais, através de diferentes aspectos lingüísticos, pode ser vista, por exemplo, na modificação de um predicado de um argumento para um predicado de dois ou três argumentos (de propriedades unárias para a relação multinomeadas); bem como, na modificação de objetos singulares *hic et nunc* a objetos que representam uma classe total de transformação (VERGNAUD, 1997).

A teoria dos campos conceituais tem produzido resultados esclarecedores para o processo de aquisição de conhecimento em diversas áreas do conhecimento (FRANCHI, 1999). Tem permitido também estabelecer, um domínio de conhecimentos específicos, além de uma psicogênese em longo prazo (como para a conservação de quantidade) e uma psicogênese em curto prazo, que se refere “à evolução de concepções e práticas do indivíduo ou de um grupo de indivíduos, em face de novas situações” (VERGNAUD, 1983).

No campo da Física, são notórios os trabalhos de Moreira. Vale-se destes trabalhos a utilização deste referencial na área, como base para definição de aprendizagem. Alguns dos seus trabalhos estudam a identificação de invariantes operatórios em termodinâmica, na conceitualização de noções de movimento rotacional sem deslizamento e no conhecimento-em-ação em movimento de corpos rígidos.

2.3 A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS NA UTILIZAÇÃO DA PESQUISA

Como toda a teoria cognitivista, a ênfase está nos processos cognitivos e ocupa-se de como o indivíduo constrói sua estrutura cognitiva. A TCC busca entender melhor quais são os problemas de desenvolvimento específico de um determinado campo de conhecimento.

Vergnaud (1996) considera que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização. Por isso, é uma teoria psicológica de conceitos, na qual a conceitualização é considerada a pedra angular da cognição (VERGNAUD, 1998). Assim, nossa definição de aprendizagem está segura neste referencial.

O campo conceitual, em nosso caso específico, está no comportamento do elétron quando submetido a algumas situações que pertencem ao campo conceitual da mecânica quântica.

Nossa interpretação, a partir do que lemos de Vergnaud, é que a delimitação de um particular campo conceitual se dá em torno de um conjunto de conceitos centrais (além de situações, representações, etc.), os quais são imprescindíveis para a compreensão dos indivíduos de cada um desses conceitos em particular. Como um exemplo: o fenômeno mostrado pela dupla fenda, antes de compreendê-lo, é necessário interpretar e conceitualizar a estrutura do átomo; verificar se a aceitação do comportamento da luz é como onda, como partícula, onda-partícula, ora onda e ora partícula. Enfim, considerar as muitas compreensões e as muitas implicações que podem ocorrer devido a esse fenômeno.

Assim, o campo conceitual, que engloba o conceito das implicações do comportamento dos elétrons, é delimitado pelos conceitos, situações e representações que fazem a área da mecânica quântica. Para que esse processo ocorra, os estudantes devem utilizar seus esquemas de assimilação, ponto de referencial de Vergnaud, herdado de Piaget.

O conhecimento, dentro do paradigma da TCC, é considerado como descobrimento e readaptação. O desenvolvimento do conhecimento é sistemático porque ocorre ao longo de um período de tempo não determinado, como os estágios de desenvolvimento mental de Piaget, e flexível, pois os recursos utilizados devem ser descobertos e adaptáveis à nova situação. Um conceito não se aprende sozinho, mas apoiado a outros conceitos.

Pode-se perceber, a partir do que foi discutido e comparando as teorias de Piaget e Vergnaud (no que se refere à conceitualização e a noção de esquema) que Vergnaud, ao contrário de Piaget, não procura construir uma teoria geral para o desenvolvimento. Deste modo, procura relacionar o desenvolvimento do sujeito com as tarefas que este é levado a resolver. Nota-se que, para ele, a cognição possui um componente fortemente ligado às situações.

1.1.12 Situação – Invariante Operatório - Representação

Conforme comentado, as situações dão sentido ao conceito, ou seja, as situações é que são responsáveis pelo sentido atribuído ao conceito (VERGNAUD, 1990). Pode-se, por exemplo, pensar em determinadas situações psicológicas, as

quais não seriam possíveis de acontecer em algumas áreas da Física. No caso, por exemplo, do problema referente à natureza da luz, em encontrar o elétron em uma determinada posição ou velocidade ou, até mesmo, ao fato da natureza do objeto quântico caracterizado ora como onda, ora como partícula, o que não seria possível na mecânica clássica.

Dessa forma, é impossível atribuir um sentido ao conceito do comportamento do elétron sem que as situações científicas de diferentes ramos na física sejam reconhecidas e aceitas como situações psicológicas pelo sujeito.

Neste trabalho existe, de fato, a atribuição de conceitos básicos (o átomo) à representação mental (ora como onda e ora como partícula), assim como, à ideia filosófica da teoria quântica.

Ele aborda os invariantes correspondentes ao campo conceitual da teoria quântica, quanto ao comportamento de objetos quânticos, desde a atribuição do conceito em ação de átomo e seus elétrons até a operação mental no caminho que segue e sua trajetória.

Contudo, como será possível observar nos resultados, aparentemente os invariantes relacionados com operações mentais são os que são adquiridos durante o contato com o software (experimento da dupla fenda) e, segundo a literatura para a TCC, a representação será fundamental nessa parte. Um exemplo que poderíamos citar de invariantes é que o percentual considerado de disparo de balas (no anteparo que tem duas fendas e que poderia passar as balas), é de 50% por uma fenda e 50% por outra, o qual se determina desta maneira porque somente seria possível desta forma; neste caso, se verifica que existem pontos bem definidos numa tela que servem como apoio para o recebimento das balas, mas quando passamos para corpos menores (como o elétron), antes mesmo de verificar o resultado, o aluno já tem uma ideia primária de como seria o comportamento dos elétrons, comparando-o com o das balas. No entanto, também se vê na tela que serve de apoio, uma representação pouco comum para a partícula e mais aceitável para onda; nesse momento serão colocados em prática todos os conceitos que ele (o aluno) tem no seu repertório de esquemas para resolver essa situação nova. Eventualmente, os classificamos (ou não) em teoremas e conceitos em ação.

O conjunto das representações simbólicas ou significantes é o “conjunto das formas de linguagem que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento” (VERGNAUD, 1993).

Em física, existe um conjunto de formas de linguagem que representam simbolicamente os conceitos da área e que são vastamente utilizados, como fórmulas, modelos, gráficos, e desenhos, etc.

Por esse motivo, a questão da representação simbólica é uma questão essencial para o ensino de física. Franchi (1999) comenta que Vergnaud faz parte dos teóricos que consideram a existência de uma medição entre os modos simbólicos de representação e os objetos do mundo material. Segundo ele, as representações simbólicas podem ajudar o estudante a resolver problemas que eles não conseguiriam resolver sem a ajuda delas (VERGNAUD, 1982). Sendo assim, as representações simbólicas mantêm um vínculo estreito com o desenvolvimento conceitual.

Vergnaud (1982) aborda esse assunto enfatizando a importância da representação simbólica e afirma que não é apenas uma linguagem que permite a conceitualização, mas deve representar o problema e garantir a ajuda para os estudantes a resolver problemas que, sem o auxílio dessas representações não seriam capazes de resolver.

Esta ideia, que nos sustenta, é bastante poderosa e nos convida a explorar vários tipos e formas de representações que podem ser mais valiosas para determinadas situações-problema em física.

3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Capítulo que mostra a busca da investigação e resolução da problemática abordada, juntamente com suas hipóteses levantadas para conclusão da pesquisa.

3.1 PROBLEMÁTICA DA INVESTIGAÇÃO

Como evoluem as concepções sobre conceitos quânticos de estudantes do ensino médio após o uso de experimentos virtuais?

3.2 HIPÓTESES

3.2.1 Hipótese 1

Após a utilização da representação e desenvolvimento dos invariantes, o estudante será capaz de resolver melhor situações-problemas que envolvam o uso da ferramenta virtual.

3.2.2 Hipótese 2

Se a representação vinculada ao conceito evolui, consideramos que ocorreu uma mudança conceitual.

3.2.3 Hipótese 3

O aluno usualmente invoca uma representação do mundo físico em sua mente, uma representação que, em geral, vai além das observações no laboratório. Ele imagina partículas como bolinhas, imagina uma onda se propagando, imagina um microscópio de raios gama, etc. O aluno busca interpretar os diferentes símbolos e procedimentos matemáticos, ou seja, imaginar a que entidades reais eles correspondem, se é que se possa dizer que eles correspondam a alguma coisa (PESSOA JR. 2002).

3.2.4 Hipótese 4

A construção das representações adequadas no estudo de problemas da mecânica quântica baseia-se nas representações clássicas para descrever o comportamento quântico dos sistemas microscópicos.

3.2.5 Hipótese 5

Através dos simuladores estudantes poderão reconhecer com clareza as situações em que o fenômeno é essencialmente corpuscular ou tipicamente ondulatório.

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 Geral

Investigar, com o uso de representações virtuais, o desenvolvimento de conceitos quânticos em estudantes do ensino médio e de que forma o seu uso auxilia nos processos cognitivos que levam à aprendizagem, dentro do ponto de vista da teoria dos campos conceituais.

3.3.2 Específicos

- a) investigar, com o uso de dois experimentos virtuais de simulação, a visão a priori do estudante quanto a sua concepção da Mecânica Quântica;
- b) investigar a evolução das representações dos estudantes do ensino médio, “após o uso” de ferramentas virtuais (softwares);
- c) identificar possíveis rupturas e ampliação do Campo Conceitual, através do procedimento que cada estudante desenvolver para cada tipo de situação;
- d) investigar a possibilidade de que, através da introdução minuciosa de conceitos de mecânica quântica, sejam encontradas formas coerentes de compreensão em seus vários aspectos (sócio-histórico-cultural) frente à visão dos campos conceituais.

3.4 JUSTIFICATIVA

Nesta sessão apresentaremos brevemente uma justificativa para uso de ferramentas computacionais no ensino de Física e também para a escolha da temática de Mecânica Quântica como tópico do ensino abordado.

3.4.1 Quanto ao uso das ferramentas computacionais

As limitações e dificuldades que os estudantes do país apresentam atualmente, no aprendizado de conceitos científicos, como os documentados por diversos testes nacionais e internacionais, são desafiantes.

Historicamente, desde a introdução dos computadores no ensino, na década de 60, eles são utilizados como ferramenta capaz de catalisar a aquisição de conhecimento, o que é apresentado de forma idealizada (Raupp et al. 2008; SUPPES end MORNINGSTAR 1968). Desde então, muito tem sido investigado (IDEM, 2008) no universo do uso de computadores para o aprendizado de conceitos científicos. Contudo, o mecanismo de aprendizagem que se estabelece entre os estudantes e os computadores permanece oculto.

Dentre artigos como Medeiros e Medeiros (2002) e Araújo e Veit (2004) sobre desenvolvimento adaptação pedagógica de softwares já existentes e investigações com o uso de softwares, percebe-se uma lacuna teórica no que tange a análise da modificação do processo cognitivo e a subsequente aprendizagem, principalmente quando presentes computadores, em especial algoritmos, que podem modelar ou simular o mundo natural.

Contudo, os computadores são vistos, em geral, por estes referenciais (Idem, 2002 e 2004); como mais uma atividade didática qualquer. O que se busca enfatizar neste trabalho é como as representações e suas regras de ação influenciam na aprendizagem de conceitos e a contribuição na interação entre aluno e computador, permitindo a sua internalização, caracterizando e moldando o desenvolvimento cognitivo.

3.4.2 Quanto ao conteúdo físico – Mecânica Quântica

Há relevância no tratamento da área da mecânica quântica, pois se sabe que ela é a grande “bola da vez” deste século. Isso porque, a partir de seus princípios, desenvolvem-se diversas outras áreas, como as de ciências da saúde, as engenharias e as mais recentes, da miniaturização eletrônica e da nanotecnologia (antes base de sustentação apenas na física nuclear, atômica, molecular, estados sólidos, dentre outros).

Por outra parte, a abordagem da física clássica enfatiza o aspecto histórico e suas características de sistemas, muito mais do que para sistemas quânticos, onde

os estudantes recebem apenas informações na forma de equações e com pouca visibilidade à fenomenologia (GRECA E MOREIRA, 2002).

Em contraposição ao ensino das áreas da física clássica, onde salienta o raciocínio lógico, a Mecânica Quântica é considerada como assunto difícil para o ensino médio, com pouca ligação ao mundo real, sendo seus conceitos não compreendidos pelos estudantes.

Em resumo, do jeito que são abordados, tais assuntos não criam condições para que os alunos tenham novas formas de perceber os fenômenos decorrentes dos princípios dessa Mecânica, que não discutem as concepções em que se baseiam os enunciados dessa teoria.

Escolhemos essa área porque sabemos de sua peculiaridade quanto aos experimentos do trabalho; ela mostra claramente a maneira pela qual a natureza é contraintuitiva na escala quântica, e deixa claro que a nossa maneira de pensar com base em nossas experiências cotidianas no mundo clássico, muitas vezes, é completamente adequada para compreender o mundo quântico.

Neste trabalho, pretende-se investigar principalmente a aquisição simultânea de representações e invariantes operatórios, durante o uso de simulações sobre o fenômeno da dualidade onda-partícula, no experimento da dupla fenda que corresponde à formação dos estudantes do ensino médio, tendo como base a teoria de campos conceituais de Gérard Vergnaud.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo apresenta a descrição do universo da experimentação durante a investigação, do método didático, dos procedimentos e dos instrumentos para a coleta de dados.

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PESQUISA

A caracterização do estudo é do tipo qualitativo, conforme Bogdan e Biklen (1982): quando há contato direto da pesquisadora com o ambiente e a situação que está sendo investigada; quando os dados coletados, a partir dos pré e pós-testes são predominantemente descritivos; quando o interesse da pesquisadora em estudar tal problema de pesquisa é o de verificar como ele se manifesta nas atividades e instrumentos construídos e quando o foco de atenção do pesquisador é buscar o significado apresentado pelas ações dos estudantes, retratando-os segundo suas perspectivas.

Como já discutido anteriormente, a pesquisa tem o foco centrado na evidência do uso dos diferentes tipos de representação e quais conceitos são desenvolvidos após o uso dos softwares de simulação Quantum Eraser e o Doppel Spalt versuch (experimento dupla fenda), na conceitualização da teoria quântica, mais especificamente, no experimento da dupla fenda.

4.2 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS

O experimento teve como participantes alunos voluntários, ocorreu no segundo semestre do ano de 2010, na disciplina FÍSICA I, do curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Roraima (UERR), na cidade de Boa Vista/RR.

A escolha da amostra teve influência da autora, que optou por alunos que não tivessem tido contato com aulas de estrutura da matéria ou qualquer outra disciplina que envolvesse tal discussão, justamente para verificar se pode ou não haver desenvolvimento de conceitos quânticos depois do uso dos simuladores.

Para a segunda amostra de dados, participaram alunos da segunda série do ensino médio, da Escola Estadual Ayrton Senna. A escolha da turma foi baseada no fato dos alunos já terem estudado sobre ondas, por serem alunos da autora e pelo entusiasmo que têm em estudar física. Foi realizado em junho de 2011 – o

experimento contava com dez alunos, dos quais, apenas cinco conseguiram terminar as etapas (1 do sexo masculino e 4 do sexo feminino), o que serviu como resultado para a análise da dissertação e conclusão do trabalho.

4.3 PARA O EXPERIMENTO

As atividades relativas à pesquisa do experimento estavam incluídas em um curso de Informática para a física, que foi aplicada em vários módulos e quatro horas-aula.

4.3.1 A investigação foi dividida em quatro etapas:

Pré-teste (dividido em duas partes): a aplicabilidade deste pré-teste foi para verificar os conhecimentos prévios de cada estudante, esperando que os alunos utilizassem representações satisfatórias, já que as respostas à pergunta - há diferença entre objetos microscópicos e macroscópicos? - foi positiva. A entrevista sobre o pré-teste teve o intuito de fazer com que o aluno tentasse externalizar aquilo que estava respondendo no pré-teste, através dos seus desenhos expostos na folha de respostas.

Aula sobre ondas e partículas clássicas: a aula que foi passada para o aluno foi sobre partículas e ondas clássicas e como ocorre sua interferência, mas sem envolver seu comportamento no mundo quântico.

Instrução e utilização dos simuladores: os alunos foram instruídos sobre os simuladores em questão – através da técnica POE (predizer, observar e explicar).

Pós-teste (dividido em duas partes): com esse pós-teste, temos a intenção de investigar que conceitos quânticos os estudantes tiveram após o uso dos simuladores – se ele realizou-se da mesma forma que no pré-teste. A entrevista sobre o pós-teste se convergiu nos resultados obtidos pelo teste e a realização da investigação.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

5.1 EXPERIMENTO PILOTO

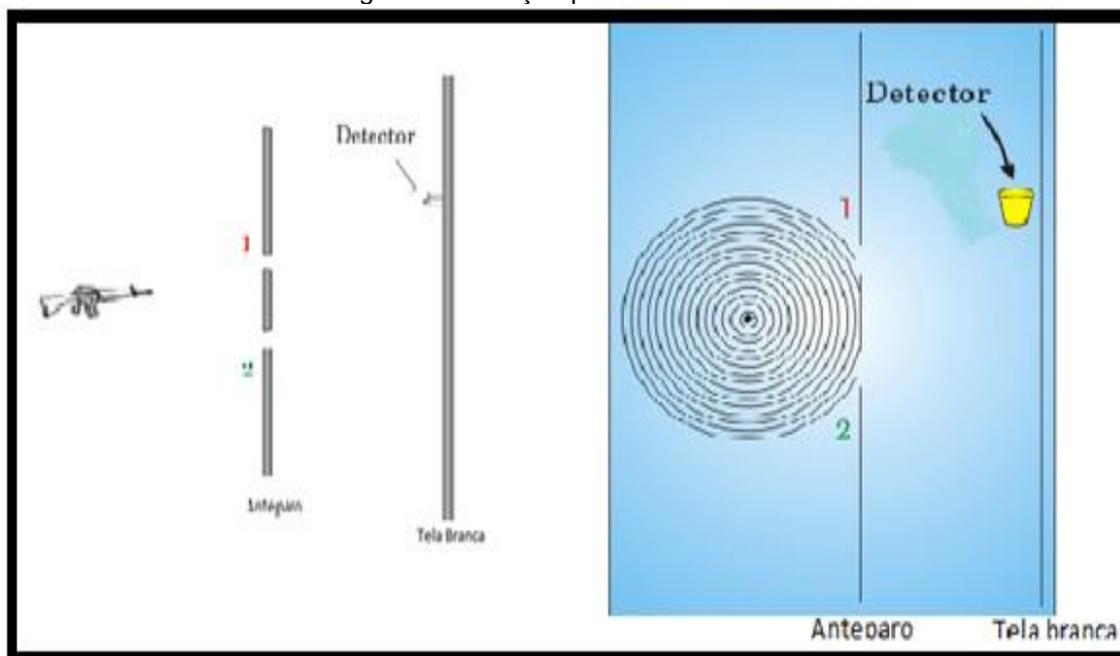
Para esse piloto a amostra foi realizada com alunos universitários voluntários, que escolhiam o horário para a realização dos testes e entrevistas da pesquisa, ocorreu no segundo período do ano de 2010, na disciplina de Física I, do curso de licenciatura em física, da Universidade Estadual de Roraima, em Boa Vista.

5.1.1 Pré-teste (Duração 1 h)

Iniciamos o experimento com um pré-teste, contendo várias situações-problemas, realizado antes de qualquer contato com as ferramentas computacionais. O teste era composto por questões abertas acerca de comportamentos de objetos pequenos (elétrons) e grandes (balas), sendo partículas ou comportamentos de ondas submetidos às situações; nesse teste, o aluno deveria representar através de um desenho o que poderia acontecer com esses objetos.

Por exemplo:

Figura 1 - Situação para balas e ondas



Fonte: site the Feynman Double slit

1ª situação - No esquema apresentado se encontra a metralhadora (que dispara várias balas) e à sua frente um anteparo metálico, que impede a passagem

das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo, há uma tela branca, com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.

2ª situação - Encontra-se nesse esquema um anteparo que foi construído de modo a não permitir que as ondas se propaguem, exceto pelas fendas 1 e 2, e logo após um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.

Pergunta-se: o que você acha que vai acontecer?

Como se vê, as situações são simples, porém as respostas dos alunos podem não apresentar características satisfatórias, devido ao prévio conhecimento prévio, fortemente embasado na física clássica.

Foi esclarecido aos alunos que o teste não seria utilizado como avaliação da disciplina. Para respondê-lo, utilizaram apenas um lápis ou caneta esferográfica.

Durante a entrevista, foi utilizada a técnica “think aloud” que se caracteriza principalmente pelo fato de envolver o sujeito que pensa em voz alta enquanto está executando um conjunto de tarefas. A estratégia é fazer com que o estudante torne explícito aquilo que está implícito, além de ser feito com o objetivo de investigar o processo mental gradativo da execução das tarefas solicitadas. Em nosso caso, a maioria das tarefas é de representações e resolução de problemas em física. Esse método possibilita, dessa forma, a compreensão de como os estudantes constroem os significados. Willhelm (2001) observa que: “Essa técnica tem a vantagem de fornecer um registro da atividade que pode ser partilhado, manipulado, gravado e avaliado em comparação com os anteriores e posteriores, no sentido de gerar esforços para medir e demonstrar melhoria.”

5.1.2 Aula sobre partículas e ondas clássicas (duração 20 min.)

No laboratório, a aula ocorreu com a utilização de um Data-show, com lâminas que visava explicar a diferença entre as ondas e as partículas clássicas – deixando claro que na mecânica clássica as franjas de interferência são fenômenos de caráter ondulatório.

Logo em seguida, com base nos diferentes níveis de representações construídos nos softwares, os alunos foram estimulados a responder uma série de perguntas sobre a manipulação do software (técnica P.O.E) – com o intuito de dar maior eficácia aos resultados, sem o auxílio direto da autora, a qual desempenhou o papel apenas de mediadora.

Mesmo sendo um curso de física, a autora ficou restrita a não prolongar o experimento por um tempo maior. E por esse trabalho não fazer parte das avaliações, o curso ficou comprometido e foi descartado por várias razões. Uma das razões foi a insuficiência de dados concluídos a serem analisados, visto que apenas um aluno concluiu todas as etapas da pesquisa; outra explicação foi o fato das aulas terem mascarado as dúvidas dos alunos, além da interação dos alunos com o professor ter sido baixa e a relação aluno-máquina ter se tornado cansativa. Assim, concepções errôneas afloraram, tornando a atividade mais rápida e terminando logo o processo, o qual, conseqüentemente, dificultou o domínio dos conceitos já trabalhados anteriormente. Contudo, este experimento relatado serviu como experimento-piloto e auxiliou na preparação do próximo experimento, o definitivo.

5.2 DETALHAMENTOS DA METODOLOGIA E DOS SOFTWARES

O experimento ocorreu dentro do primeiro semestre do ano de 2011. De uma turma de 30 alunos, somente 10 alunos foram escolhidos para a realização da pesquisa, pelo motivo de serem os mesmos a participarem do Trabalho da feira de Ciências e Tecnologia da Escola Ayrton Senna da Silva, em Boa Vista.

Foi utilizado para coleta um pré-teste e um pós-teste ao tratamento (Apêndice B), sendo este caracterizado por uma aula de laboratório com uso dos softwares de simulação e entrevistas. O pré e o pós-teste estão descritos a seguir no subitem 5.3.

Os resultados do experimento piloto, realizado anteriormente, não foram contabilizados, a fim de impedir que os resultados detectados não interferissem nos resultados da pesquisa.

5.2.1 Primeira Etapa

5.2.1.1 Pré-teste

No primeiro encontro, foi aplicado um teste com perguntas que envolviam objetos microscópicos e macroscópicos, colocados em situações adequadas para avaliar seus comportamentos. Assim foi realizado o teste da investigação, com o intuito de saber o grau de entendimento sobre tais comportamentos.

5.2.1.2 Entrevista

Como a entrevista exigia um pouco mais de tempo com a professora, foi realizada em horário oposto ao período em que os alunos estudavam. Dos dez selecionados, apenas 5 alunos terminaram todas as etapas e foram incluídos na análise da pesquisa.

Após a coleta do pré, foi estruturada uma entrevista a fim de registrar, compreender e explorar de que maneira cada aluno respondeu às perguntas. Essa entrevista foi realizada no dia da coleta do pré-teste.

5.2.2 Segunda Etapa

5.2.2.1 Sala de aula

Explicação do conteúdo de Mecânica Clássica sobre Ondas e Partículas, realizada em sala de aula, durante 30 minutos. Também foi dada uma breve noção sobre a diferença entre os temas, incluindo imagens que revelavam as franjas de interferências quando uma onda é colocada em frente a uma fenda dupla e no momento em que se encontram. Logo em seguida, abriu-se um espaço para discussão entre os alunos.

5.2.3 Terceira Etapa

5.2.3.1 Simuladores

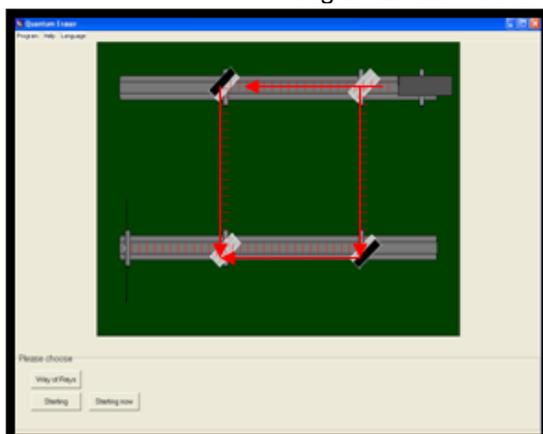
O uso dos simuladores se deu com a técnica P.O.E (Predizer, Observar e Explicar) para ter mais facilidade em compreender e entender suas funções, assim como, o seu propósito quanto a sua atividade e representações.

As atividades desenvolvidas na sala de multimídia tinham por objetivo levar os estudantes a compreenderem a relação entre o significado e o significante, a partir das diferentes representações oferecidas pelos softwares, por meio da visualização da animação do fenômeno físico.

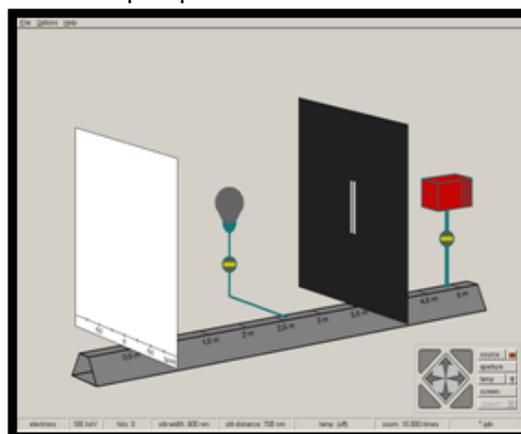
O fenômeno físico simulado foi o experimento da dupla fenda para partículas e ondas, sendo necessários dois softwares para a sua realização. Durante a interação do aluno com o software, o objetivo foi a descrição do comportamento da partícula colocada em determinada situação, tendo comportamento ondulatório.

Os Softwares

Figura 2 - Mostra os simuladores da pesquisa



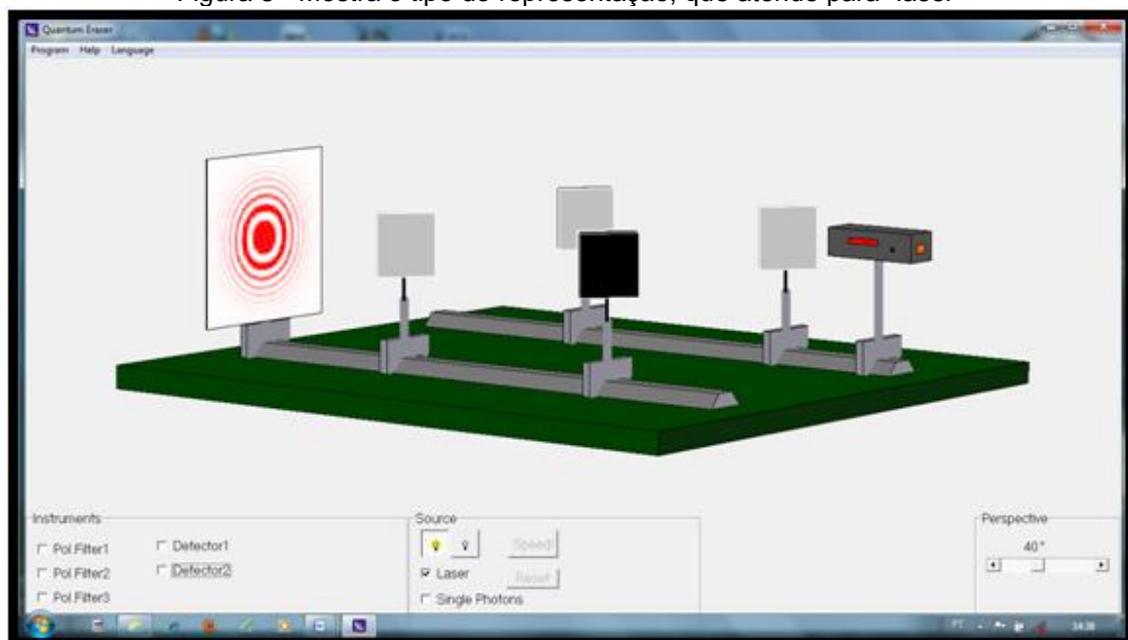
(Quantum Eraser)
 Fonte: Software Quantum Eraser



(Doppel Spalt Versuch)

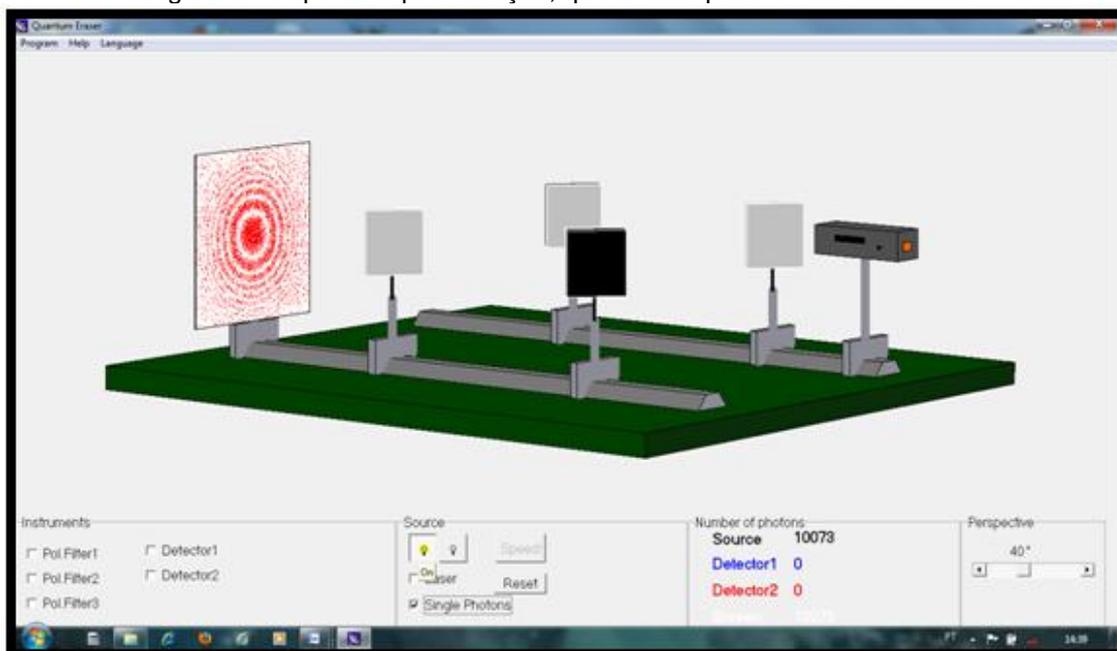
Na figura 02 pode-se ver o primeiro e o segundo simulador utilizado. O primeiro apresenta representações de um laser (figura 03) e feixe de fótons (figura 04), podendo ser manipulado para obter ou não detectores, de objetos microscópicos ou macroscópicos, na sua trajetória até uma tela branca.

Figura 3 - Mostra o tipo de representação, que atende para “laser”



Fonte: Software Quantum Eraser

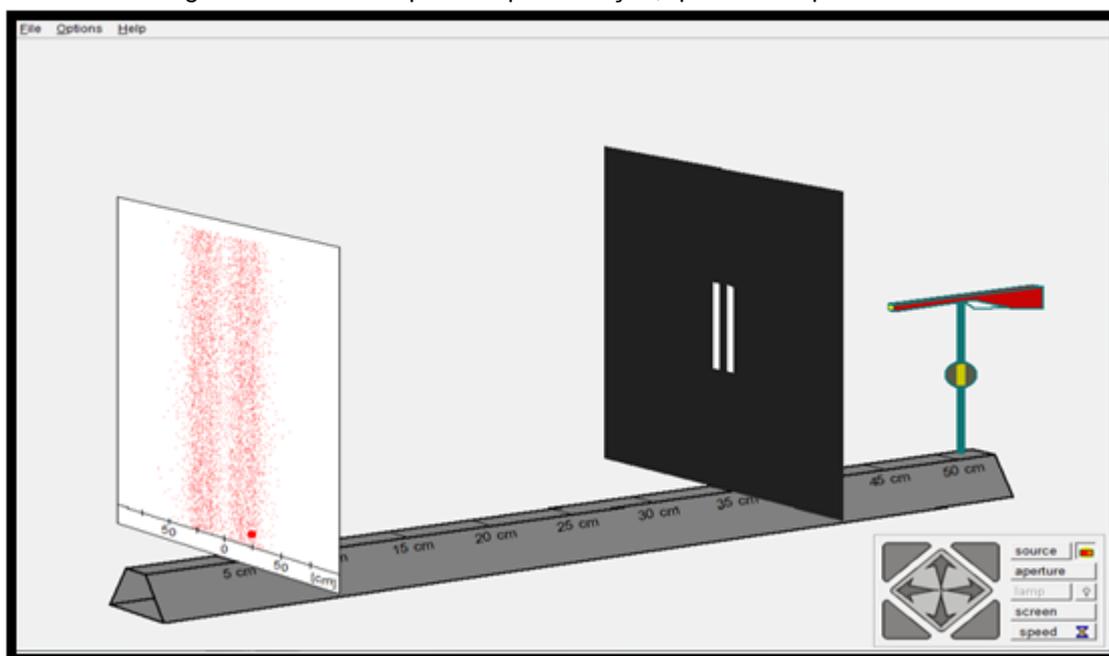
Figura 4 - o tipo de representação, que atende para “fótons individuais”



Fonte: Software Quantum Eraser

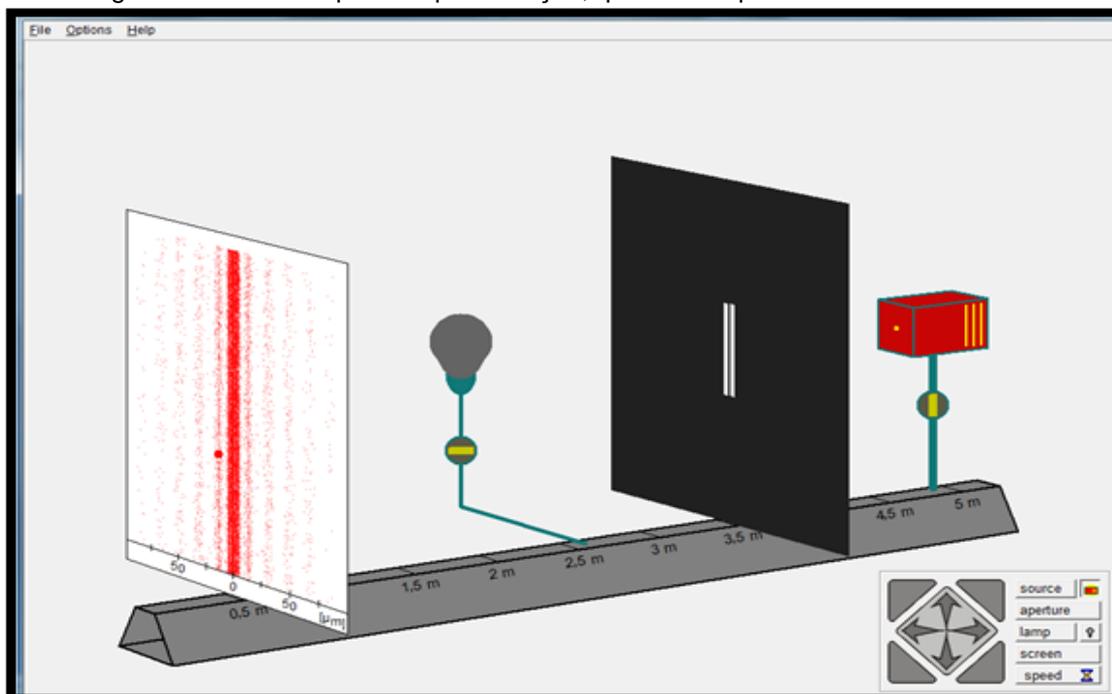
O segundo simulador (figura 05, 06 e 07) apresenta representações balas, partículas (elétrons, fótons etc.) passando por uma fenda dupla com ou sem luz (lâmpada), podendo ser manipulado para obter detectores de objetos microscópicos e macroscópicos.

Figura 5 - Mostra o tipo de representação, que atende para “Balas”



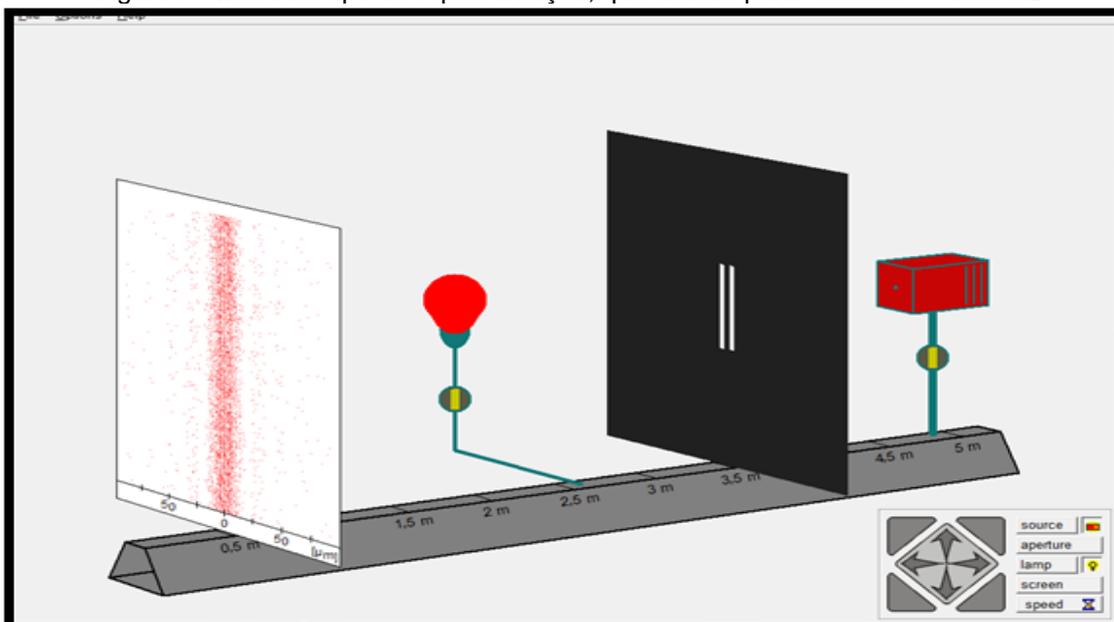
Fonte: Software Doppler Spalt Versush

Figura 6 - Mostra o tipo de representação, que atende para “elétrons” – sem luz



Fonte: Software Doppler Spalt Versuch

Figura 7 - Mostra o tipo de representação, que atende para “elétrons” – com luz



Fonte: Software Doppel Spalt Versuch

5.2.4 Quarta Etapa

5.2.4.1 Pós-Teste

Esse teste foi aplicado logo após o uso dos simuladores, e teve a intenção de encontrar nos alunos algumas mudanças nas suas concepções, desenvolvidas após a utilização dos softwares.

5.2.4.2 Entrevista

A realização da entrevista foi de cunho investigatório, pois, através dela pode-se ter algo mais substancial para a conclusão da pesquisa. Assim, a entrevista foi feita, como no pré-teste.

5.3 DOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA COLETA

Os instrumentos utilizados na coleta de dados foram o pré-teste e o pós-teste, e principalmente as entrevistas, os quais têm como função identificar as possíveis invariantes operatórias, expressas na forma de elementos aplicados antes e após o tratamento no laboratório.

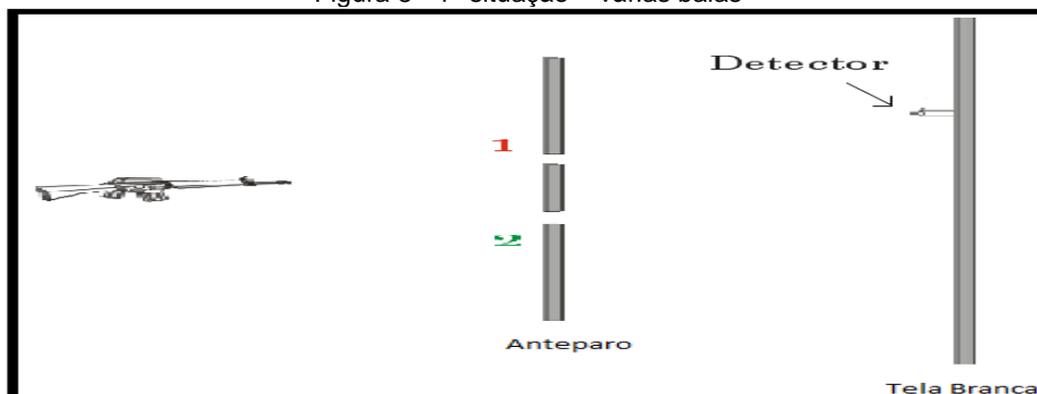
5.3.1 Pré-teste

5.3.1.1 Parte 1

Experimento para vários objetos macroscópicos

Imagine um dispositivo (metralhadora giratória) que dispara balas indestrutíveis em várias direções, sendo a taxa de disparos constante.

Figura 8 - 1ª situação – várias balas



Fonte: site the Feynman Double slit

5.3.1.2 Situação 1

No esquema acima se encontra a metralhadora que dispara várias balas e a sua frente um anteparo metálico que impede a passagem das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo há uma tela branca com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.

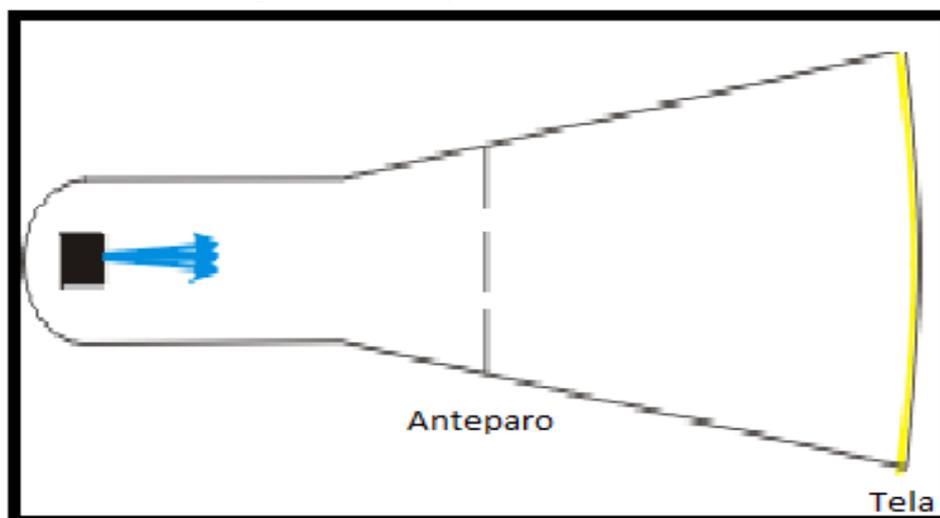
O que você acha que acontece neste experimento? Explique o desenho.

5.3.1.3 Parte 2

Experimento para vários objetos (micro)

Agora usaremos um canhão (fonte) que emite vários elétrons.

Figura 9 - 2ª situação – elétrons / sem luz



Fonte: site the Feynman Double slit

5.3.1.4 Situação 2

O que se observa acima é um anteparo com uma dupla fenda e logo após uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.

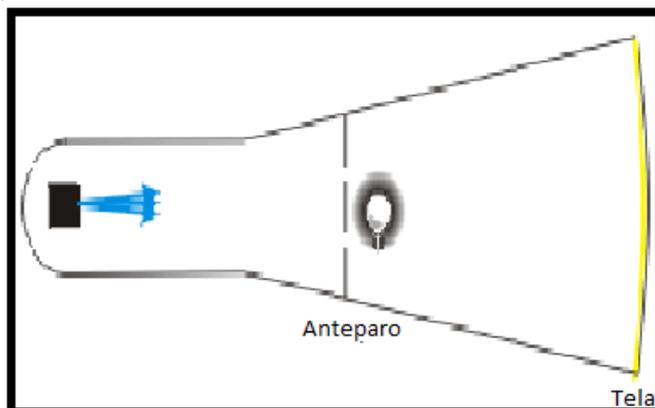
O que acontece com a chegada dos elétrons na tela quando as duas fendas estão abertas?

5.3.1.5 Parte 3

Experimento para um objeto (micro) – com luz.

Imagine um esquema simples: uma lâmpada por trás das fendas.

Figura 10 - 3ª situação – elétrons com presença da lâmpada



Fonte: site the Feynman Double slit

5.3.1.6 Situação 3

O que se observa acima é um anteparo com dupla fenda e logo após uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.

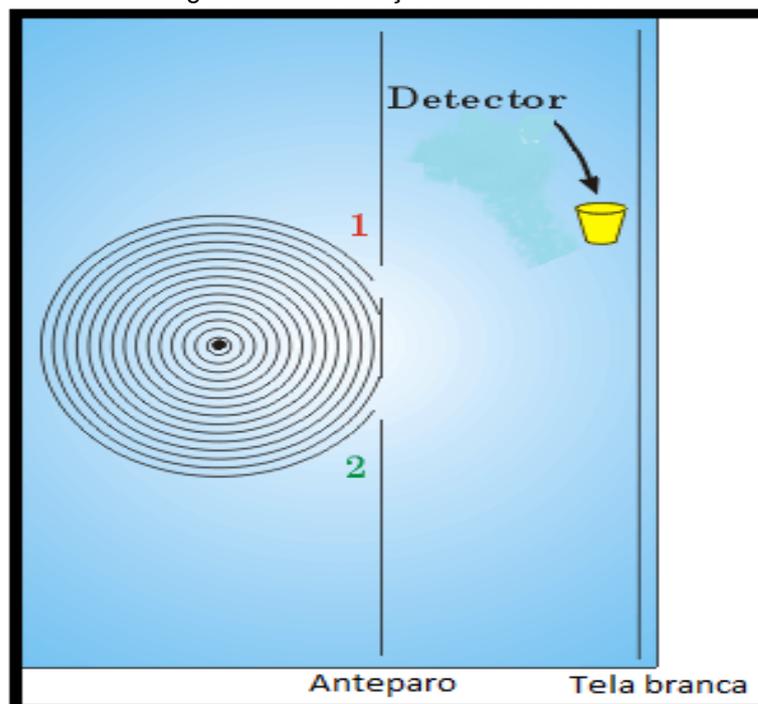
O que você acha que ocorrerá neste experimento?

5.3.1.7 Parte 4

Experimento para várias ondas

Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando várias ondas circulares constantes.

Figura 11 - 4ª situação – várias ondas



Fonte: site the Feynman Double slit

5.3.1.8 Situação 4

Encontra-se nesse esquema um anteparo, que foi construído de modo a não permitir que as ondas sejam refletidas, exceto pelas fendas 1 e 2, e logo após, um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.

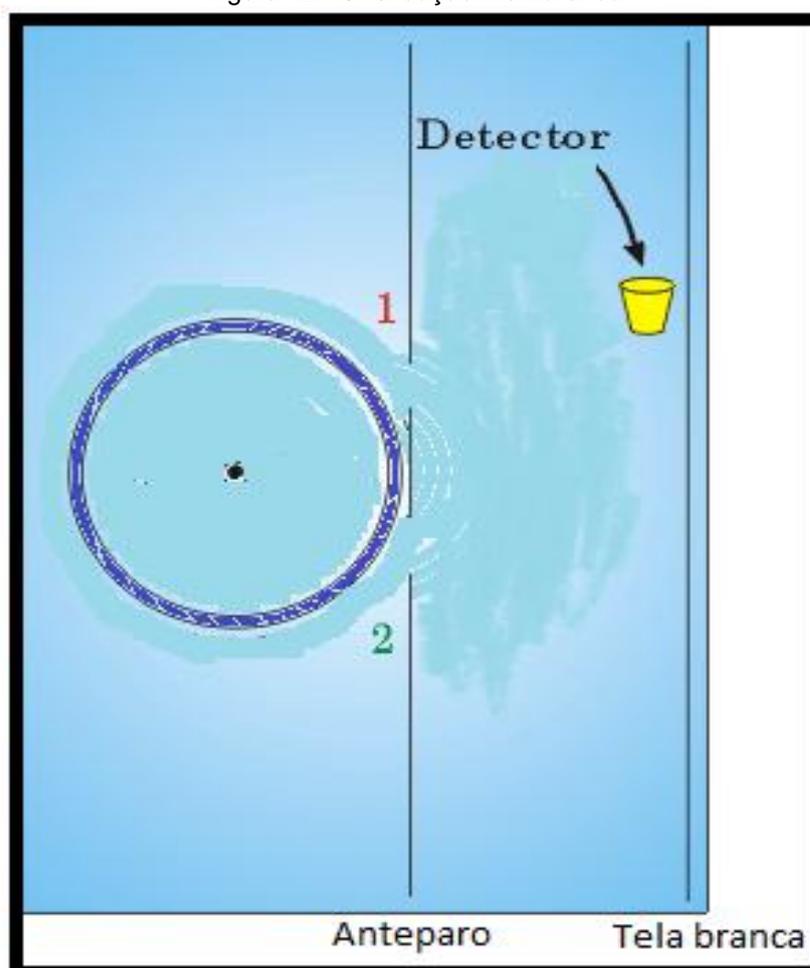
O que você acha que acontece neste experimento? Explique o desenho.

5.3.1.9 Parte 5.

Experimento para uma única onda

Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando uma onda circular.

Figura 12 - 5ª situação – uma onda



Fonte: site the Feynman Double slit

2) Encontra-se nesse esquema um anteparo que foi construído de modo a não permitir que a onda seja refletida, exceto pelas fendas 1 e 2, e logo após, um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.

O que você acha que acontece neste experimento? Explique o desenho.

(As outras situações que dão continuidade às questões estão nos apêndices B e C).

5.3.2 Pós-teste

As situações encontradas no pós-teste são as mesmas do pré-teste. A autora escolheu dessa forma para verificar as possíveis mudanças conceituais desenvolvidas após as novas representações dos conceitos quânticos, testadas através da ferramenta virtual.

5.4 DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os aspectos abordados pelos estudantes no desenvolvimento da resolução das situações que envolvem os pré e pós-testes, no que tange à relação entre o conceito e a representação dos modelos quânticos no fenômeno da dualidade onda-partícula.

Também serão descritas as entrevistas e os procedimentos utilizados pelos estudantes no desenvolvimento das questões dos pré e pós-testes, relacionadas às situações que envolvem a área da Física – abordadas com a ajuda dos softwares e simulação.

5.4.1 Segue os critérios de análises da forma estabelecida:

Analisar, nos pré-testes, os procedimentos que cada aluno desenvolveu para cada situação encontrada;

Inferir ou identificar possíveis conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, envolvidos nos procedimentos e nas entrevistas;

Apontar a frequência do uso das diferentes representações utilizadas na resolução de problemas encontrados;

Comparar os esquemas desenvolvidos nas questões do pré-teste em relação aos esquemas do pós-teste, a fim de identificar possíveis rupturas e a

ampliação do campo conceitual nas interpretações e representações dos modelos quânticos.

5.4.2 Análise pré-teste

Após análise das representações e da transcrição das entrevistas dos estudantes VI, EM e IA, NA e GI, realizadas após o pré-teste; salientamos os seguintes pontos:

- a) dificuldade em representar em desenho: na visualização das trajetórias dos elétrons e ondas;
- b) concordância nas diferenças entre objetos microscópicos e macroscópicos (mas todos têm o mesmo comportamento em situações parecidas);
- c) a representação externa pode ser diferente da representação interna.

Seguindo, detalharemos o levantamento desses pontos. Esse detalhamento poderá auxiliar na compreensão de como os estudantes operam mentalmente as informações, como resolviam as situações antes do contato com o software.

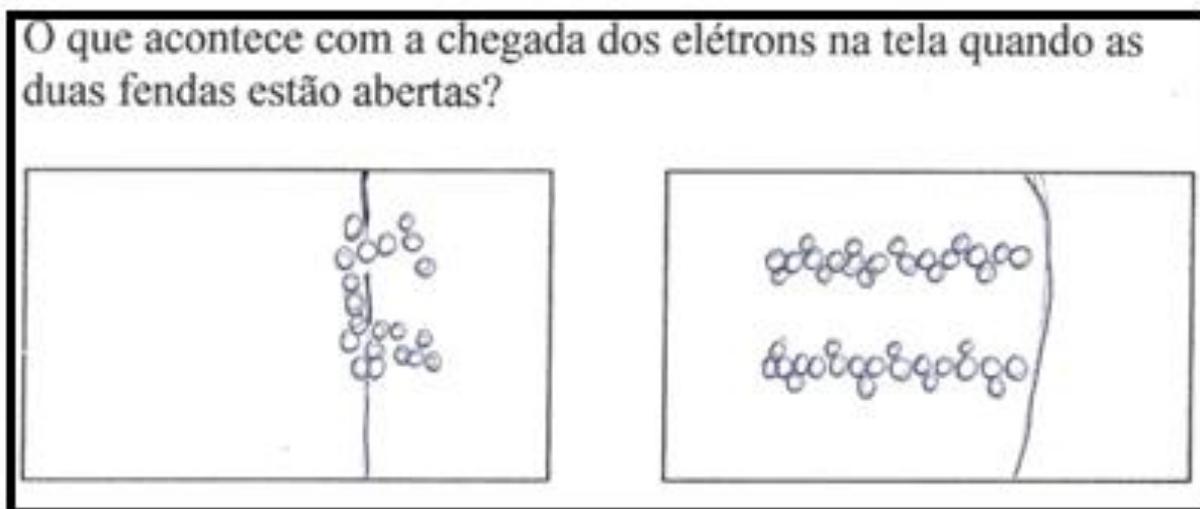
- a) dificuldade em representar em desenho - trajetória dos objetos.

Para resolver o pré-teste os estudantes deveriam acessar seus esquemas de representação, que foram internalizados por meio de experiências de visualização anteriores, em processos instrucionais diversos.

Nessa etapa, parte dos estudantes apresentou dificuldades na construção da trajetória dos elementos envolvidos e na representação externa e interna dos objetos, mostrando algumas concepções alternativas adquiridas durante o processo de aprendizagem. Nesse caso, foi enfatizada a representação da teoria corpuscular, fato que ocorre segundo Mortimer (1994), motivado pelos conceitos tratados no início do ensino médio em Química, que representa os elétrons como bolinhas aglomeradas.

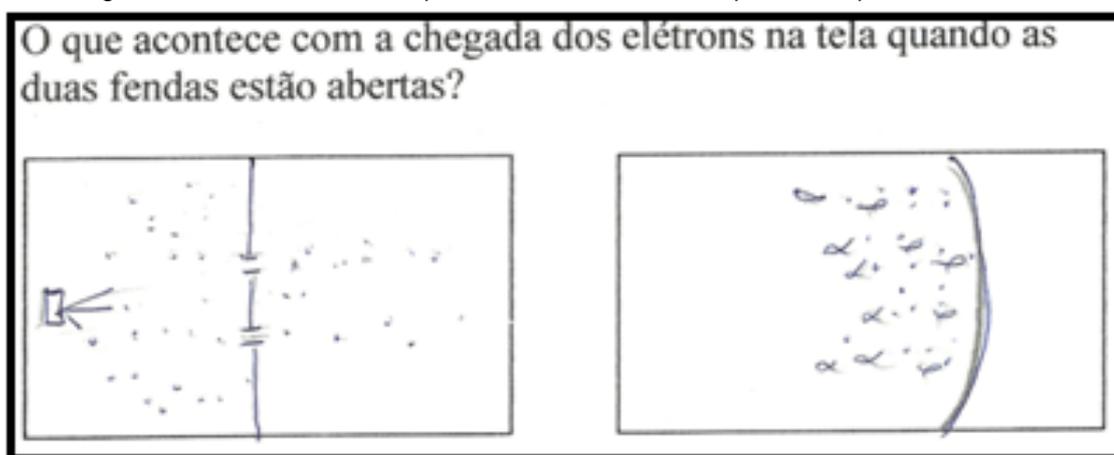
Estudante V.I

Figura 13 - - Pré-teste de VI, para um feixe de elétrons passando por duas fendas



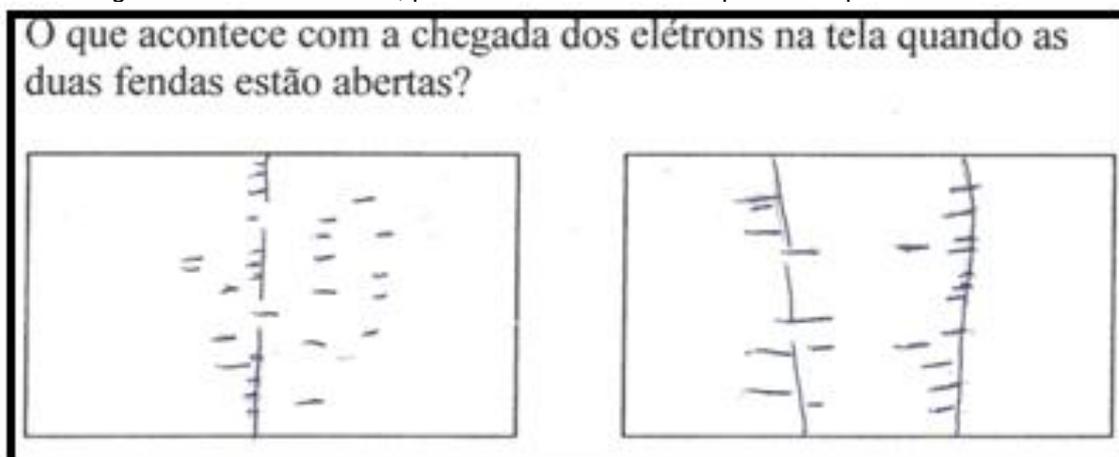
Estudante E.M

Figura 14 - Pré-teste de EM, para um feixe de elétrons passando por duas fendas



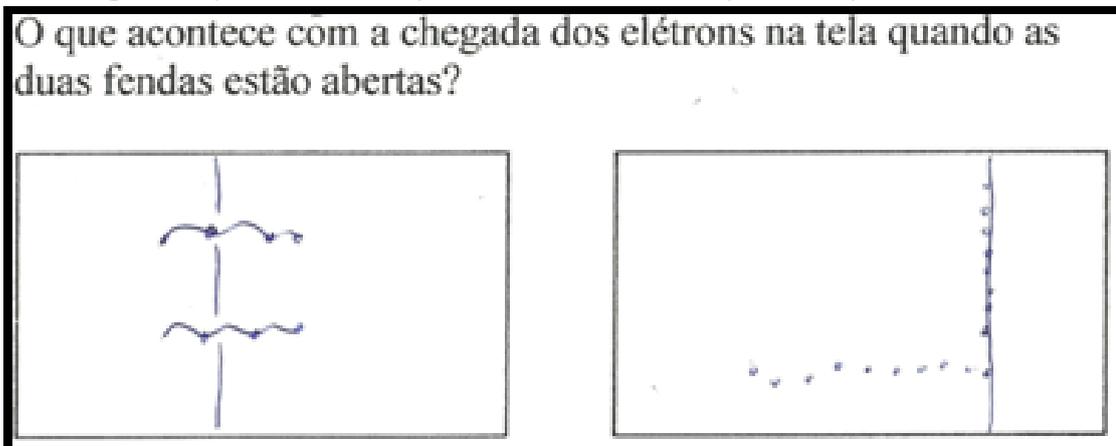
Estudante I.A

Figura 15- Pré-teste de IA, para um feixe de elétrons passando por duas fendas



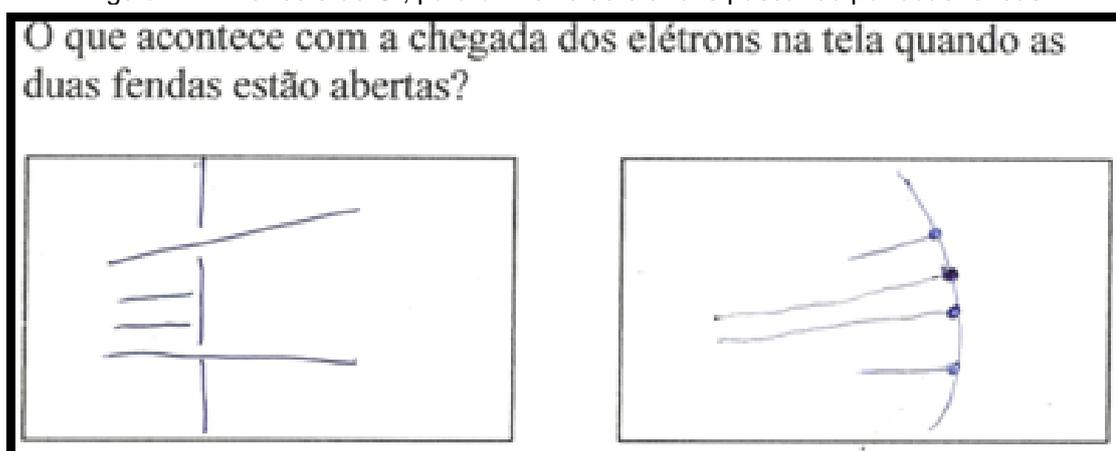
Estudante N.A

Figura 16- pré-teste de NA, para um feixe de elétrons passando por duas fendas



Estudante G.I

Figura 17 - Pré-teste de GI, para um feixe de elétrons passando por duas fendas

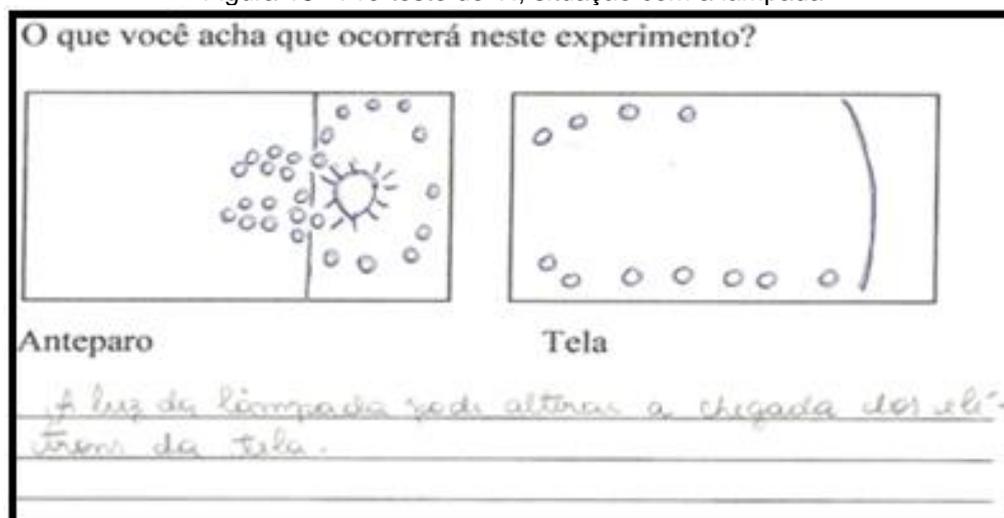


Os alunos afirmam, em comentários acerca de cada desenho, que não conseguem visualizar o processo do caminho do elétron e tentam representar um corpúsculo com velocidade, trajetória e localização.

Na situação modificada para “uma lâmpada acesa” (para observar por onde passam os elétrons), os estudantes responderam:

Estudante VI

Figura 18 - Pré-teste de VI, situação com a lâmpada

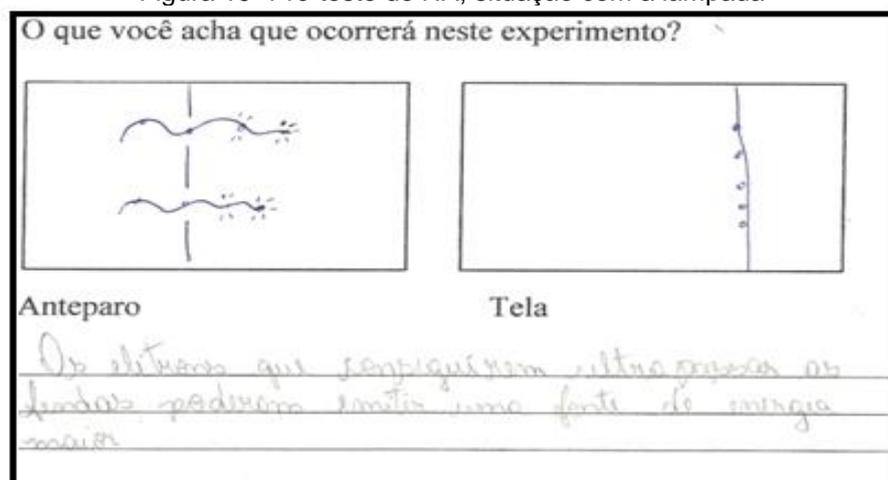


Para este estudante, a lâmpada exibe uma influência de afastamento dos elétrons e esta ideia é mostrada como uma concepção alternativa do próprio aluno - como a lâmpada foi colocada na situação, teria que acontecer alguma coisa diferente.

Na resposta de outro aluno, foi encontrado um resultado parecido. Mas o fato interessante desta coleta foi a semelhança deste resultado com a interpretação da onda piloto, pois, a aluna associou uma partícula a uma onda:

Estudante NA

Figura 19- Pré-teste de NA, situação com a lâmpada

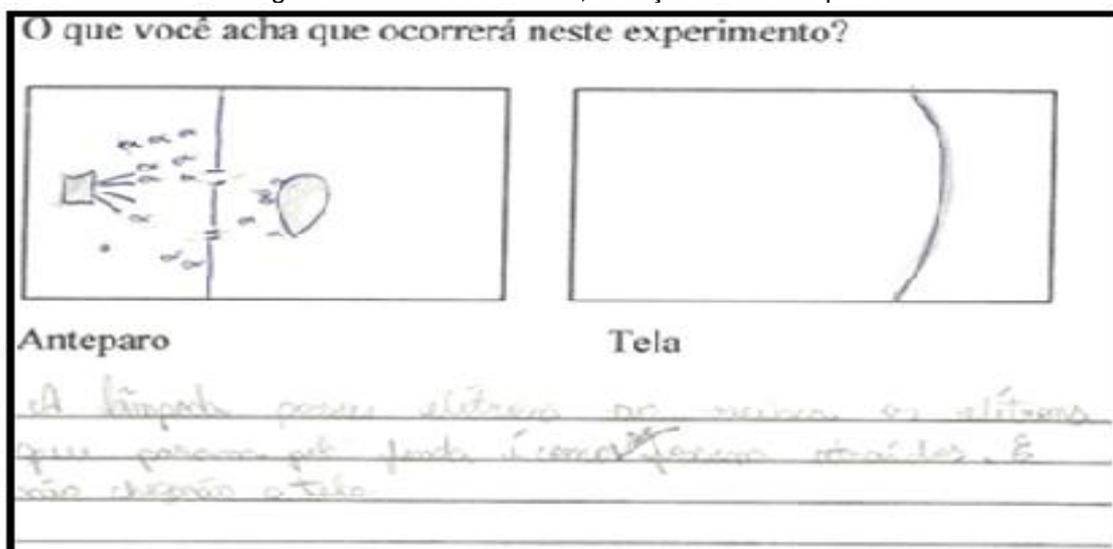


Agora, para os estudantes, os elétrons ganhariam energia e assim poderiam emitir energia e chegar até a tela. Novamente as concepções alternativas surgem, pelo fato de aparecer uma Lâmpada na situação.

Para os alunos EM, a luz da lâmpada poderia atrair os elétrons por conter outros elétrons, portanto, não chegando à tela. E para o aluno GI, a ideia é a mesma, mas passaria a gerar luz.

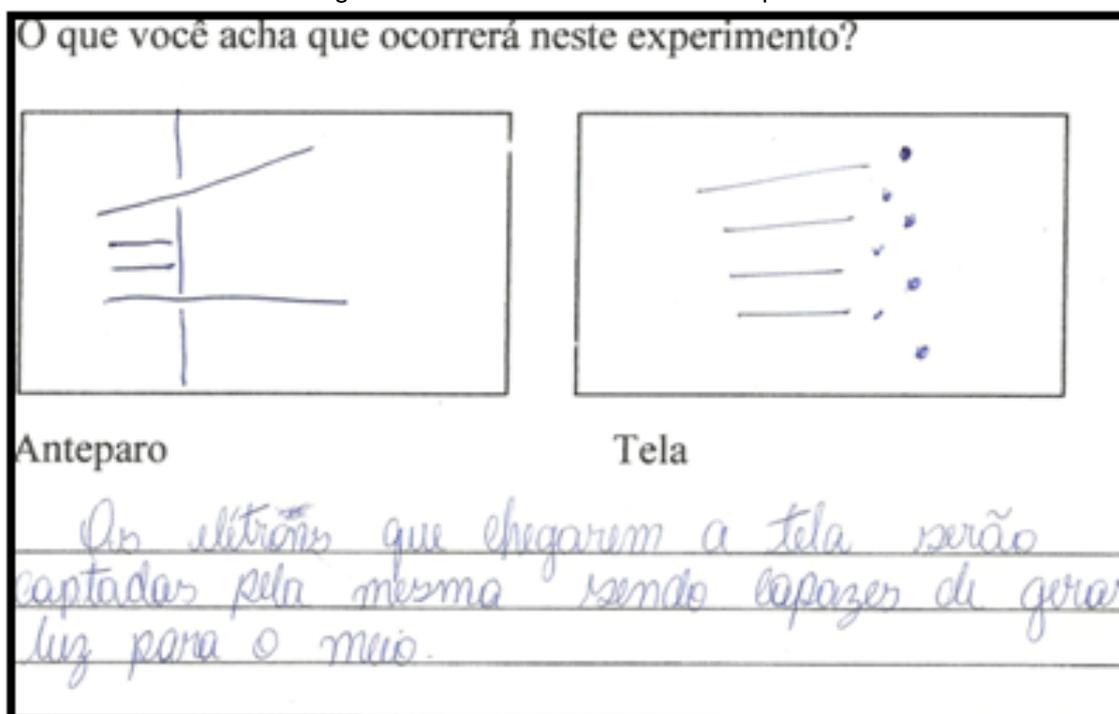
Estudante EM

Figura 20 - Pré-teste de EM, situação com a lâmpada



Estudante GI

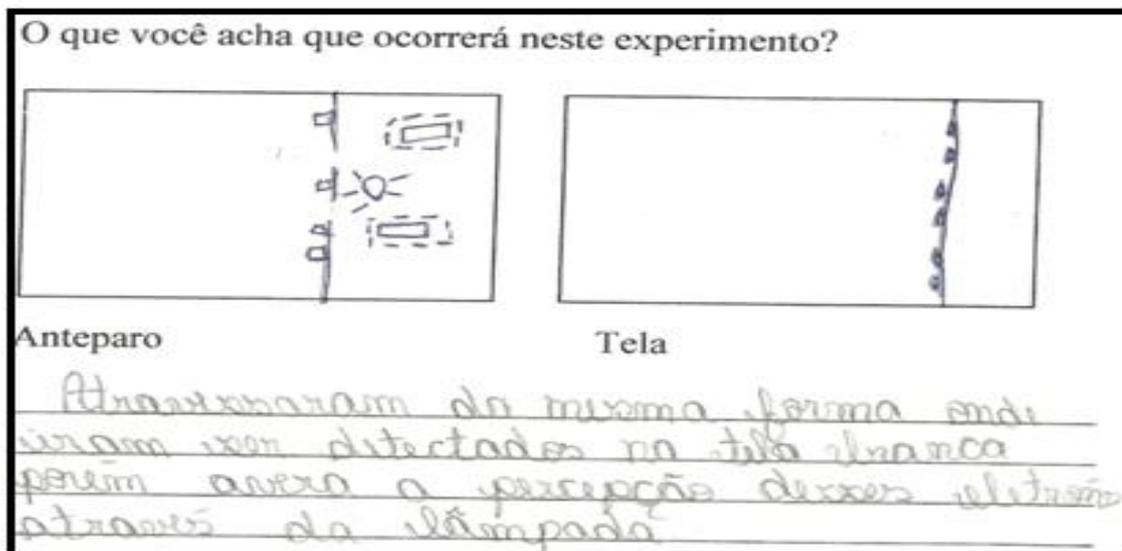
Figura 21 - Pré-teste de GI com a lâmpada



Do aluno IA, haverá apenas uma percepção dos elétrons, por causa da lâmpada.

Estudante IA

Figura 22 - Pré-teste de IA, situação com a lâmpada



A internalização dessas representações, juntamente com os invariantes operatórios (pertinentes ao conceito da teoria abordada), foi escolhida na tentativa de resolução das situações apresentadas no pré-teste. Em resumo, os estudantes acessaram seus esquemas para resolver a classe de situações apresentadas (relativas à construção das representações), inerentes ao fato do fenômeno da dualidade onda-partícula e, no caso, prejudicando a resolução das tarefas.

b) Concordância nas diferenças entre objetos microscópicos e macroscópicos (mas todos têm o mesmo comportamento em situações parecidas).

Foi unânime entre os analisados a diferença entre objetos microscópicos e macroscópicos,

Figura 23 - Pré-teste de VI

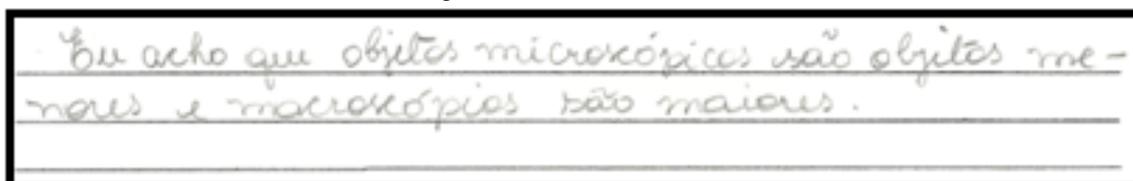


Figura 24 - Pré-teste de IA

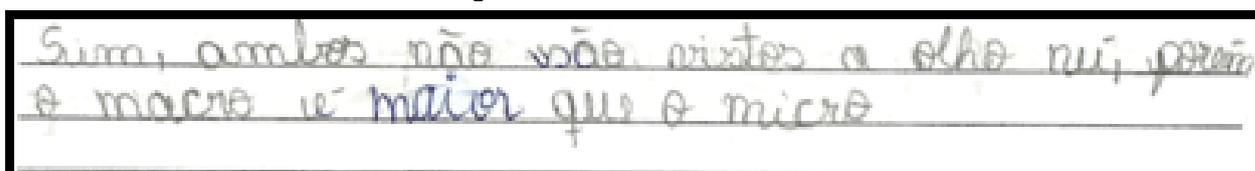
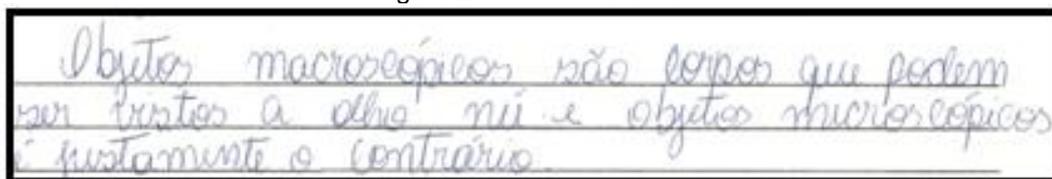
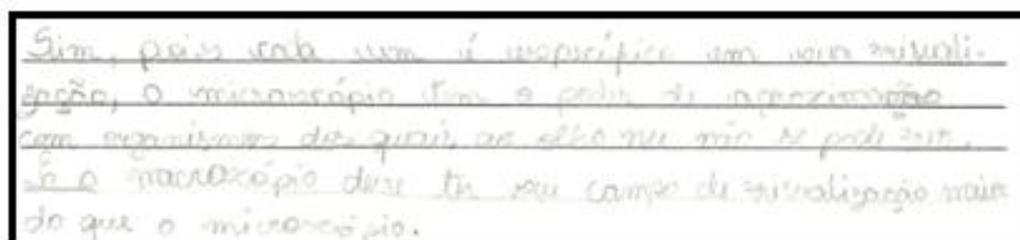


Figura 25 - Pré-teste de GI



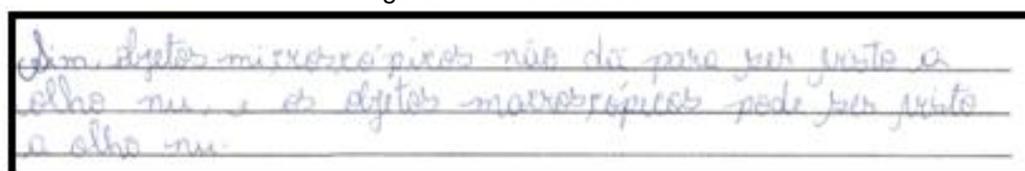
Objetos macroscópicos não podem ser vistos a olho nu e objetos microscópicos é justamente o contrário.

Figura 26 - Pré-teste de EM



Sim, pois com um microscópio em uma microscopiação, o microscópio tem a possibilidade de aproximação com o objeto de que se está vendo, e a macroscopia deve ter seu campo de visualização maior do que o microscópio.

Figura 27 - Pré-teste de NA



Os objetos microscópicos não dá para ser visto a olho nu, e os objetos macroscópicos pode ser visto a olho nu.

Várias contradições foram encontradas, relacionadas a objetos grandes (balas) e pequenos (elétrons). Observe as descrições dos estudantes:

Primeira

- ... podemos vê os elétrons, quando passam pelas fendas e encontram a lâmpada. (estudante IA)

- ... o elétron vai parando até passar pelas fendas, enquanto isso o movimento será visto pela lâmpada e irá se distanciar. (estudante VI)

Segunda

- ... os elétrons que passaram pelas fendas farão danos a tela branca. (estudante GI)

Terceira

- Professora eu me contradisse. (estudante IA)

- Onde? (entrevistador)

- Aqui, quando falo que posso vê os elétrons com a lâmpada, não é verdade. (estudante IA)

Para os alunos analisados, esse estudante deixou evidente a sua contradição, mas a corrigiu. O estudante recorreu aos seus esquemas construídos e colocou alguns conceitos em ação, tentando representar o fenômeno.

- E então o que acontece? (entrevistador)
- O mesmo sem a lâmpada (o aluno fica pensando)... é porque eu não sei o que acontece. (estudante IA).

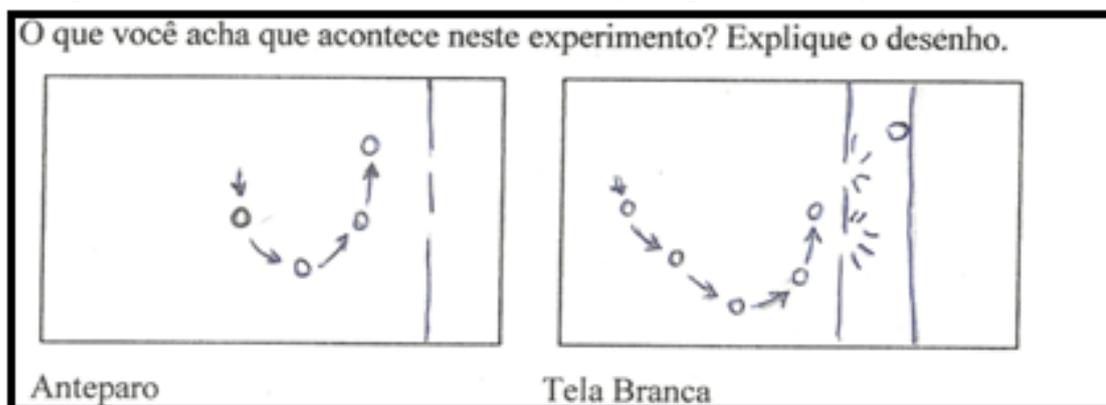
c) Visualização interna x representação externa

Os dados coletados levam a evidenciar que a visualização do fenômeno das ondas, se propagando por duas fendas, pelos alunos, manifesta uma representação externa diferente daquelas que realmente querem mostrar.

Durante a entrevista do pré-teste, o aluno VI foi questionado porque ele representou uma onda como bolinhas em movimento, como podemos observar na figura 28 abaixo:

Estudante VI

Figura 28 - Pré-teste de VI, sobre uma onda se propagando em direção as duas fendas



- Eu imagino uma onda mesmo, só que eu desenho com bolinhas para mostrar a trajetória da onda, em movimento circular, passando pelas fendas. (estudante VI)

Para esse aluno, é melhor o uso de outros tipos de representação que julga mais convenientes para resolver a situação.

Pode-se constatar que a visualização interna sofre interferência de vários fatores relativos ao conjunto de situações ou até mesmo ao campo conceitual específico que estamos trabalhando. No campo conceitual da física, ser uma onda ou uma partícula tem uma grande importância e, portanto, foi alterado o colocado pelo estudante VI, ficando em segundo plano.

De uma forma geral, observamos que o conceito-em-ação do elétron para os experimentos questionados, tanto do elétron em um experimento de dupla fenda simples como de um elétron em um experimento de dupla fenda (com a presença da

luz), é o de um elétron com representação corpuscular e invariantes referentes ao movimento de um elétron de forma corpuscular (elétron como corpo inercial, que altera sua trajetória ao se colidir com um objeto sólido). O estudante VI afirma que imagina o elétron como uma onda, mas o representa como um corpúsculo, o que indica uma contradição.

5.4.3 Análise pós-teste

Ao comparar os pré e pós-testes, analisamos os resultados em torno das diferenças representacionais que ocorreram após manipulação dos softwares 1 e 2. Rapidamente percebemos que os testes traziam poucas informações, metodologicamente reproduzíveis sobre os invariantes operatórios adquiridos durante o processo instrucional. Assim, nos limitamos à análise das representações e das situações envolvidas nos testes.

Após analisar as diferenças entre os testes e categorizar os estudantes de acordo com o nível de evolução, os marcos apresentados na Tabela 1 foram analisados. Neste caso, utilizamos a idéia de evolução representacional, ou seja, quanto mais as representações utilizadas pelos estudantes se aproximassem das utilizadas pelo software de construção de modelos macroscópicos e microscópicos, tanto melhor a evolução do estudante.

Contudo, do ponto de vista da Teoria de Campos Conceituais, não devemos esquecer que os estudantes irão desenvolver suas representações frente às situações específicas apresentadas durante os testes e o processo instrucional. Assim, esperamos que a evolução seja mais marcante, principalmente no que toca explicitamente o comportamento dos elétrons e das representações (adequadas para a compreensão deste conceito), bem como suas características fundamentais – (aquelas que indicam diferenças quando a lâmpada aparece).

Desta forma, os estudantes foram classificados em três grupos distintos: os que apresentaram vários elementos identificados como evolução excelente entre o pré e o pós-teste (aqueles que apresentaram uma “equilíbrio” melhor dos elementos assimilados advindos dos softwares 1 e 2); os que apresentaram boa evolução; e os que apresentaram uma mudança leve pela análise dos desenhos, à luz do referencial teórico. Aqui entendemos equilíbrio, assimilação e acomodação em um sentido neopiagetiano, tal qual assumido por Vergnaud; ou seja, não buscamos estudantes que representem exatamente como os desenhados pelo

programa, mas os que compatibilizem a lógica assimilada com sua própria capacidade de desenhar as representações anteriormente – ainda mais que têm certas representações que ainda não existem – como no caso da onda-partícula.

Quadro 1 - Mostra as diferenças entre cada grupo, o qual foi dividido conforme a classificação dos estudantes, considerando o seu nível de evolução

Nível de Evolução	Representação	Comportamento	Linguagem
Excelente	Mudança observável	Mudança considerável	Mudança considerável
Boa	Mudança observável	Mudança considerável	Mudança observável
Leve	Mudança observável	Mudança pouco observável	Mudança pouco observável

Nota:

Mudança pouco observável: Indica a não utilização da respectiva representação conceitual;

Mudança observável: Indica a transição do tipo na representação conceitual;

Mudança considerável: Indica a frequência do uso de representação conceitual;

5.5 ANÁLISES DAS REPRESENTAÇÕES

Colocamos todos os estudantes de cada nível apresentado na Tabela de evolução para discutirmos detalhadamente suas representações – no que tange a teoria quântica e objetos microscópicos (elétrons).

Leve evolução – (EM, IA)

5.5.1 Para Balas

A seguir, são apresentadas algumas concepções intercaladas a comentários interpretativos, a partir da análise das respostas, aplicada na ocasião do encontro virtual. A tabela 1 mostra as respostas do aluno EM às questões que compunham os testes.

Quadro 2- Resposta do aluno EM

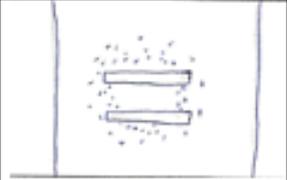
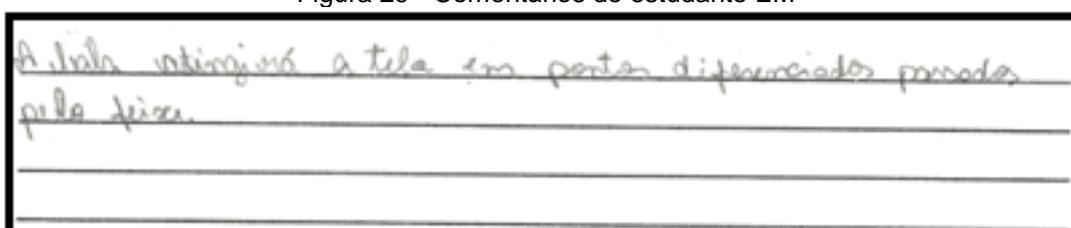
Situação (1)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma metralhadora que dispara balas indestrutíveis em várias direções, e a sua frente um anteparo metálico que impede a passagem das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo há uma tela branca, com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.		

Figura 29 - Comentários do estudante EM



Nos resultados observados, o estudante EM mostrou mudança observável em dois pontos: nas representações dos testes e no comportamento, destacando-se a representação corpuscular, visualizada na tela branca, para objetos macroscópicos.

Este estudante mostrou características presentes em compreensão da situação explicando que os objetos só irão passar pelas fendas. Após a intervenção, no pós-teste, conforme mostra o quadro do comentário, o estudante realizou toda a tarefa automaticamente, provavelmente proveniente do uso dos softwares.

A próxima tabela mostra as respostas do aluno IA às questões que se referem aos testes trabalhados.

Quadro 3 – Resposta do estudante IA

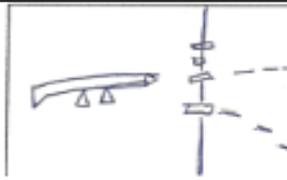
Situação (1)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma metralhadora que dispara balas indestrutíveis em várias direções, e a sua frente um anteparo metálico que impede a passagem das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo há uma tela branca, com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.		

Figura 30 - Comentários do estudante IA

Concentram-se mais depois da fenda, nem se espalham muito

Apesar do pouco entusiasmo apresentado pelo estudante IA em descrever o fenômeno, mesmo assim tentou representar os objetos. Visualizou-os como duas fileiras retilíneas na vertical, sem se preocupar onde poderia parar cada bala. O importante dessa situação era deixar visível o comportamento entre objetos microscópicos e macroscópicos e suas devidas características como trajetória, velocidade e localização bem definida.

5.5.2 Para Ondas

Na tabela 3, mostra as representações quanto às ondas e seu comportamento esperado:

Quadro 4 - Representação da estudante EM

Situação (2)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando várias ondas circulares constante. E a sua frente um anteparo que foi construído de modo a não permitir que as ondas sejam refletidas, exceto por duas fendas 1 e 2. E logo após um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.		

Figura 31 - Comentários do estudante EM na tab. 3a

no ponto que os dois fizes, gerou duas ondas pequenas que se interferiram e deu a. Sendo as partes menores destrutivas e áreas construtivas

Neste caso, o estudante EM, já mostra uma mudança considerável quanto à linguagem, proveniente das aulas ministradas pela professora durante a segunda etapa (ver metodologia), passa a visualizar duas pequenas ondas interferindo uma na outra; em seguida vê uma diminuição na intensidade das ondas até chegar à tela branca.

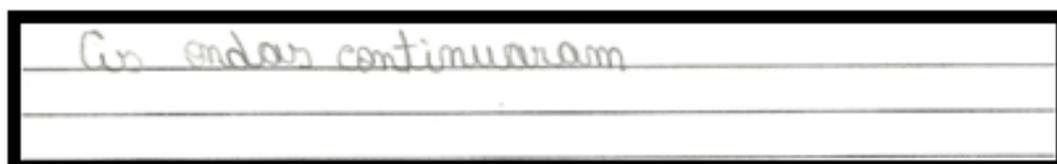
A importância da aula foi em esclarecer o comportamento das ondas e suas características, juntamente com os seus fenômenos de difração e interferência. A situação da dupla fenda se dá pelo fato de identificar características notáveis quanto aos seus comportamentos, motivo em ser de caráter ondulatório.

A próxima tabela 3b mostra as respostas do aluno IA às questões que se referem aos testes trabalhados.

Quadro 5 – Respostas do estudante IA

Situação (2)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando várias ondas circulares constante. E a sua frente um anteparo que foi construído de modo a não permitir que as ondas sejam refletidas, exceto por duas fendas 1 e 2. E logo após um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.		

Figura 32 - Comentário do estudante IA da tabela 3b



Para este estudante, nada ocorreu. Para ele, as ondas apenas continuaram devido à bolinha descer e subir livremente, seguiram a mesma direção e sentido. O aluno não compreendeu a situação, nem se deu conta de que poderia haver uma interferência entre as ondas, com a existência da difração.

5.5.3 Para elétrons / sem a lâmpada

Nesta etapa, a análise da situação 3 foi mais minuciosa, por se tratar de objetos microscópicos não visíveis e pela melhor observação do comportamento deles nas situações envolvidas.

No quadro 6 constam as representações esperadas para elétrons:

Quadro 6 - estudante EM

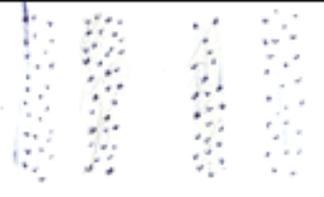
Situação (3)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

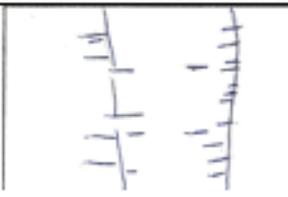
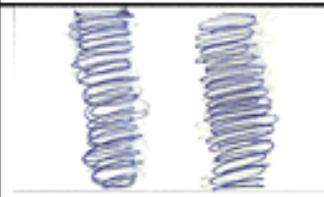
Figura 33 - Comentário do estudante EM

A concentração vai nos dois pontos de cada fenda sendo mais concentrado ao meio. (ultra pequena)

Verifica-se que o estudante mostra a imagem do fenômeno de interferência para elétrons e afirma nos comentários “elétrons são partículas”. Contudo, representa um padrão de interferência, tal qual visto no experimento virtual. Assim, concluímos que ocorreu apenas uma memorização do resultado do experimento.

Em seguida, a tabela 4b representa as respostas do estudante IA para elétrons, a partir de uma fonte:

Quadro 7 – estudante IA

Situação (3)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

O estudante IA não comentou o desenho. Identifica-se, então, que não consta a interferência para a emissão de vários elétrons. Possivelmente, para o estudante, não tem interferência quando os elétrons são submetidos à passagem nas fendas. Caracteriza-se esse comportamento com base na mecânica clássica, como mostra o desenho, apenas nos espaços das fendas para o argumento de partículas.

Para este grupo a TCC abrange a importância da relação entre o comportamento e a representação, onde o comportamento está ligado ao teorema-em-ação (real) e à representação nos conceitos-em-ação (ação pertinente).

Todas estas características foram assimiladas após o contato com o programa, podendo, dentro da TCC, serem explicadas pela apropriação de elementos representacionais, presentes nas representações dos softwares, que foram assimilados pela estrutura cognitiva dos estudantes. Esta apropriação, feita mais especificamente pelo estudante EM, indica a memorização do resultado, sem maior evidência de aprendizado.

5.5.4 Para elétrons c/ a lâmpada

Essa situação, representada na tabela 5, mostra a imagem dos elétrons com a presença de uma lâmpada por trás das fendas:

Quadro 8 – estudante EM

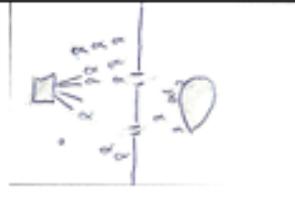
Situação (3)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás delas uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 34 - Comentário do estudante EM

A concentração foi maior do que sem a lâmpada
 é como se a lâmpada quebrou nessa emissão

Fica evidente que o estudante EM nota o desaparecimento do comportamento ondulatório dos elétrons ao constatar o aparecimento da lâmpada; ele justifica “é como se a lâmpada quebrou nessa emissão”; fica claro também que é por causa da luz da lâmpada que ocorre o desaparecimento dual dos elétrons, mas o aluno não argumenta e nem justifica com base no que foi estudado na aula ministrada.

A possível aceitação simplista, da mudança comportamental dos elétrons, deve ser pelo fato do não entendimento da situação, ou por não haver mudança conceitual do estudante.

Para as representações da estudante IA, observa-se a tabela 5b.

Quadro 9 – Estudante IA

Situação (3)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás delas uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 35 - Comentário do estudante IA

A lâmpada ligada diminuiu a quantidade que passa.

Se compararmos os resultados da estudante IA com e sem a lâmpada, verificamos que não há diferença, os elétrons irão sempre se comportar como se fossem partícula, aparecendo sempre nos espaços das fendas, que compõem o caráter corpuscular das partículas.

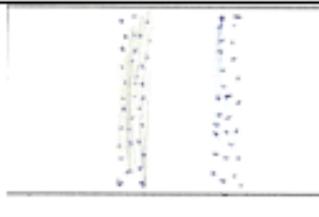
Enfatizando a diminuição da quantidade dos elétrons que passam pelas fendas, a estudante IA mostra pouco domínio na situação. Possivelmente, o não entendimento da questão explorada o levou à interpretação corpuscular dos elétrons.

5.5.5 Para apenas um elétron

Quadro 10 - do estudante EM – sem lâmpada

Situação (4)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Quadro 11 - do estudante EM - com a lâmpada

Situação (5)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Segundo o estudante EM, no seu pré-teste, a lâmpada poderia atrair o elétron e não chegaria à tela, no entanto, nada desenhou.

Já no pós-teste, o aluno EM identificou a presença do elétron nos espaços das fendas, caracterizando-o com caráter corpuscular, representação para o elétron com a lâmpada, identificando uma mudança observável no comportamento e representação desses objetos.

Quadro 12 - do estudante IA

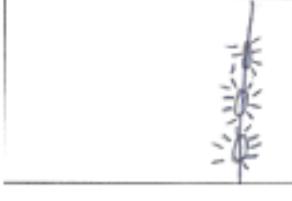
Situação (5)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 36 - Comentário do pré-teste do estudante IA

Quando o elétron conseguiu passar por uma das fendas, ele irá parando gradativamente até que chegue na tela, aumentando um pouco o movimento, porém não chega perto da lâmpada.

Figura 37 - Comentário do pós-teste do estudante IA

Os elétrons se concentraram mais, ficando mais precisos e formando linhas mais finas desde a luz.

Novamente, ao contrário dos outros resultados do aluno IA, fica evidente sua conclusão quanto ao desaparecimento da interferência, quando a lâmpada aparece

por detrás das fendas; mas, isso se deve ao fato do uso dos simuladores, pois, o elétron (emitidos um por vez) agiria e mostraria essa representação como duas fileiras na vertical, por onde fica o espaço das fendas.

Dessa forma, para este grupo, representado pelos estudantes EM e AI, concluímos que não há evolução representacional e, conseqüentemente, pouca ou nenhuma evolução conceitual.

5.6 BOA EVOLUÇÃO – (NA E VI)

Este grupo se caracteriza por apresentar uma boa evolução, isto é, uma melhora representacional e conceitual entre os resultados do pré e pós-teste.

5.6.1 Para Balas

Quadro 13 - estudante NA

Situação (1)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma metralhadora que dispara balas indestrutíveis em várias direções, e a sua frente um anteparo metálico que impede a passagem das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo há uma tela branca, com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.		

Figura 38 - Comentário da estudante NA

Naturalmente, temos de falar em probabilidade, pois é impossível saber, com certeza absoluta, a trajetória de cada partícula, já que elas são lançadas em direções aleatórias. Sabemos que elas chegam em pontos idênticos e não apresentam interferência. Já partículas, no caso, as balas chegam ou não chegam em pontos iguais, ou seja, com intensidades "discretas" ou "quantizadas".

Transcrevendo comentário NA: Naturalmente, temos de falar em probabilidade, pois é impossível saber, com certeza absoluta, a trajetória de cada partícula, já que elas são lançadas em direções aleatórias. Sabemos que eles

chegam a pacotes idênticos e não apresentam interferência. As partículas, no caso, as balas, chegam ou não chegam a pacotes iguais, ou seja, com intensidades discretas ou quantizadas.

Quanto ao resultado obtido pelo aluno NA, ficou claro que o estudante teve acesso ao conteúdo sobre mecânica quântica antes de responder ao pós-teste, pois, identificamos palavras que não correspondem ao nível que eles se encontram e, logo, a professora não se expressou usando essas palavras, pois fazem parte de nível superior, como: “discretas” ou “quantizadas” e “pacotes”.

Quadro 14 - estudante VI

Situação (1)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma metralhadora que dispara balas indestrutíveis em várias direções, e a sua frente um anteparo metálico que impede a passagem das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo há uma tela branca, com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.		

Figura 39 - Comentário do estudante VI

as balas chegarão a tela branca seguindo uma nó...
trajetória ultrapassando as fendas devido a
sua intensidade

O estudante VI foi bem sucinto em suas respostas. Para objetos macroscópicos, identificou bem o comportamento das balas como sendo de caráter corpuscular e até a sua trajetória, característica necessária para identificação para objetos dessa natureza.

5.6.2 Para Ondas

Na tabela 11, mostra as representações quanto às ondas, e seu comportamento esperado:

Tabela 11

Quadro 15 – Estudante NA

Situação (2)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando várias ondas circulares constante. E a sua frente um anteparo que foi construído de modo a não permitir que as ondas sejam refletidas, exceto por duas fendas 1 e 2. E logo após um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.		

Figura 40 - Comentário do estudante NA

Em primeiro lugar, observe-se que a onda que chega ao detector pode ter qualquer intensidade, ou seja, a bolinha pode se mover com qualquer amplitude, desde que seja muito pequena. As ondas chegam com qualquer intensidade, ou seja, a intensidade varia de forma "contínua" neste experimento (pode-se observar que houve uma interferência destrutiva, com muitas linhas).

O aluno NA demonstrou entendimento na situação. Observou-se que ele entendeu que houve interferência das ondas como destrutivas e construtivas, deixando claro que, com o aumento da amplitude, a onda poderia chegar com qualquer intensidade no anteparo. Logo, demonstrou também que somente para onda existe esse fenômeno de Interferência.

Quadro 16 – estudante VI

Situação (2)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando várias ondas circulares constante. E a sua frente um anteparo que foi construído de modo a não permitir que as ondas sejam refletidas, exceto por duas fendas 1 e 2. E logo após um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.		

Figura 41 - Comentário do estudante VI

as ondas vão passar pelas fendas até chegar na tela branca.

O aluno VI identifica também a interferência das ondas, como mostra no desenho. Também identifica a criação de mais duas frentes de ondas e segue a interferência que existe entre elas, caracterizando um caráter ondulatório e mostrando que sabe que pode ocorrer esse fenômeno, deixando claro que as ondas passariam pelas fendas e chegariam à tela branca.

5.6.3 Para elétrons / sem a lâmpada

A Tabela 13 representa os resultados do estudante NA e VI:

Quadro 17 - Estudante NA

Situação (3)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 42 - Comentários de NA

haverá uma interferência.

É evidente a mudança conceitual desse aluno. A representação sucinta e certa se deve, possivelmente, à ocorrência da aprendizagem. E a sua aceitação se deve pelo fato de o aluno se convencer do fenômeno dual do elétron, quando colocado na situação de duas fendas a sua frente, podendo se tornar uma onda quando submetido para tal.

Quadro 18 - estudante VI

Situação (3)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 43 - Comentário de VI

Os elétrons irão passar pelas fendas e aparecerá na tela branca algumas interferências.
(caráter de ondulação).

Para o aluno VI, a mudança conceitual também tem evidência em sua ocorrência, por se tratar desse grupo (boa evolução) e sua aprendizagem. A aceitação do caráter ondulatório para elétrons, tido como partícula, um momento antes, é mais comum, e deixa claro que ocorrerá devido à passagem pelas fendas; e sua representação será de interferência, cujo fenômeno é para as ondas.

Observando os resultados desse grupo, o desenvolvimento à luz da TCC pode ser explicado a partir da apropriação dos elementos representacionais, presentes nas representações dos softwares, assimilados pela estrutura cognitiva de cada aluno.

Para os alunos NA e VI, a mudança comportamental dos elétrons são representações ligadas a duas situações diferentes: a chegada deles no anteparo e o momento após a passagem deles nas fendas – os invariantes operatórios desse grupo, em específico os conceitos-em-ação, mostram pouca assimilação com o que realmente está acontecendo, justificando a mudança representacional entre os testes pré e pós.

5.6.4 Para elétrons com a Lâmpada

Quadro 19 – estudante NA

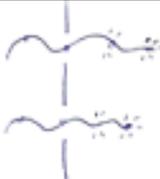
Situação (4)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás delas uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 44 - Comentário de NA

Eles chegaram até a tela branca e ficaram aleatórios
 do fato de medir ou observar por qual fenda o
 elétron passaria, só não que ele passasse por uma
 fenda e não pelas duas. O elétron decidiu agir dife-
 rente já que ele sabia que estava sendo observado.
 Podemos ver que o observado acabou com a função de
 onda simplesmente por observar.

O aluno NA decide explicar o fato de que o elétron age diferente, visto que ele está sendo observado (como sendo a própria decisão do elétron). Até a chegada do elétron à tela branca, as posições são aleatórias, de modo que se fosse observado e medido por qual fenda passaria o elétron, mudaria todo o comportamento. O estudante NA demonstra cada vez mais entendimento, com relação à mudança de situação e compreensão no desenvolver dos conceitos científicos – distinguindo o fato dual do elétron, quando está ou não sendo observado. NA começa a compreender que, ao mudar o setup ou a situação-problema, a representação a ser utilizada para o elétron também deve mudar, sendo de um caráter ondulatório para um caráter corpuscular (com a presença de luz).

Quadro 20 - Representa dados observados de VI

Situação (4)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás delas uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 45 - Comentário de VI

os elétrons irão passar pelas fendas em forma de ponto, mas devido a lâmpada acesa, não haverá interferências.

O aluno VI demonstra clareza em suas respostas, pois, identifica a ocorrência de interferência somente quando os elétrons não estão sendo observados e irão se comportar como partículas. Segundo ele, os elétrons teriam forma de ponto, característica que enfatiza a representação para partículas; esse argumento se deve à lâmpada acesa, demonstrando, novamente, a causa do não aparecimento das interferências.

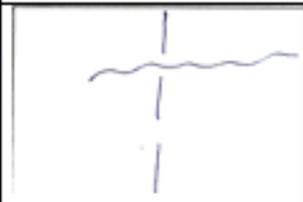
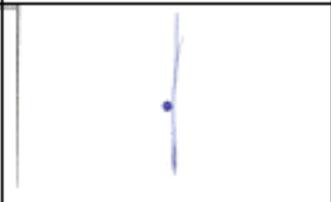
A interpretação dual no comportamento dos elétrons se dá através da representação conceitual, a partir da entrada da lâmpada na situação em questão. Assim, já se entende com clareza as falas dos alunos sobre interferência e partículas. Mas, como são duas coisas diferentes, também se trata de duas situações diferentes. Em uma interpretação advinda de uma posição corpuscular, o fato de haver as fendas, possivelmente, ocasionará mudança em seu comportamento.

Vergnaud (1998) considera que os invariantes operatórios fazem a articulação essencial entre teoria e prática, pois, a percepção, a busca e a seleção de informações baseiam-se inteiramente no sistema de conceitos-em-ação, quanto aos objetos, relações e aos teoremas-em-ação em sua conduta.

5.6.5 Para um único Elétron (sem e com a lâmpada)

O quadro 21 representará os resultados dos estudantes NA e V.I.:

Quadro 21 - Estudante NA. Sem a lâmpada

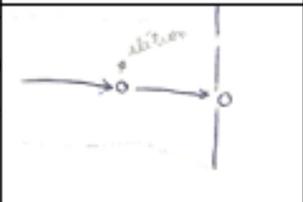
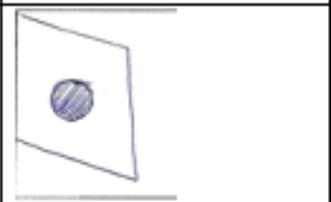
Situação (5)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Quadro 22- estudante NA. Com a lâmpada

Situação (5)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

A compreensão que se tem entre o comportamento de um elétron sem e com a interferência da lâmpada, mostra que o aluno NA teve um descuido em representar apenas o elétron passando por uma das fendas (entendimento este caracterizado por ser emitido apenas um elétron por vez e que foi representado em apenas uma fileira vertical). Todavia, nota-se o cuidado que o aluno teve em desenhar a representação com caráter corpuscular para a situação com a lâmpada.

Quadro 23 - Estudante VI Sem a Lâmpada

Situação (6)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Quadro 24 - estudante VI Com a lâmpada

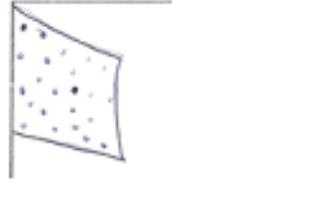
Situação (5)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 46 - Comentário de VI

Com a lâmpada acesa, eu acho que aparecerá pontos na tela branca.

Para o aluno VI, o mesmo entendimento ocorrerá quando para vários objetos microscópicos (elétrons). Ele identifica um caráter corpuscular para a situação com a lâmpada e para a situação sem a lâmpada. O estudante, possivelmente, não compreendeu a situação de um elétron por vez e não identificou bem a representação, como demonstraram os resultados obtidos para vários elétrons emitidos.

Em uma mesma situação, o aluno pode não dispor de competência necessária para tratar determinada situação, o que o obrigará a um tempo de reflexão sobre o assunto em questão, levando-o para o sucesso ou fracasso (VERGNAUD, 1993).

O aluno VI não teve competência para o entendimento da situação com a lâmpada, pois repetiu a mesma resposta do pré-teste, modificando apenas a sua representação devido ao uso dos softwares analisados.

5.7 EXCELENTE EVOLUÇÃO – GI

Durante o pré-teste, ou seja, antes do uso do programa, este estudante caracterizou-se por apresentar uma melhor linguagem científica, interpretação e melhores argumentos para a mudança das representações conceituais.

A tabela 21 representa resultados dos testes do estudante GI:

5.7.1 Para balas

Tabela 21
Quadro 25 - Estudante GI

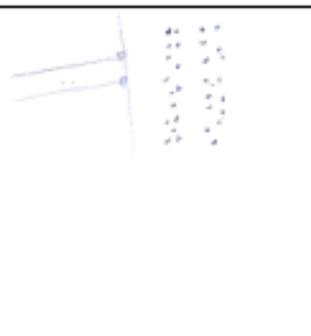
Situação (1)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma metralhadora que dispara balas indestrutíveis em várias direções, e a sua frente um anteparo metálico que impede a passagem das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo há uma tela branca, com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.		

Figura 47 - Comentário do Pós-teste de GI

As balas que acertarem o anteparo não causam um dano mas ~~vão~~ não conseguem atravessar exceto pelas duas fendas 1 e 2.

Em todos os resultados os estudantes mostraram excelente mudança conceitual, tanto no comportamento como na representação de objetos macroscópicos, nesse caso para balas.

5.7.2 Para ondas

Quadro 26 - estudante GI, antes dos simuladores

Situação (2)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando várias ondas circulares constante. E a sua frente um anteparo que foi construído de modo a não permitir que as ondas sejam refletidas, exceto por duas fendas 1 e 2. E logo após um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.		

Figura 48 - Comentário de GI, após os simuladores

Acentuara uma interferência entre as ondas após terem passado pelas fendas.

Nesse caso, o estudante mostra as interferências quanto às ondas, que ficam explícitas no desenho, caracterizando uma mudança observável na representação e no comportamento, como mostra o desenho.

5.7.3 Para elétrons (sem a Lâmpada)

Quadro 27 – estudante GI

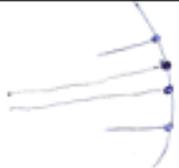
Situação (3)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 49 - Comentários do pré-teste de GI, antes dos simuladores

Pelo fato de haver apenas duas fendas os elétrons serão comprimidos dentro do sistema e os elétrons que passaram pelas fendas chegarão a tela esboçando um certo dano a mesma.

Figura 50 - Comentários do pós-teste de GI, após os simuladores

Os elétrons serão transformados em ondas quando tiverem cruzado as fendas e poderão passar pelas duas e após isso eles se transformarão novamente em partículas até a chegada na tela.

Durante o pré-teste o estudante, aparentemente, não compreendeu a situação-problema. Já no pós-teste, o estudante afirma que os elétrons assumem um caráter ondulatório na passagem pelas fendas e, em seguida, assumem um caráter corpuscular, quando chegam à tela.

Possivelmente, esta é uma interpretação que o estudante tem de forma simplista, pois, é o que se observa durante o experimento. Para tentar explicar a

interferência que os elétrons apresentam (que o estudante também se refere em outro momento), GI atribui aos elétrons um caráter ondulatório e, ao observar os pontos no anteparo, atribui aos elétrons um caráter corpuscular. Neste caso, a situação determina, de fato, não apenas a representação, mas também o conceito de elétron que o estudante possui. Esta situação se dividiu em dois momentos: o de atravessar o anteparo com duas fendas (formando um padrão de interferência) e o de chegar ao anteparo com aparência de corpúsculo. Esta interpretação é comum para estudantes que começam a compreender o caráter dualista (dualidade onda-partícula) do elétron, mas é considerada pelos filósofos da mecânica quântica como uma mera interpretação.

Na interpretação advinda de uma postura corpuscular, o aluno acredita que tem duas situações em questão: uma quando os elétrons chegam ao anteparo; outra logo após a passagem deles pelas fendas, ocasionando uma mudança no comportamento dos mesmos.

5.7.4 Para elétrons com a Lâmpada

Quadro 28 – estudante GI

Situação (4)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite vários elétrons e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 51 - Comentários do pré-teste de GI, antes dos simuladores

Os elétrons que chegaram a tela serão captados pela mesma sendo capazes de gerar luz para o olho.

Figura 52 - Comentários do pós-teste de GI, após os simuladores

Pelo fato do elétron estar sendo "observado" pela lâmpada ele irá agir diferente, pois não irá se transformar em ondas e irá passar por apenas uma fenda e não pelas duas.

Novamente o estudante mostra que, devido à observação dos elétrons, nada acontece. O fato dos objetos estarem sendo observados e, de alguma maneira, aparecerem na tela como uma partícula, explica sua passagem em apenas uma das fendas e a não se transformarem em onda.

O fato das duas fendas também aparecerem caracteriza a transformação do elétron, passando por uma fenda partícula e por duas ondas.

5.7.5 Para um único elétron – sem a Lâmpada

Quadro 29 – estudante GI

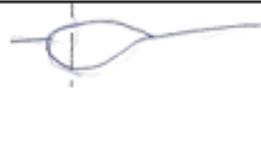
Situação (5)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.		

Figura 53 - Comentário do pré-teste de GI, antes dos simuladores

Pelo fato da fonte emitir apenas um único elétron por vez, essa fonte terá uma potência mais inferior, sendo assim chegará com menos intensidade elétrons na tela.

Figura 54 - Comentário do pós-teste de GI, após os simuladores

O elétron poderia passar por uma fenda, pelas duas ou por nenhuma; pois não existe um estudo comprovado e ao passar pelas fendas ele se transformaria em uma onda e depois de passar pelo anteparo ele iria se transformar em partícula de novo até chegar a tela. E poderia haver interferência.

Ao verificamos os resultados, nota-se que o comportamento apresentado pelo elétron é o mesmo, com muitos objetos microscópicos ou não. E, ao se deparar com as fendas no anteparo, havendo assim interferência, enfatizou-se a transformação ora como onda, ora como partícula.

Nesse caso, não existe uma certeza por parte do aluno por se tratar de objetos microscópicos, se passa por uma fenda, ou por outra, ou nenhuma fenda,

gerando a dúvida de saber por onde o elétron passou ou passará. Novamente a situação traz a questão de onda e partícula, o questionamento em se transformar em onda, caracterizado por haver uma interferência, depois de ter passado pelo anteparo e pelas fendas.

Ao se utilizar um esquema ineficaz para determinada situação, a experiência leva o sujeito a modificá-lo ou a mudar de esquema e, por isso, pode-se afirmar que esse processo é sempre acompanhado de novas descobertas. Mesmo em uma nova situação, o comportamento do sujeito abrange uma parte de automatismo e outra de decisão consciente (VERGNAUD, 1993).

Assim, o estudante GI apresenta uma representação dual do elétron, a de onda e partícula. Esta representação, contudo, é utilizada para um mesmo setup experimental, o que caracteriza uma visão de dualismo onda-partícula simplista.

5.7.6 Para um único elétron / com a Lâmpada

Quadro 30 – estudante GI

Situação (6)	Desenho (pré)	Desenho (pós)
Uma fonte que emite um elétron por vez, e logo após um anteparo com uma dupla fenda (atrás uma lâmpada) e em seguida uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.	(Ver comentário 1)	(ver comentário 2)

Figura 55 - Comentário do pré-teste de GI – antes dos simuladores

Os elétrons que conseguirem atravessar as fendas ficarão em um mesmo ambiente que a lâmpada, sem isso podendo gerar uma fonte de luz.

Figura 56 - Comentário do pós-teste de GI – após os simuladores

Com a lâmpada os elétrons sabem que estão sendo observados e não se transformam em ondas ao passarem pelas fendas então não passam por uma fenda de cada vez e a chegada deles na tela vai ser aleatória por não haver ondas.

O aluno não desenhou, mas, nos comentários, fica explícita a mudança conceitual e o comportamento dos elétrons definidos; nesse caso, como partícula, segundo o aluno, pelo fato de estarem sendo observados, não havendo assim transformação em ondas.

Assim, o aluno se convence que a função da lâmpada será a de observar e mostrar o caminho do elétron, sendo capaz de afirmar que a ordem de chegada dos elétrons, por ser aleatório, logo teria um caráter corpuscular e não ondulatório.

Aqui o estudante corretamente elege unicamente a representação corpuscular quando há observação do fenômeno, dentro do experimento virtual (presença da lâmpada acesa).

Dessa forma, o estudante apresenta representações muito próximas da interpretação da complementaridade, sendo provavelmente necessário um questionamento posterior que vise mostrar a necessidade de se utilizar uma única representação para cada setup experimental. De qualquer forma, este exemplo ilustra um caso de boa evolução.

5.8 ANÁLISES DAS REPRESENTAÇÕES E TRANSCRIÇÕES DAS ENTREVISTAS

Após análise das representações e da transcrição das entrevistas dos estudantes VI, EM, IA, NA e GI, realizadas após o pós-teste, escolhemos um representante para cada discussão. Fizemos a separação somente para as situações relevantes para o trabalho, como para “feixe de elétrons” e “elétrons individuais”, mostrando os pontos da evolução de cada grupo e, por meio de evidências, procurando identificar as hipóteses levantadas, tentando também responder à pergunta da nossa pesquisa.

Essa análise mais detalhada, realizada para os estudantes, foi feita unicamente com as transcrições da entrevista (reproduzidas em alguns trechos em seguida). Após análise das representações e da transcrição das entrevistas, encontramos pontos de discussão “antes e após o experimento”:

O que ocorre com as concepções alternativas dos alunos após as atividades?

Existe diferença entre os conceitos de objeto quântico antes e após o uso dos softwares?

Softwares de simulação promovem evolução conceitual em mecânica quântica?

Houve mudança representacional das situações após o uso dos softwares?

5.9 LEVE EVOLUÇÃO

5.9.1 No pré-teste

Antes do uso dos simuladores, a postura dos alunos frente à situação sobre elétrons emitidos por um canhão (fonte) e a dupla fenda interceptando sua chegada a tela branca, não foi de um melhor entendimento da situação.

- Eles irão chegar à tela branca e cair (Estudante EM).
- Os elétrons irão chocar com o anteparo, alguns irão ficar no anteparo e outros irão passar pelas fendas e chegarão nessa trajetória [o aluno faz uma reta com as mãos na horizontal] (Estudante VI).

5.9.2 No pós-teste

Categoria de Análise: O elétron tem comportamento ondulatório por causa da intensidade com que são lançados.

Nesse momento, o estudante já teve contato com os simuladores. Vejamos algumas das transcrições obtidas depois desse contato:

- Os elétrons vão passar pelas fendas e na tela branca vai aparecer uma interferência, que é de caráter ondulatório. É assim [aponta para o desenho] nesse formato (Estudante VI).

- Mas, aí, não seria..., você me disse que elétrons são partículas, não é isso? E como há uma interferência entre eles? (Entrevistadora).

- Deve ser a intensidade, eu acho que eles chegam naquela tela (Estudante VI).

- Intensidade de que? (Entrevistadora)

- Quando eles são disparados pelo canhão (Estudante VI).

- Tem uma explicação melhor? Se os elétrons são partículas e apareceu um caráter ondulatório. Como assim, tem como você me explicar?(Entrevistadora)

- Eu não sei, acho que é da intensidade que ele chega à tela branca, aí como tem vários elétrons faz a interferência (Estudante VI).

A evidência representacional do objeto quântico do aluno, durante o pré-teste, é corpuscular. Após o uso dos simuladores, o aluno apresenta uma visão dualista, forçada pelo fato da existência do padrão de interferência. Enfatiza não saber explicar o porquê da ocorrência da mudança do comportamento dos elétrons (fenômeno que ocorre apenas para objetos ondulatórios, pois, sua aceitação é devido às representações mostradas pelos simuladores e sua explicação é relevante quanto a aceitação da contradição do objeto ser onda ou partícula), mas reconhece que poderia ocorrer a interferência por serem vários elétrons emitidos de uma só vez, e um elétron poderia interferir com outro – característica aceitável por ser uma onda de elétrons.

Na situação de um elétron emitido por vez, busca-se entender como ocorre a evolução após os softwares e como os alunos racionalizam a ideia de como “apenas um elétron emitido por vez” realiza o fenômeno da interferência.

5.9.3 No pré-teste

Na simulação, o elétron emitido passaria por uma das fendas e chegaria à tela branca. Logo, questiona-se como seria essa trajetória e como o elétron chegaria à tela branca:

- Um único elétron passaria pelas fendas. Explique o seu desenho, vejo que você desenhou uma bolinha... (Entrevistadora).
- Um elétron (Estudante VI).
- Você o imagina assim? (Entrevistadora)
- Imagino logo o elétron passando por uma fenda (Estudante VI).
- Você escolheu aleatória, a fenda, ou realmente ele passaria por essa fenda? (Entrevistadora)
- Aleatoriamente (Estudante VI).
- E na tela branca? Como um risco, ponto? Como? (Entrevistadora)
- Uma bolinha mesmo, um ponto (Estudante VI).

5.9.4 No pós-teste

Análise: Não consegue explicar o fato de o elétron ser uma partícula e representar um padrão de interferência.

- E agora, frente às fendas, um elétron será emitido um por vez, passando pelas duas fendas, o que acontece, agora? (Entrevistador)

- É, reflete (Estudante VI).

- E reflete a imagem. E quando aparece a lâmpada? (Entrevistador).

- Não aparece nada na tela (Estudante VI).

- E o que você conclui disso tudo? Tem como me explicar? (Entrevistador).

- Aparece apenas, porque eu vi na simulação com uma lâmpada não acontece nada (Estudante VI).

O estudante, portanto, não consegue representar o fenômeno e portanto, não evolui conceitualmente nesta categoria.

5.10 EXPERIMENTO PARA ELÉTRONS (VÁRIOS E INDIVIDUAIS) - OBJETOS QUÂNTICOS COM PRESENÇA DE LUZ.

5.9.5 No pré-teste

Com a presença de uma lâmpada poderemos ver o que acontece na situação após a passagem dos elétrons pelas fendas. Pede-se como ocorre:

- Eu imaginei que, com a lâmpada, os elétrons meio que se distanciaram da lâmpada, e chegam à tela branca mais distantes um do outro (estudante VI).

- Aqui no meio não ia existir nenhum elétron (Entrevistadora).

- Isso (Estudante VI).

- Só nas extremidades, é isso? (Entrevistadora).

- Sim (Estudante).

- E continuam na mesma trajetória (Entrevistadora).

- É (Estudante VI).

- A função da lâmpada seria só para afastar os elétrons? (Entrevistador).

- Sim, e torná-lo visível (Estudante VI).

5.9.6 No pós-teste

Na situação com a lâmpada a interferência desaparece e o elétron volta a ter um comportamento corpuscular. Pergunta-se por que isso ocorre. Espera-se encontrar respostas ligadas às interpretações existentes.

- Veja, quando se mostra a lâmpada o que acontece? Some a interferência, não é isso? (Entrevistadora).

- Isso, não acontece a interferência (Estudante VI).

- Como você imagina isso aí? Por que não ocorre a interferência?

(Entrevistadora).

- Eu também queria saber (Estudante VI).

- Será que tem a ver com a lâmpada? (Entrevistadora).

- Eu acho (Estudante VI).

- Você acha ou tem certeza? (Entrevistadora).

- É, é meio que óbvio (Estudante VI).

5.9.7 Análise Geral

Basicamente o estudante apresenta uma representação ondulatória para o elétron quando vários elétrons são emitidos e não existe observação (lâmpada). Fora este setup específico, não há evidência de alteração da representação corpuscular para o elétron, e todos os fenômenos observados durante a simulação são ignorados.

Ademais, o estudante reconhece tais comportamentos, porém, não entende a mudança dos mesmos, por isso continua sua visão corpuscular mesmo reconhecendo o comportamento ondulatório dos elétrons. A observação emerge da fala do próprio estudante, quando afirma não saber o porquê da tal mudança. No entanto, observa-se que, de fato, houve uma boa evolução conceitual e representacional, por retratar o entendimento do aluno quanto à aceitação lógica da contradição do comportamento do elétron, como onda ou corpúsculo.

5.11 CLASSIFICAÇÃO (RELAÇÃO/REFERENCIAL)

A partir da aplicação dos teoremas-em-ação verificados nos procedimentos da resolução das questões do pós-teste, da coerência e harmonia dos procedimentos usados e dos comentários da entrevistas, verifica-se que o estudante começa a diferenciar o signficante do significado, mas indicando ainda uma pequena ampliação do domínio do conhecimento físico exposto. Embora a evidência de um crescimento conceitual dentro do conjunto de conceitos com representações advindo do uso dos softwares.

5.11.1 Boa Evolução

5.11.1.1 No Pré-teste

Na situação de uma fonte que emite vários elétrons, verificamos o nível conceitual do estudante (antes do uso do software), não se espera resposta satisfatória nessa situação.

- O que você fez aqui no desenho é a trajetória dos elétrons? (Entrevistadora).

- Isso (Estudante NA).

- E você mostrou a aparência de balas? (Entrevistadora).

- Parece. Os elétrons são partículas microscópicas, na minha mente é em ondas com formato de pontos. Entendeu? (Estudante NA).

- Eles chegam à tela? (Entrevistadora).

- Sim, em forma de pontinhos (Estudante NA).

- Aleatórios? (Entrevistadora).

- Sim (Estudante NA).

- Não só em pontos, então? (Entrevistadora).

- Não (Estudante NA).

5.11.1.2 No pós-teste

Categoria da Análise: Elétrons são partículas, mesmo tendo comportamento ondulatório.

Depois dos simuladores, espera-se uma resposta satisfatória quanto à mudança do comportamento dos elétrons ou, simplesmente, a aceitação da mudança.

- Aqui temos um feixe de elétrons sendo emitidos por esta fonte e ele vai passar pelas fendas. Explique o que vai ocorrer na tela branca? (Entrevistadora).

- Uma interferência (Estudante NA).

- Como pode ocorrer uma interferência, sabendo que elétrons são partículas? Eles são partículas? (Entrevistadora).

- Aí, que tá, quando observei no simulador que poderia ocorrer interferência, mesmo sendo partículas (Estudante NA).

- O que você acha que aconteceu? Por que eles se comportam dessa maneira? (Entrevistadora).

- Acho que pode haver uma interferência porque [...] (Estudante NA).

- Será que pode ser pelo fato da onda de elétrons? (Entrevistadora).

- É porque quando estão saindo da fonte, eles já saem como ondas (Estudante NA).

- Mas sabemos que são partículas? Não é isso? (Entrevistadora).

- É sim (Estudante NA).

A evolução conceitual do aluno ocorreu timidamente. Mesmo aceitando a contradição lógica “ocorre a interferência mesmo sendo partículas”, a insistência do aluno em caracterizar o objeto quântico como corpúsculo é sempre enfatizada nas suas falas. O uso dos simuladores influencia o aluno a aceitar a contradição do comportamento do elétron e explica não saber o porquê de tal mudança, mas concorda em representar o caráter ondulatório do elétron, sem se importar com o que realmente está acontecendo.

Na situação de “um elétron emitido por vez”, busca-se entender como ocorre a evolução após os softwares. Também se analisa como os alunos assimilam a ideia de “apenas um elétron emitido por vez”, quando realizam o fenômeno da interferência.

5.11.1.3 No pré-teste

A partir da emissão de um elétron por vez, pede-se para os alunos responderem como será sua passagem pelas fendas logo após sua chegada à tela branca.

- Explique-me como ele passa pelo anteparo e chegando à tela branca? (Entrevistadora).

- Acho que, nesse caso, o anteparo é maior que as fendas, então alguns iriam vir em formato de ondas e poderiam bater e voltaria pra cá (aponta para fora do desenho) (Estudante NA).

- Vamos supor que ele passe pelas fendas (Entrevistadora).

- Poderia passar e atingir a parte de cima (Estudante NA).

- Pela parte de cima? (Entrevistadora).

- Nesse caso sim, como um ponto também (Estudante NA).

- Como você imagina o elétron? (Entrevistadora).

- Como uma bolinha (Estudante NA).

5.11.1.4 No pós-teste

Análise: O elétron se divide em dois e interage entre si.

Nessa situação, os elétrons são emitidos um por vez e confrontam a ideia da interferência do elétron, como ocorre essa interferência já que o elétron é emitido um por vez.

- É emitido um elétron por vez, o que vai acontecer? (Entrevistadora).

- Como sabe por onde passou o elétron? Ele vai sair como uma partícula, e quando chegar aqui ele dividiria em dois, passava pelas duas fendas e interagiria entre si e chegaria à tela, como partícula – seria estranho (Estudante NA).

- Aparecia como partícula ou como onda? (Entrevistadora).

- Isso, no momento como partícula, mas também poderia passar por nenhuma das fendas (Estudante NA).

- Como você vê? (Entrevistadora).

- Como partícula (Estudante NA).

A representação do objeto quântico é uma partícula que se divide em duas partes, por assim explicar o fato da interação entre eles e provar, de certa forma, a interferência que há entre objetos quânticos, postos em situação de duas fendas. A visualização dualista do estudante é devido à aceitação simplista do comportamento contraditório do elétron. A representação mostrada nos simuladores ora mostra caráter ondulatório, ora caráter corpuscular, mas sempre com a interpretação corpuscular focada nas situações – seria uma partícula com comportamento de onda e nunca uma onda com comportamento de corpúsculo. Antes de compreender tal fenômeno, é necessária a interpretação referente à estrutura atômica e à aceitação do comportamento da luz, se é como onda, como partícula, onda-partícula, ora onda e ora partícula; e ser capaz de ter a certeza da compreensão que engloba o campo conceitual dele.

5.12 EXPERIMENTO PARA ELÉTRONS (VÁRIOS E INDIVIDUAIS) - OBJETOS QUÂNTICOS COM PRESENÇA DE LUZ.

5.11.2 No pré-teste

Na situação com a presença da lâmpada, espera-se haver uma mudança no comportamento do elétron e a percepção do estudante sobre esse fato.

- Com a presença de uma lâmpada, o que acontece quando os elétrons passam pelas fendas. O que você acha que acontece com os elétrons ao chegarem à tela branca? (Entrevistadora).

- Eu acho que será o mesmo processo quando sem lâmpada; os elétrons vêm em formato de onda (aluna ondula com as mãos a trajetória do elétron) e passa por aqui (aponta para as fendas) e chega à tela branca (Estudante NA).

- Então quer dizer que a lâmpada não tem nenhuma função? (Entrevistadora).

- Não (Estudante NA).

- E poderia parecer com que? (Entrevistadora).

- Com uma bala (Estudante NA).

- Mas não existe diferença entre objetos micro e macro? (Entrevistadora).

- Sim, mais nesse caso seria o mesmo, só é diferente a ilusão, sendo como partícula mesmo (Estudante NA).

5.11.3 No pós-teste

Na situação com a lâmpada, a interferência desaparece e o elétron volta a ter um comportamento corpuscular. Pergunta-se por que isso ocorre e espera-se encontrar respostas ligadas às interpretações existentes.

- E agora? Com a lâmpada? (Entrevistadora)

- No caso do elétron, ele iria se comportar como uma partícula (Estudante NA).

- Como pode ser isso? Essa mudança de comportamento? Será que tem a ver com a lâmpada? (Entrevistadora).

- Porque ele está sendo observado e, de certa forma, ele começa a agir diferente (Estudante NA).

- Por isso a mudança? (Entrevistadora).

- Isso (Estudante NA).

5.13 ANÁLISE GERAL

O estudante representa o elétron como uma partícula que pode exibir características ondulatórias como interferência, caso o setup admita o surgimento de um padrão de interferência, apenas características corpusculares. O estudante reconhece o comportamento dualista do objeto quântico, porém não sabe explicar como isso ocorre; de fato, observa-se que ocorre uma boa evolução conceitual por parte do estudante, por haver uma discussão entre o que poderia interagir com o elétron “quando emitido um por vez” e a explicação do fenômeno da interferência, mesmo sendo uma partícula – a mudança característica pela ação da observação ou medição da lâmpada, evidenciada nas falas do estudante e colocada como resolução de tal situação, não sendo considerada a interpretação ondulatória, mesmo sendo sempre mostrada a representação no simulador.

5.13.1 Classificação (relação/referencial):

A aplicação dos teoremas-em-ação verificados nos procedimentos da resolução das questões do pós-teste em relação ao pré-teste tem coerência e harmonia dos procedimentos usados e dos comentários das entrevistas, verifica-se que o estudante começa a diferenciar o significante do significado, indicando uma ampliação do domínio do conhecimento físico exposto. Boa parte dos invariantes associados a esta representação são ativados e utilizados, embora durante a entrevista, há evidência de um crescimento conceitual dentro do conjunto de conceitos com representações advindo do uso dos softwares.

5.14 EXCELENTE EVOLUÇÃO

5.14.1 No pré-teste

Antes do uso dos simuladores, a postura dos alunos, frente à situação sobre elétrons emitidos por um canhão (fonte) e a dupla fenda interceptando sua chegada à tela branca, não teve um melhor entendimento com a situação.

- Como é que você conseguiu visualizar esse movimento dos elétrons?
(Entrevistadora)

- Como uma pequena partícula que faz parte de um átomo (Estudante GI).

- Como seria passado por essas fendas, como seriam as imagens do elétron chegando aqui? Poderia desenhar aqui? Em que formato ele ia desenhar se eu pegasse a tela branca e mostrasse como é que ficaria a imagem nela? (Entrevistadora).

- Eu imagino essa imagem como uma luz e os elétrons indo para essa luz, indo para essa tela, e... gerando luz. Aí o elétron chega aqui na tela e aí vai formar uma imagem (Estudante GI).

- Ficaria muito parecido com o de balas? (Entrevistadora)

- É (Estudante GI).

- É isso que você tem em mente? (Entrevistadora)

- Sim (Estudante GI).

5.14.2 No pós-teste

Categoria de Análise: Quando o elétron se aproxima de um anteparo com as fendas, ele se transforma em onda para atravessar as fendas.

Na situação com os elétrons, muitas das suas representações são advindas das aulas ministradas sobre ondas e partículas clássicas ou do uso dos softwares.

- Tá ok. Aqui são vários elétrons emitidos e duas fendas em sua frente, explica o teu desenho (Entrevistadora).

- Aqui professora, eu entendi que quando o elétron se aproxima de um anteparo com as fendas ele se transforma em onda para atravessar as fendas, ele é uma partícula, no momento que ele vai atravessar as fendas ele vira uma onda, atravessando (...) podendo atravessar as duas fendas ao mesmo tempo (Estudante GI).

- Mas, são vários elétrons né? E seria a mesma coisa? E na tela, como seria? Aqui não dá pra ver? (Entrevistadora).

- Assim como uma interferência [Completa o desenho] (Estudante GI).

A visão representacional do estudante com relação ao objeto quântico, durante o pré-teste, foi corpuscular. Após o uso dos simuladores, o estudante apresentou uma visão dualista simplista em que o elétron, mesmo dentro de um único experimento, apresenta características ondulatórias (quando o elétron se aproxima de um anteparo com as fendas ele se transforma em onda para atravessar as fendas) e também corpusculares (“ele é uma partícula”). Essencialmente, o

elétron parece ser um objeto corpuscular, mas, em determinadas situações, apresenta características ondulatórias. O estudante reconhece a existência do fenômeno de interferência ao ser perguntado sobre o que aparece no anteparo, quando diz: “assim como uma interferência” e completa sua resposta com o desenho.

Na situação de um elétron emitido por vez, busca-se entender como ocorre a evolução após o uso dos softwares e como os alunos confrontam a ideia de “apenas um elétron emitido por vez” realizar o fenômeno da interferência.

5.14.3 No pré-teste

A partir da emissão de um elétron por vez, perguntou-se aos alunos como seria sua passagem pelas fendas logo após sua chegada à tela branca.

- O que aconteceria nesse caso? (Entrevistadora).

- Aqui é como eu expliquei na bala, pelo fato de ser apenas um elétron a probabilidade de passar pelas fendas seria menor e conseqüentemente chegaria menos elétrons na tela (Estudante GI).

- Nesse caso é apenas um elétron? (Entrevistadora).

- Isso, então sendo um elétron, seria menor a probabilidade de chegar à tela (Estudante GI).

- E se passasse algum? Como é que ele chegaria à tela? (Entrevistadora).

- A imagem dele na tela, acho que seria mais ou menos um ponto, porque [..., O aluno termina o desenho] (Estudante GI).

5.14.4 No pós-teste

Análise: O elétron se divide em duas partes, formando duas ondas, por causa das duas fendas.

Na situação apresentada para elétrons individuais ocorre a interferência mesmo sendo emitido um por vez.

- Ele interfere com ele mesmo professora, ele atravessa as fendas e no momento que atravessa as fendas ele atravessa em forma de onda (Estudante GI).

- Mas você sabe que só há interferência de uma onda com outra. E nesse caso é um único elétron e tem esse comportamento. Como você consegue explicar isso? (Entrevistadora).

- Antes de atravessar as fendas, ele se transforma em uma onda, então ele (...) aqui ele vai ser praticamente dois, duas ondas diferentes e aí vai haver interferência uma com outra, pelo fato de serem duas ondas e fendas diferentes (Estudante GI).

Durante o pré-teste, o estudante indica imaginar e representar imagisticamente elétrons apenas como corpúsculo. Contudo, no pós-teste, o estudante indica que reconhece o padrão de interferência para um único elétron e atribui ao mesmo caráter ondulatório.

5.15 EXPERIMENTO PARA ELÉTRONS (VÁRIOS E INDIVIDUAIS) - OBJETOS QUÂNTICOS COM PRESENÇA DE LUZ.

5.15.1 No pré-teste

Na situação com a presença da lâmpada, espera-se haver uma mudança no comportamento do elétron e na percepção do estudante sobre esse fato.

- Se o elétron atravessar o anteparo ele poderia chegar à tela e pelo fato do elétron e ser uma partícula microscópica e a luz estar ligada, não poderia gerar luz, por gerar sombra do elétron na tela (Estudante GI).

- Então não geraria nenhuma imagem? (Entrevistadora).

- Nenhuma imagem, porque o elétron é microscópico (Estudante GI).

5.15.2 No pós-teste

Na situação com a lâmpada, a interferência desaparece, e o elétron volta a ter um comportamento corpuscular. Pergunta-se por que isso ocorre; espera-se encontrar respostas ligadas às interpretações existentes.

- Pelo fato de ter a lâmpada, eles não imaginam que estão sendo observados, então eles poderão atravessar o anteparo, as fendas, em forma de ondas, até chegarem à tela e havendo interferência (Entrevistadora).

- E nesse caso, você não desenhou nada (Entrevistadora).

- Pelo fato de ele estar sendo observado, ele não se transformará em uma onda (Estudante GI).

- E como seria a imagem dele lá? Seria como um ponto? Ou como? (Entrevistadora)

- Um ponto, porque, devido à luz estar acesa, ele não vai se comportar como onda (Estudante GI).

- Tu tens alguma ideia se a lâmpada tem alguma influência? (Entrevistadora).

- Tem, se ela estiver acesa ele vai imaginar que está sendo observado e ele não vai se transformar em onda, por causa da lâmpada acesa (Estudante GI).

6 ANÁLISE GERAL

Para um único elétron, com a presença da luz (observação), o comportamento descrito para o objeto quântico (elétron), durante o pré-teste, é evidentemente corpuscular; até porque o elétron, caso não fosse microscópico, projetaria sombra. Após o uso dos experimentos virtuais, a questão da luz, como representada na observação, emerge das respostas do estudante. O estudante reconhece que a observação faz com que o comportamento do objeto quântico seja corpuscular: "... se ela estiver acesa, ele vai imaginar que está sendo observado, e ele não vai se transformar em onda, por causa da lâmpada acesa". Caso contrário, se não houver observação, o elétron continuará apresentando comportamento ondulatório.

Assim sendo, para esse estudante, podemos afirmar que o elétron apresenta ora comportamento corpuscular, ora ondulatório. O comportamento corpuscular é uma representação herdada dos conhecimentos prévios; e o comportamento ondulatório pelo reconhecimento do padrão de interferência para ondas no comportamento do elétron. A sua visão, contudo, ainda é dualista simplista, atribuindo, para um mesmo setup, atributos contraditórios ao elétron. No entanto, não se pode deixar de observar que houve, de fato, uma grande evolução conceitual e representacional para o estudante, que reconhece o fenômeno de dualidade onda-partícula e pode justificar pela interferência a necessidade de se atribuir características ondulatórias ao elétron. Ademais, o estudante reconhece o problema da observação em mecânica quântica, alterando o comportamento do objeto quântico, fazendo com que o objeto quântico apresente características corpusculares. Assim, dois conceitos fundamentais de mecânica quântica foram internalizados pelo estudante: a natureza dual do elétron – mesmo que em uma visão ainda de dualismo simplista – e o problema da observação e do colapso do comportamento ondulatório do elétron.

6.1 CLASSIFICAÇÃO (RELAÇÃO/REFERENCIAL):

Os resultados mostram a ampliação do campo conceitual em relação ao comportamento dos objetos quânticos, envolvendo os teoremas e conceitos-emoção apresentados nos procedimentos usados nas entrevistas das questões do pós-teste, evoluindo o domínio do conhecimento da representação e conceituação dos

problemas em torno da mecânica quântica. Ademais os conjuntos de conceitos com suas devidas representações forma a evidência do crescimento conceitual com o uso dos softwares em estudo.

6.2 DAS HIPÓTESES LEVANTADAS NO TRABALHO, CONCLUÍMOS:

6.2.1 Hipótese 1

Após a utilização da representação e desenvolvimento da representação e desenvolvimento dos invariantes, o estudante será capaz de resolver melhor situação-problemas que envolvam o uso da ferramenta virtual.

De fato, existe uma melhora na identificação do experimento de dupla fenda de Young como um experimento onde emergem características quânticas, para toda a amostra. Para os estudantes que foram categorizados como apresentando excelente (e por vezes boa) evolução conceitual, existe quase uma completa compreensão do fenômeno de dualidade onda-partícula, mas ainda incorrendo na dualidade simplista de uma visão simultânea de onda e partícula para o elétron em um mesmo setup experimental.

6.2.2 Hipótese 2

Se a representação vinculada ao conceitual evolui, consideramos que ocorre uma mudança conceitual.

Esta hipótese é refletida no momento de aquisição da representação ondulatória para o elétron como um imperativo do reconhecimento do fenômeno de interferência para o mesmo. Ao adquirir a representação ondulatória, uma mudança conceitual não radical ocorre, visto que o elétron não apresenta apenas uma representação corpuscular, tal qual vista no ensino médio.

6.2.3 Hipótese 3

O aluno usualmente invoca uma representação do mundo físico em sua mente, uma representação que, em geral, vai além das observações no laboratório. Ele imagina partículas como bolinhas, imagina uma onda se propagando, imagina um microscópio de raios gama, etc. O aluno busca interpretar os diferentes símbolos e procedimentos matemáticos, ou seja, imaginar a que entidades reais eles

correspondem, se é que se possa dizer que eles correspondem a alguma coisa (PESSOA, 2002).

Esta hipótese de trabalho, que é levantada por Pessoa Jr. sumariza o dilema geral que dificulta o aprendizado e que é facilmente identificado durante o discurso dos estudantes: como representar o elétron? Como corpúsculo? Como onda? Como ambos? Ao tentar associar estas representações abstratas a uma entidade “real”, o elétron, o estudante enfrenta dilemas e contradições vistos durante a entrevista.

6.2.4 Hipótese 4

Através dos simuladores estudantes poderão reconhecer com clareza as situações em que o fenômeno é essencialmente corpuscular ou tipicamente ondulatório.

Infelizmente esta hipótese não foi comprovada ao final da análise do experimento. Apesar do experimento de dupla fenda de Young para elétrons, como bem afirmou Feynman –“conter toda a essência do fenômeno quântico”, os estudantes não resolvem representacionalmente o elétron, se encaixando em uma interpretação cientificamente aceitável. Todos, sem exceção, quando muito, não evoluem além de um dualismo simplista, tal qual apresentado por vários cientistas no início da era quântica, o que mostra que para evoluir para além deste dualismo simplista, é necessário discussões mais aprofundadas que podem, possivelmente, exigir uma maturidade filosófica ao reconhecer que um mesmo objeto não pode apresentar características ontológicas (associadas inexoravelmente às suas representações específicas) opostas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme iniciamos e relatamos no primeiro capítulo, o objetivo principal desta pesquisa foi o de investigar, principalmente, a aquisição simultânea de representações e invariantes operatórios, durante o uso de simulações sobre o fenômeno da dualidade onda-partícula no experimento da dupla fenda. Para tanto, foram executadas uma série de procedimentos metodológicos, incluindo a realização de um experimento piloto, a fim de minimizar falhas durante o processo de coleta de dados.

Nesta pesquisa, a forma de envolvimento entre o aluno e os softwares - Quantum Eraser e Doppel spalt versuch - ocorreu através de atividades de simulação de modo exploratório. O aluno era capaz de visualizar a representação adequada para cada situação exposta no software, podendo modificar o setup em relação à entrada de elétrons ou de balas, caracterizado por corpos microscópicos e macroscópicos. Com isso, as atividades realizadas durante o tratamento permitiram, sob uma ótica construtivista, que o aluno, ao executar a simulação e observá-la, pudesse explorar uma grande quantidade de hipóteses, possibilitando, assim, a realização de novas interpretações, através de suas inferências. A interação com os simuladores permitiu que os estudantes realizassem representações, explorando-as sob diversas perspectivas.

A nossa interpretação dos dados analisados indicam que a representação virtual favoreceu uma melhor compreensão dos conceitos abordados pela teoria quântica, bem como a manipulação dos softwares na aula no laboratório.

As situações-problema dos instrumentos de análises, relacionadas à área da Física, tinham como objetivo principal investigar como os conceitos dos estudantes evoluíam após a utilização de duas ferramentas virtuais, tarefa que só pôde ser concluída com a técnica P. O. E (Predizer, Observar, Explicar).

Foi observado no pré-teste que a maioria dos alunos apresentaram representações e invariantes operatórios relacionados ao campo conceitual da teoria quântica, quanto à natureza do elétron. Entretanto, grande parte dos conceitos-em-ação identificados mostrou-se irrelevantes. Além disso, a representação mais frequentemente utilizada por eles, no pré-teste, foi a forte representação corpuscular do elétron. Em contrapartida, observou-se, no pós-teste, que os conceitos-em-ação apresentados tornaram-se relevantes, podendo-se inferir, muitas vezes, teoremas-

em-ação cientificamente corretos. O uso da representação virtual foi utilizado de forma complementar ao uso da representação quântica necessária para determinar quando o setup muda para onda ou corpúsculo.

Os instrumentos de análise apresentavam situações-problema, as quais objetivavam verificar se os estudantes interpretavam a representação da situação corretamente ao interagir com o conceito de determinada visualização, com um espaço para sua discussão, visto no instrumento pré (no pós seguiu as mesmas situações-problema), pois, a ideia era encontrar possíveis evoluções na representação ou até tornar as concepções alternativas em concepções científicas, encontradas nas várias interpretações existentes.

Observou-se, no pré-teste, que a maioria dos alunos apresentou teoremas-em-ação, cientificamente incorretos, identificados a partir de proposições simbólicas, porém, grande parte dos conceitos-em-ação apresentados era relevante. No pós-teste, as proposições simbólicas inadequadas apresentadas anteriormente cederam lugar a teoremas-em-ação cientificamente corretos.

Ainda pode-se observar uma maior diversidade no uso de diferentes representações, com especial atenção à aceitação do comportamento do elétron como onda, tido pelos alunos como partícula a priori. Atribuímos este fato à natureza da situação 7 do pós-teste “um elétron é emitido por uma fonte que consegue enviar um por vez, com a lâmpada apagada”.

No pós-teste, a representação corpuscular é igualmente prevalecida, mas estudantes apresentam invariantes reformulados para este tipo de representação, alterando seu status cognitivo e apresentando um conhecimento explícito. Assim, o aluno se capacita a resolver melhor as situações equivalentes, dentro do tipo de representação.

Com base nisso, podemos observar uma mudança conceitual considerável para o conceito de elétron, levando-os a uma ampliação do campo conceitual, visto que, a maioria dos alunos se utiliza dos diferentes tipos de representações simbólicas para justificar seus esquemas, na resolução das situações-problema.

Pode-se ainda questionar: por que o uso dos softwares resultou em uma melhoria da capacidade do estudante em utilizar representações virtuais. Nossas observações, como já discutido, indicam uma melhora também no uso e domínio de outras representações (que não são tão relevantes para o trabalho - como nos casos das balas e ondas).

Contudo, ao se analisar a evolução correspondente, após o uso e frequência das representações “onda e corpúsculo” percebe-se um substancial aumento na capacidade do estudante de utilizar estas representações. Esta constatação, por si só, justifica o uso de uma metodologia de ensino semelhante à implementada. Durante a entrevista, percebeu-se que muitas das explicações proferidas pelos alunos giraram em torno da sua recente apropriação de representações e linguagem, advindas das aulas e até mesmo do uso da ferramenta virtual, que corresponde as suas invariantes.

Vários estudos foram realizados discutindo este fato, nos quais, aparentemente, um melhor domínio de um tipo de representação pode resultar, até mesmo, no domínio de outras representações.

De forma sucinta, o conteúdo de visualização, na realidade, é constituído de representações construídas pelo meio sócio-histórico-cultural, durante o processo de discussão, de refino histórico e de conceitos específicos, transmitidos pelo processo de ensino – como a de imagens, gráficos. Vergnaud vê essas representações como sendo parte da terna que constitui em essência, sua própria definição do que é um conceito. Assim, o uso de diferentes representações, em especial, representações virtuais, devem potencializar a criação de esquemas mais ricos que englobem todas estas representações presentes, auxiliando, assim, na resolução de situações-problema. Além disso, parte integrante do processo de assimilação dessas representações pelos estudantes é a reconhecimento das invariantes operatórias, as quais também são introduzidas dentro do software computacional, durante a programação da atividade didática. Essencialmente, esses invariantes irão formar o que pode ser identificado como parte automatizada do esquema, dentro da teoria de Campos Conceituais.

Dessa forma, concluímos que o uso desses softwares, atrelado ao estudo da Teoria dos Campos Conceituais (que envolve o assunto de teoria quântica), pode seguramente ser incentivado para inclusão no ensino médio. Talvez, o obstáculo a superar seja apenas a formação do professor de Física e o domínio do assunto abordado.

Através dos simuladores, estudantes puderam reconhecer com clareza as situações em que o fenômeno é essencialmente corpuscular ou tipicamente ondulatório, dando lugar a novas invariantes e aumentando seu campo conceitual.

Este trabalho deixa algumas questões em aberto, as quais poderão ajudar a definir conclusões mais abrangentes em estudos futuros. Deveria ser estabelecido mais claramente o processo pelo qual o estudante constrói seu conhecimento, a partir do uso de várias representações, para que, dessa forma, conhecendo esse processo, possamos implantar estratégias de ensino e práticas metodológicas adequadas ao ensino de quântica. Os resultados das questões permitem impedir que concepções alternativas dos estudantes, implícitas neste processo de conceitualização, sejam reforçadas através de atividades de simulação computacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREU, F. J. **El uso de textos originales de los científicos y sus dificultades en el caso de la enseñanza de la mecánica cuántica**, in: Didáctica de las Ciências Experimentales y Sociales, n.º 10, p. 93-100. 1996.

ARAUJO, I. S. ; VEIT, E. A. **Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Porto Alegre, V. 4 (3), p. 5-18, set/dez. 2004.

BASSALO, J.M.F. **As partículas constituintes do átomo**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 58-65, set. 1980.

_____. **Do átomo-filosófico de Leucipo ao átomo-científico de Dalton**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 2, n. 2: p. 70-76, jun. 1980b.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Qualitative research for education: An introduction to theory and methods**. Boston: Allyn and Bacon, Inc. 1982.

BOHR, N. **Física atômica e conhecimento humano: ensaios 1932-1957**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

CARUSO, F.; OGURI, V. **A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons**. Química Nova, São Paulo, v. 20, n. 3, 1997.

CHIBENI, S. S. **Implicações filosóficas da microfísica**. Cadernos de História e Filosofia da Ciência - Série 3, 2 (2): 141-64, 1992.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **The Evolution of Physics – the growth of ideas from early concepts to relativity and quanta**. Tradução: A Evolução da física – O desenvolvimento das ideias desde os primitivos conceitos até a relatividade e aos quanta (Monteiro Lobato), 1962. Lisboa, São Paulo.

FERRERO, M. Prólogo: In N. Bohn: **La teoría atómica y la descripción de la naturaleza**. Madrid, Editora Alcanza, 1998.

FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B., SANDS, M. **The Feynman lectures on physics**. (Addison-Wesley 1963), vol.III, capítulo 1.

FRANCHI, A. **Considerações sobre a teoria dos campos conceituais**. In: Educação matemática: uma introdução. São Paulo: Educ, 1999.

GADDIS, B. **Learning in a Virtual Lab: Distance Education and Computer Simulations**. Doctoral Dissertation. University of Colorado, 2000.

GIORDAN, A. ; DE VECCHI, G. **As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos**. 2ª edição. Porto Alegre, Artes Médicas, 1996.

GRECA, I. M. R. **Construindo significados em mecânica quântica: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de física geral.** Tese de doutoramento - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

GRECA I., MOREIRA M. A. **Além da detecção de modelos mentais dos estudantes – Uma proposta representacional Integradora.** *Investigações em Ensino de Ciências – V7(1)*, pp. 31-53, 2002.

_____. **Uma proposta para o ensino de Mecânica Quântica.** *Revista Brasileira de Ensino de Física.* V.23, n.4, Dez., 2001.

HALLIDAY, R., e WALKER, R. **Fundamentos de Física. Ótica e Física Moderna.** 4ª edição. Rio de Janeiro. LTC, 1995.

JAMMER, M. **The Conceptual Development of Quantum Mechanics.** New York, McGraw-Hill, 1966.

MARTINS, J. B. **A história do átomo – De Demócrito aos Quarks.** Ciência Moderna. RJ, 2001.

MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C. F. D. **Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.24, n.2, p.77-86, 2002.

MONAGHAN, J.M.; CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education.**, v. 21, n. 9, p. 921– 944, 1999.

MOREIRA, M. A. **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área.** Porto Alegre, *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n.1, p. 7-29, 2002.

_____. **Investigación básica en educación en ciencias: una visión personal.** *Revista Chilena de Educación Científica*, Santiago, V. 3, n. 1, p. 10-17, jul. 2004.

_____. **A Física dos quarks e a epistemologia.** *Revista Brasileira de Ensino de Física.* São Paulo, v. 29, n. 2, p. 161-172, jun. 2007.

MORTIMER, E. F.; **Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais.** TESE (Doutorado em Educação), São Paulo: Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1994.

PESSOA Jr., O. **Interferometria, Interpretação e Intuição: Uma Introdução Conceitual à Física Quântica.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.19, n. 1, p. 27-48, 1997.

_____. **Conceitos de física quântica.** São Paulo: Livraria da Física, v. 1, 2005.

PESSOA Jr., O; MONTENEGRO, R. L. **Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física**. Revista Eletrônica Investigações sobre o ensino de Ciências – UFRGS, 7(2), 2002.

POPPER, K. R. **O Realismo e o Objetivo da Ciência**. 1º Volume do Pós-escrito à Lógica da Descoberta Científica. Org. W. W. Bartley, III. Trad. Nuno Ferreira da Fonseca – 1ª ed. – Lisboa: Dom Quixote, 1987.

OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física moderna e contemporânea no ensino médio”**. Investigação em Ensino de Ciências, V5(1), pp. 23 – 48, 2000.

OSTERMANN, F. e RICCI, T. S. F. **Construindo uma unidade didática conceitual sobre Mecânica Quântica: um estudo na formação de professores de Física**. *Ciência & Educação*, 2, 235-258, 2004.

OSTERMANN, F. e RICCI, T. S. F. **Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relatos de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 1, 9 – 35, 2005.

REZENDE, F. **As novas tecnologias na prática pedagógica sob a perspectiva construtivista**. ENSAIO: pesquisa em educação em ciências - Belo Horizonte, V. 2 (1), pp. 1-18. Março, 2002.

SANTOS, F. M. T e GRECA, I. M. **Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em Ciências: o caso da Física e da Química**. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 10(1), pp. 31-46, 2005.

SANTOS, G., OTERO, M. R. & FANARO, M. D. L. A. **¿Cómo usar software de simulación em clases de Física?** *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 17 (1), p.50-66, abr. 2000.

SILVA, C. O.; NATTI, P. L. **Modelo de quarks e sistema multiquarks**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, v. 29, n. 2, p. 175-187, 2007.

THOMAZ, M. T. **Mecânica clássica x Mecânica quântica**. Universidade Federal Fluminense – Instituto de Física. RJ, 1998.

VERGNAUD, G. **A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems**. In Carpenter, T.; Moser, J.; Romberg, T. *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59, 1982.

VERGNAUD, G. **Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives**. *Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho. 1983a.

VERGNAUD, G. **Multiplicative structures**. In: LESH, R.; LANDAU, M. (Eds.) **Acquisition of Mathematics Concepts and Processes**. New York: Academic Press, p. 127-174, 1983b.

VERGNAUD, G. **Didactics as a Content-Oriented Approach to Research on the Learning of Physics, Mathematics and Natural Language**. 68th Annual Meeting of the American Educational Research Association. New Orleans, Abril. 1984.

VERGNAUD, G. **La théorie des champs conceptuels**. Paris, Recherches en Didactique des mathématiques, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. **Teoria dos Campos Conceituais**. In: NASSER, L. (Ed.) Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ. p. 1-26, 1993. 107

VERGNAUD, G. **Multiplicative conceptual Field: what and why?**. The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics. Albany: State University of New York Press. Pp. 41-59, 1994.

VERGNAUD, G. **Education: the best part of Piaget's heritage**. Bern, Swiss Journal of Psychology, v. 55, n.2/3, p. 112-118, 1996a.

VERGNAUD, G. **A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos**. Revista do GEMPA, Porto Alegre, Nº 4, p. 9-19, 1996.

VERGNAUD, G. **Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica**. Genebra, Perspectivas, v. 26, n. 10, p. 195-207, 1996.

VERGNAUD, G. **A comprehensive theory of representation for mathematics education**. Amsterdam, Journal of Mathematical Behavior, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. **En que sentido la teoria de los campos conceptuales puede ayurdanos para facilitar el aprendizaje significativo**. Porto Alegre: Investigações em Ensino de Ciências. v. 12, n. 2, p. 285-302, 2007.

WILHELM, J. D. **Improving Comprehension with Think-Aloud Strategies**. New York: Scholastic Inc., 2001.

ANEXO A - CARTA DE APRESENTAÇÃO

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA “SÃO PAULO”

Reconhecida pela Portaria Ministerial nº 681 de 07/12/89 - DOU de 11/12/89

CARTA DE APRESENTAÇÃO

À _____

Encaminhamos **Marcela Macedo Neves**, aluna do Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade Luterana do Brasil, para a obtenção de dados de pesquisa neste estabelecimento, visando ao desenvolvimento de investigação relativa à sua dissertação, orientada pelo Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto.

Desde já o Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática agradece a colaboração desta instituição na viabilização do trabalho.

Canoas, 13 de junho de 2011.

Prof^a. Dra. Claudia Lisete Oliveira Groenwald
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
Em Ensino de Ciências e Matemática

Rua Miguel Tostes, 101, Bairro São Luís - 92420-280 - Canoas/RS - Cx. Postal: 124 - Fax
(051)3477 1313 Fone3477 4000

ANEXO B - GUIA PARA UTILIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Guia P. O. E (Predizer, Observar e Explicar)



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

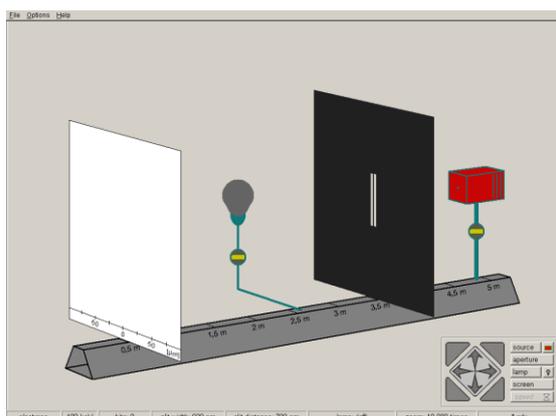
NOME:	PROF ^o :
CURSO:	DATA:
DISCIPLINA:	

GUIA PARA UTILIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES

As simulações que você irá utilizar nesta atividade são de experimentos que podem ser realizados em alguns laboratórios de pesquisa. Como estes experimentos são muito complexos para uso didático, utilizaremos estas simulações para que você possa explorá-los virtualmente.

Este guia usa a técnica descrita como P.O.E. (Predizer-Observar-Explicar), que tem sido utilizada com sucesso e consiste em fazer com que você, aluno, tente predizer o que vai ocorrer antes da simulação e registre, escrevendo, o que você espera que ocorra. Em seguida, você efetua a simulação, observando o que acontece e finalmente, compara o que você esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto por você, se houverem diferenças. Portanto, pedimos que você siga esta técnica para aproveitar melhor o resultado do seu trabalho. Não tente simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado neste guia a sua previsão. Isto irá apenas fazer com que você não aproveite totalmente os benefícios da atividade didática.

1 PRIMEIRA ATIVIDADE: O EXPERIMENTO DA FENDA DUPLA



Esta simulação nos permite observar o comportamento de balas, luz e elétrons, quando passam por fendas estreitas e muito próximas, incidindo numa tela branca.

Não esqueça de utilizar a técnica P.O.E, para que possamos ter um bom rendimento desta atividade didática.

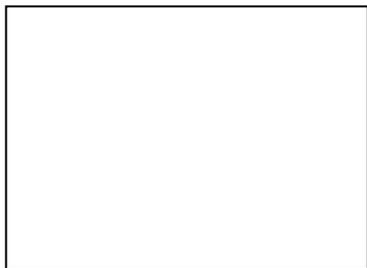
Para rodar este novo programa, em EXPERIMENTO DE DUAS FENDAS, selecione na parte de baixo da janela do programa ENGLISH, ao invés de DEUTSCH. Clique em OK.

Você pode explorar o experimento antes de iniciar a simulação. No ícone assinalado com uma seta, você poderá visualizar o experimento sob diversos ângulos diferentes (isto é opcional).

2.1 ARMA DE BALAS

Inicialmente, selecione **source** e, em seguida, **gunballs**, na janela que irá aparecer. Em seguida, na janela **aperture** que determina a abertura e a distância entre as fendas, clique em **slit 1 OU slit 2**. Assim, você visualizará apenas uma fenda e estará se preparando para simular o que acontece quando apenas balas (ou areia) passam por uma fenda.

2.1.1 (PREVISÃO) Prediga e desenhe abaixo o que acontece na tela, com apenas uma fenda.



(OBSERVAÇÃO)

Clique no botão \ominus que se encontra abaixo da arma, para iniciar a saída das balas. Não esqueça que **speed** lhe fornecerá resultados mais rápidos. Desenhe abaixo o que você observou. Em seguida, abra a janela **screen** e clique em **evaluation**. Este gráfico representa a contagem acumulada, ou seja, mostra o número de pontos em cada posição, conforme as partículas incidem na tela branca. Desenhe abaixo o que você observou.



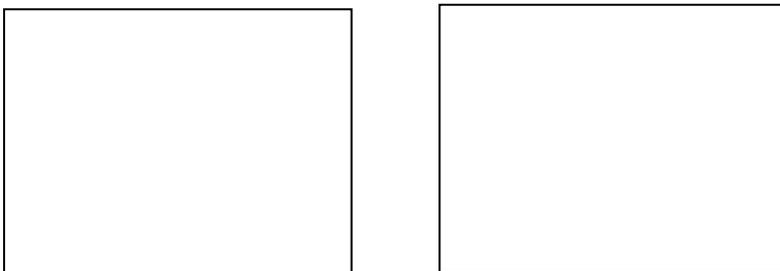
(VERIFICAÇÃO): Compare o que você previu com o que observou. Existem diferenças? Explique.

Se selecionasse somente a outra fenda, o que aconteceria? (Você pode simular esta situação antes de responder)

2.1.2 (PREVISÃO) Ative agora as duas fendas na tela e desenhe abaixo o que você espera observar, inclusive na opção *evaluation*.



(OBSERVAÇÃO) Simule o resultado das duas fendas ativadas e registre os resultados. Não se esqueça dos valores acumulados, apertando **evaluation**.

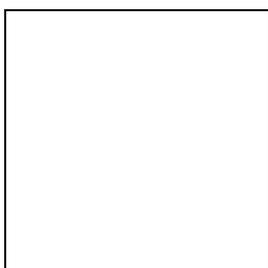


(EXPLICAÇÃO) Existem diferenças entre o que você observou e o que você esperava que acontecesse? Explique.

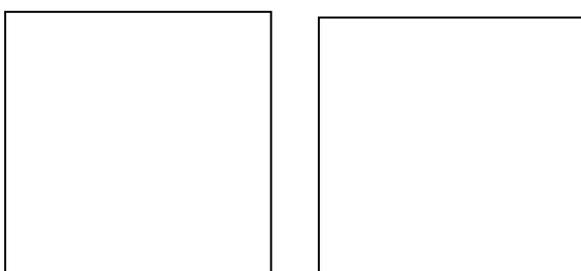
2.2 FÓTONS – LUZ

Agora iremos repetir o experimento para luz, ou FÓTONS. Escolha esta opção de fonte (SOURCE) e ajuste para 28eV. Na janela **aperture**, altere a abertura das fendas para 100 μm (opção **slit-width**) e a distância entre elas para 424 μm (opção **slit-distance**). Caso você não consiga exatamente estes valores, não importa, apenas que fique em valores próximos a estes. Em seguida, na janela **aperture** (que determina a abertura e a distância entre as fendas), clique em **slit 1 OU slit 2** e você visualizará apenas uma fenda. Assim, você estará se preparando para simular o que acontece quando apenas luz passa por uma fenda. Clique em **screen** e altere o zoom para 1000x.

2.2.1 (PREVISÃO) Prediga e desenhe abaixo o que acontece na tela, com apenas uma fenda.



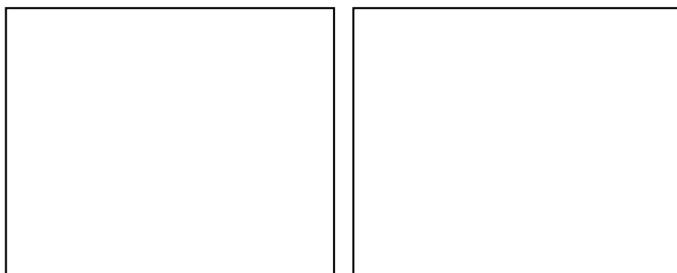
(OBSERVAÇÃO) Clique no botão \ominus que se encontra abaixo da fonte, para iniciar a saída dos fótons. Em seguida, abra a janela **screen** e clique em **evaluation**. Não esqueça que **speed** lhe fornecerá resultados mais rápidos. Desenhe abaixo o que você observou.



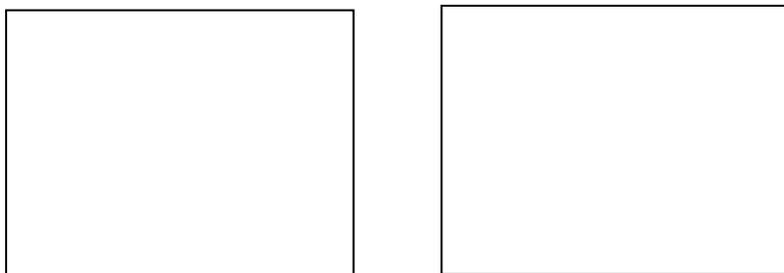
(VERIFICAÇÃO): Compare o que você previu com o que observou. Existem diferenças? Explique.

Se selecionasse somente a outra fenda, o que aconteceria? (Você pode simular esta situação antes de responder)

2.2.2 (PREVISÃO) Ative agora as duas fendas na tela e desenhe abaixo o que você espera observar.



(OBSERVAÇÃO) Simule o resultado das duas fendas ativadas e registre os resultados. Não se esqueça dos valores acumulados, apertando **evaluation**. Alterne de 1000x de zoom para 10.000x de zoom, na janela **screen**.



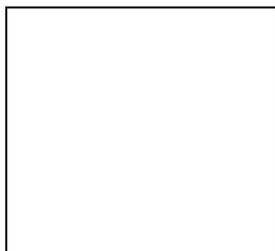
(EXPLICAÇÃO) Existem diferenças entre o que você observou e o que você esperava que acontecesse? Explique o porquê das diferenças.

2.3 ELÉTRONS

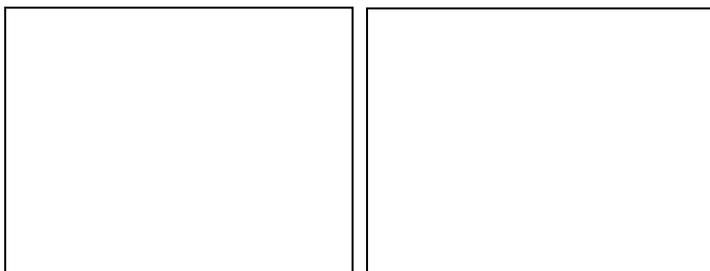
Um feixe de elétrons pode ser difratado da mesma maneira como pode ser difratado um feixe de fótons. Na simulação que segue, o procedimento é essencialmente o mesmo das atividades anteriores.

Deixe a lâmpada apagada e retire uma das fendas (**aperture, slit 1 OU slit2**). Inicialmente, selecione **source** e, em seguida, **electrons**. Na janela **aperture**, altere para 100 nm a abertura da fenda e 571 nm a distância entre elas. Na janela **source**, altere a energia para **1 KeV**. Em **screen**, selecione zoom 1.000 X.

2.3.1(PREVISÃO) Prediga e desenhe abaixo o que acontece na tela, quando elétrons passam por apenas uma fenda.



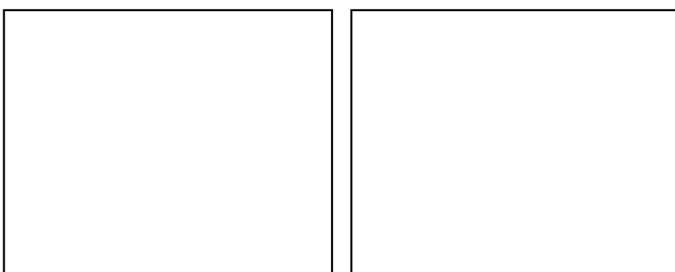
(OBSERVAÇÃO) Então, clique no botão \ominus que se encontra abaixo da fonte, para iniciar a saída dos elétrons. Em seguida, abra a janela **screen** e clique em **evaluation**. Não esqueça que **evaluation** lhe fornecerá a contagem acumulada e **speed**, resultados mais rápidos. Desenhe abaixo o que você observou.



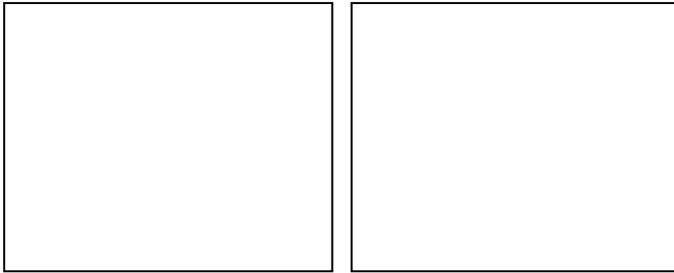
(VERIFICAÇÃO): Compare o que você previu com o que observou. Existem diferenças? Explique.

Se selecionasse somente a outra fenda, o que aconteceria? (Você pode simular esta situação antes de responder)

2.3.2 (PREVISÃO) Ative agora as duas fendas na tela e desenhe abaixo o que você espera observar.



(OBSERVAÇÃO) Simule o resultado das duas fendas ativadas e registre os resultados. Não se esqueça dos valores acumulados, apertando **evaluation**.

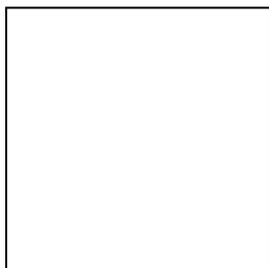


(EXPLICAÇÃO) Existem diferenças entre o que você observou e o que você esperava que acontecesse? Explique.

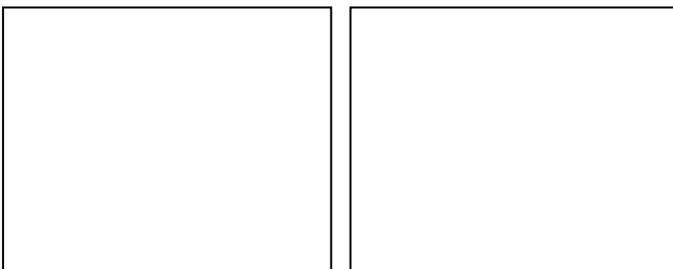
Em **zoom**, aumente para 10.000X. Em **screen**, selecione tanto **evaluation** como **theo-result** e verá tanto o resultado teórico como a validação com mais clareza. O que você pode observar?



2.3.3 (PREVISÃO) Na próxima simulação, você deverá manter as duas fendas selecionadas. Vamos comparar o resultado anterior com o resultado na tela se a lâmpada estiver acesa. O que você acha que ocorre ao ligarmos a lâmpada?

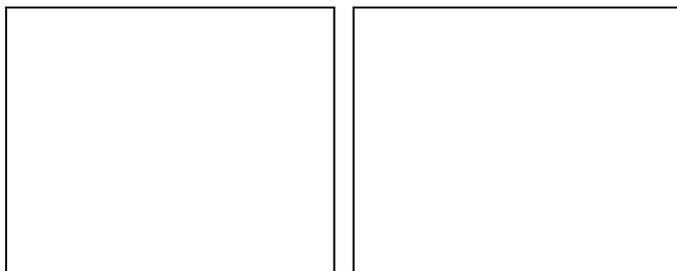


(OBSERVAÇÃO) Em **lamp**, selecione **intensity 100%** e **wavelength 760nm**. Acenda a lâmpada no botão (--). Registre o que você observou com as opções "**Theo result**" e "**evaluation**" selecionadas (em screen).

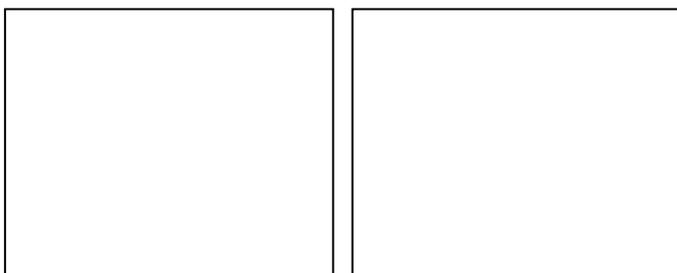


(EXPLICAÇÃO): Compare o que você previu com o que observou. Existem diferenças? Explique.

2.3.4 (PREVISÃO) Se ajustarmos a intensidade da lâmpada para 30% e realizarmos o experimento, haverá alguma diferença? E para intensidade 70%? Desenhe e explique se necessário.

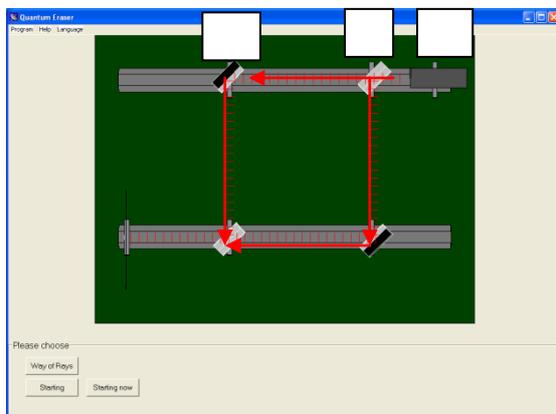


(OBSERVAÇÃO) Na próxima simulação, você deverá acender a lâmpada e não retirar as duas fendas. Em **lamp**, altere a intensidade, primeiro para 30, depois para 70%. Não esqueça de entrar em **screen** e selecionar "**evaluation**" e "**Theo-result**".



(EXPLICAÇÃO) Compare os resultados obtidos com os que você previu. Existem diferenças? Qual a influência da intensidade da luz?

2 SEGUNDA ATIVIDADE: SIMULADOR QUANTUM ERASER



Para iniciar esta simulação, abra o programa **QUANTUM ERASER**, selecione a linguagem (inglês), clicando na bandeira da Inglaterra, depois clique em **start**. Na janela que abrirá, clique em **WAY OF RAYS**. Você visualizará um interferômetro, que separa um feixe luminoso em duas partes (que seguem os caminhos ABCE e ABDE), recombinando-as depois. Vamos utilizá-lo para observar e analisar o comportamento de um laser e de fótons que irão incidir na tela branca (F).

(A) Fonte

(B) e (E) Espelhos semi-refletores

(C) e (D) Espelhos completos

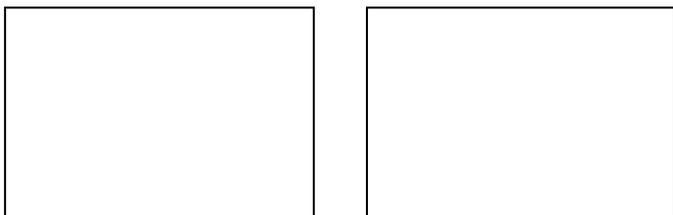


Assim que identificar a trajetória dos lasers, clique em **STARTING**.

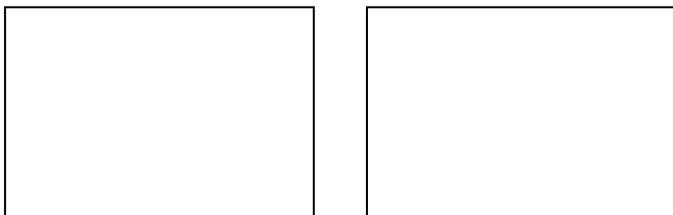
1.1 LASER

1.1.1 Inicialmente, vamos observar o comportamento de um feixe de luz proveniente de um laser. Para isso, selecione **LASER** e, em seguida, **detector 1**. Este detector permite saber se o feixe de luz laser passou por uma parte da trajetória. Após, selecione somente o **detector 2**.

(PREVISÃO) Desenhe abaixo o que você espera observar na tela branca, antes de ligar o dispositivo:



(OBSERVAÇÃO) Agora, **SIMULE** o comportamento do laser, **clicando na lâmpada**. Desenhe abaixo o que você observou. **Apague a lâmpada**.



(EXPLICAÇÃO) Compare o que você previu com o que observou. Explique a diferença, se houver:

1.1.2 Selecione os **dois detectores, 1 e 2**.

(PREVISÃO) Desenhe abaixo o que você espera observar na tela branca:



(OBSERVAÇÃO) Agora, *SIMULE* o comportamento do laser, **clcando na lâmpada**. Desenhe abaixo o que você observou.

Apague a lâmpada.



(EXPLICAÇÃO) Compare o que você previu com o que observou. Explique a diferença, se houver:

1.1.3 O que acontecerá ao **desligarmos os dois detectores**, a fim de deixar que **AMBOS** os feixes de raio laser passem?

(PREVISÃO) Desenhe abaixo o que você espera observar na tela branca:



(OBSERVAÇÃO) Agora, SIMULE o comportamento do laser, **clikando na lâmpada**. Desenhe abaixo o que você observou.

Apague a lâmpada.



(EXPLICAÇÃO) Compare o que você previu com o que observou. Explique a diferença, se houver:

PERGUNTAS

1) Você observou padrões de interferência? Em qual parte do experimento?

2) Porque ocorre a interferência? O que interfere com o que? Há relação com superposição construtiva e destrutiva?

1.2 FÓTONS

A próxima simulação exige que você altere a variável **laser** para **single photons**. Assim, o experimento passa a emitir fótons individuais, ao invés de luz laser. Antes, uma grande quantidade de fótons era emitida pela luz laser, como uma lâmpada. Milhões de fótons são emitidos por uma lâmpada comum. Como você observou, parte do feixe passa por um lado, e parte por outro lado.

1.2.1 A lâmpada agora é uma fonte que só permite a passagem de **um fóton por vez**. Estes, ao incidir na tela branca, serão detectados e, por isso, destruídos. Acrescente o **detector 1**.

(PREVISÃO) O que acontecerá ao ligarmos o emissor de fótons? Desenhe abaixo o que você espera observar na tela branca e escreva ao lado qual a porcentagem de fótons que você espera medir no detector 1, em relação ao número total de fótons emitidos pela fonte:



_____ R. _____

(OBSERVAÇÃO) Agora, SIMULE o comportamento dos fótons, clicando em **detector 1** e depois na **lâmpada**. Note que agora o detector pode contar quantos fótons passaram por ele. Também é contado, para comparação, quantos fótons saíram do emissor. Assim, você pode descobrir por onde cada fóton individual passou! Inicialmente, esta contagem é zero para cada marcador. A opção **speed** permite uma visualização mais rápida e você poderá clicar quantas vezes achar necessário.

Quantos fótons saem do emissor e chegam ao detector 1, em termos percentuais (aprox.)? _____

Desenhe abaixo o que você observou na tela branca após clicar algumas vezes em **speed**: Após, **apague a lâmpada**.



(EXPLICAÇÃO) Compare o que você previu com o que observou. Explique a diferença, se houver, tanto para o desenho como para a porcentagem:

1.2.2 (PREVISÃO) Selecione o **detector 2**. Desenhe abaixo o que você espera observar na tela branca. Diga ao lado qual a porcentagem de fótons que você espera medir no detector 2:



_____ R. _____

(OBSERVAÇÃO) Agora, SIMULE o comportamento dos fótons, **clicando na lâmpada**. Quantos fótons saem do emissor e chegam ao detector 2, em termos percentuais (aprox.)? _____

Desenhe abaixo o que você observou na tela branca. Após, **apague a lâmpada**.



(EXPLICAÇÃO) Compare o que você previu com o que observou. Explique a diferença, se houver, tanto para o desenho como para a percentagem:

1.2.3 (PREVISAO) Agora, acrescente tanto o **detector 2** como o **detector 1**. Desenhe abaixo o que você espera observar na tela branca. Diga ao lado qual a percentagem de fótons que você espera medir no detector 1 e no detector 2.



_____ R. _____

(OBSERVAÇÃO) Agora, SIMULE o comportamento dos fótons, **clicando na lâmpada**. Quantos fótons saem do emissor e chegam aos detectores 1 e 2, em termos percentuais? _____

Desenhe abaixo o que você observou na tela branca. **Apague a lâmpada**.



(EXPLICAÇÃO) Compare o que você previu com o que você observou. Explique a diferença, se houver, tanto para o desenho como para a percentagem:

2.5 (PREVISÃO) Agora retire os **detectores 1 e 2**. Desenhe abaixo o que você espera observar na tela branca.



(OBSERVAÇÃO) Agora, SIMULE o comportamento dos fótons, **clikando na lâmpada**. Lembre-se que você pode usar a opção **speed**. Desenhe abaixo o que você observou na tela branca. Após, **apague a lâmpada**.



(EXPLICAÇÃO) Compare o que você previu com o que observou. Explique a diferença, se houver, tanto para o desenho como para a percentagem:

PERGUNTAS:

1) Você observou padrões de interferência? Em qual parte do experimento?

2) _____

2) Porque ocorre a interferência? O que interfere com o que?

3) Como é possível haver interferência, se apenas um fóton passa por segundo?

APÉNDICE A



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL

<p>Pré-Teste</p> <p>DATA: ___/___/___ Idade: _____</p> <hr/> <p>Nome Legível do Aluno</p>	<p>Este Pré-Teste é parte do Projeto de Pesquisa:</p> <p>“Investigação dos conceitos quânticos desenvolvidos através de representações virtuais em ensino de física”.</p>
--	--

Olá aluno, peço a sua colaboração em responder as questões a seguir. Esta pesquisa não está vinculada à disciplina, portanto, não influenciará nas avaliações discentes. Agradecemos por tornar a pesquisa possível.

Qual o seu curso de graduação?

Você conhece algum programa de simulação?

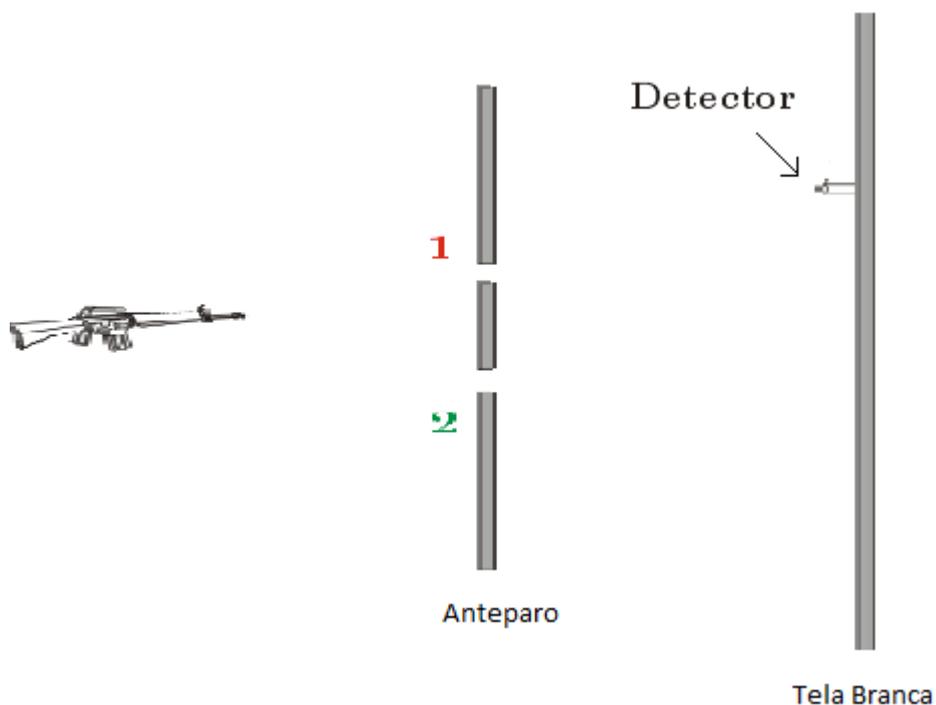
() Sim () Não

Se sim, quais?

3) Você sabe se existe alguma diferença entre objetos microscópicos e macroscópicos?

Experimento com vários objetos

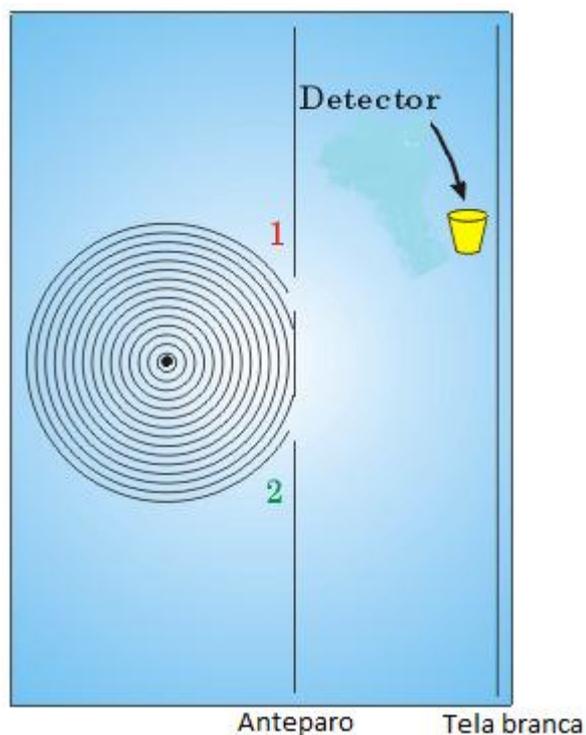
Imagine um dispositivo (metralhadora giratória) que dispara balas indestrutíveis em várias direções, sendo a taxa de disparos constante.



1) No esquema acima se encontra a metralhadora que dispara várias balas e a sua frente um anteparo metálico que impede a passagem das balas, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo há uma tela branca com um detector que permite detectar as balas lançadas pela metralhadora.

O que você acha que acontece nesse experimento? Explique o desenho.

Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando **várias ondas circulares** constantes.



2) Encontra-se nesse esquema um anteparo que foi construído de modo a não permitir que as ondas sejam refletidas, exceto pelas fendas 1 e 2, e logo após, um detector que mede a intensidade do movimento numa tela branca.

O que você acha que acontece nesse experimento? Explique o desenho.

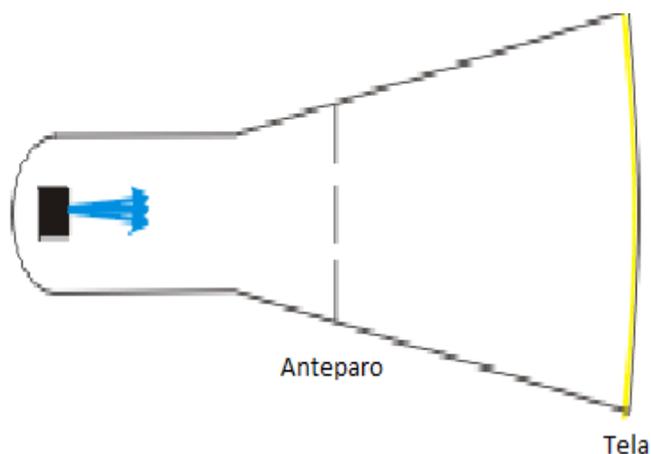


Anteparo



Tela branca

Agora usaremos um canhão (fonte) que emite **vários elétrons**.



3) O que se observa acima é um anteparo com uma dupla fenda e logo após, uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.

O que acontece com a chegada dos elétrons na tela quando as duas fendas estão abertas?



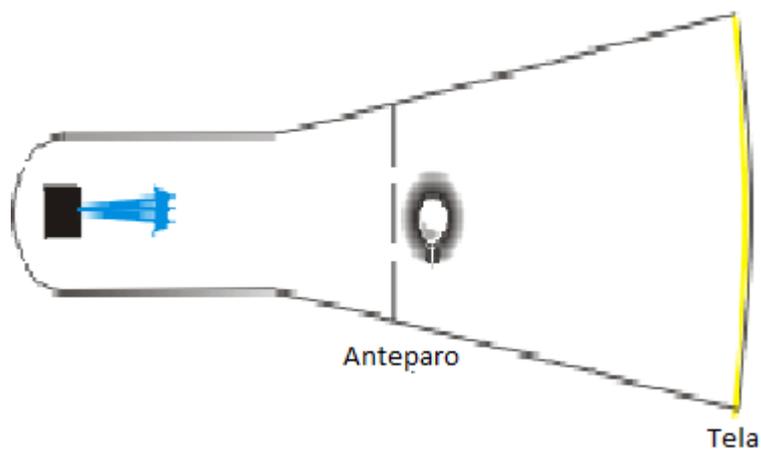
Anteparo



Tela

Novamente, usaremos um canhão (fonte) que emite **vários elétrons**.

Imagine um esquema simples: uma lâmpada por trás das fendas (olhar para ver o que está acontecendo).



4) O que se observa acima é um anteparo com dupla fenda e, logo após, uma tela que pode detectar a chegada dos elétrons.

O que você acha que ocorrerá nesse experimento?



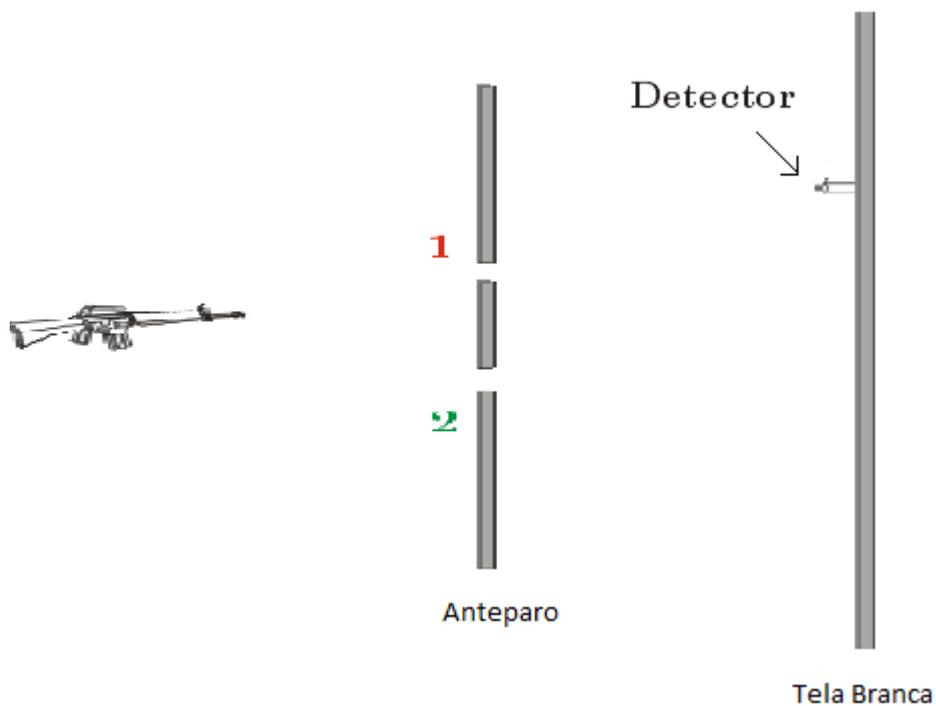
Anteparo



Tela

Experimento com um objeto

Imagine um dispositivo (metralhadora giratória) que dispara balas indestrutíveis em várias direções, sendo a taxa de disparos constantes.



1) No esquema acima se encontra a metralhadora que dispara **uma única bala** e, a sua frente, um anteparo metálico que impede a passagem da bala, exceto por duas fendas 1 e 2. Após o anteparo, há uma tela branca com um detector, que permite detectar a bala lançada pela metralhadora.

O que você acha que acontece nesse experimento? Explique o desenho.

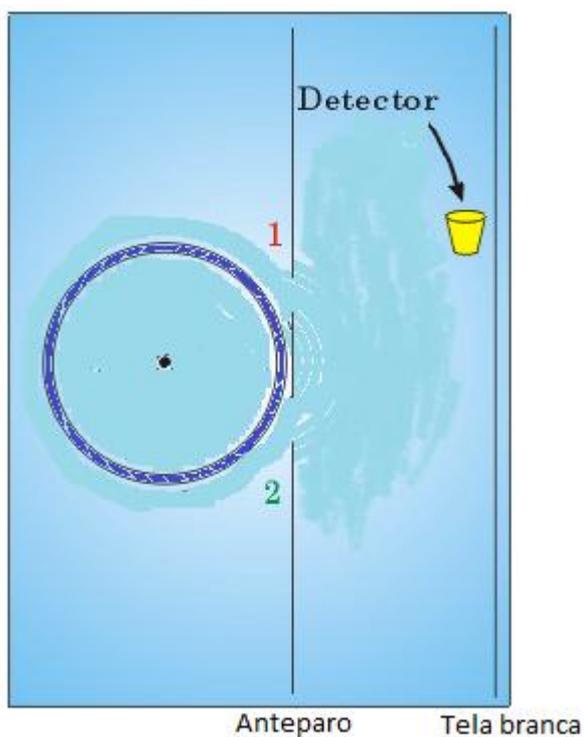


Anteparo



Tela Branca

Imagine uma bolinha que sobe e desce sobre uma superfície de água, gerando **uma onda circular**.



2) Encontra-se, nesse esquema, um anteparo que foi construído de modo a não permitir que a onda seja refletida, exceto pelas fendas 1 e 2, e logo após, um detector que mede a intensidade do movimento em uma tela branca.

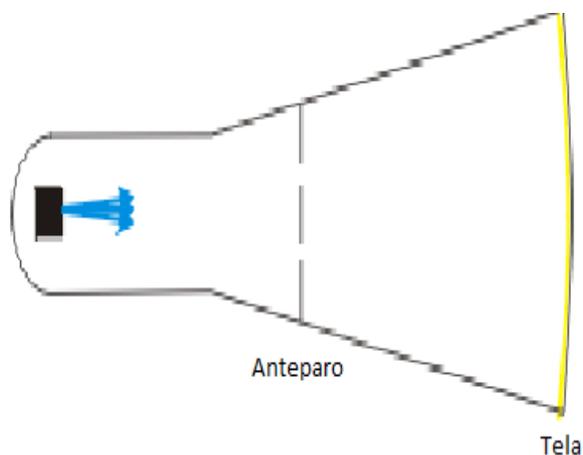
O que você acha que acontece nesse experimento? Explique o desenho.

--	--

Anteparo

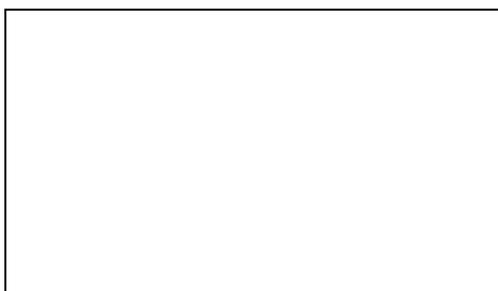
Tela Branca

Agora, usaremos um canhão (fonte) que emite **um único elétron** por vez.

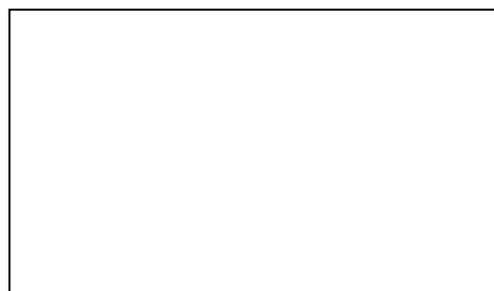


3) O que se observa acima é um anteparo com dupla fenda e, logo após, uma tela que pode detectar a chegada do elétron.

O que acontece com a chegada do elétron na tela branca quando as duas fendas estão abertas?



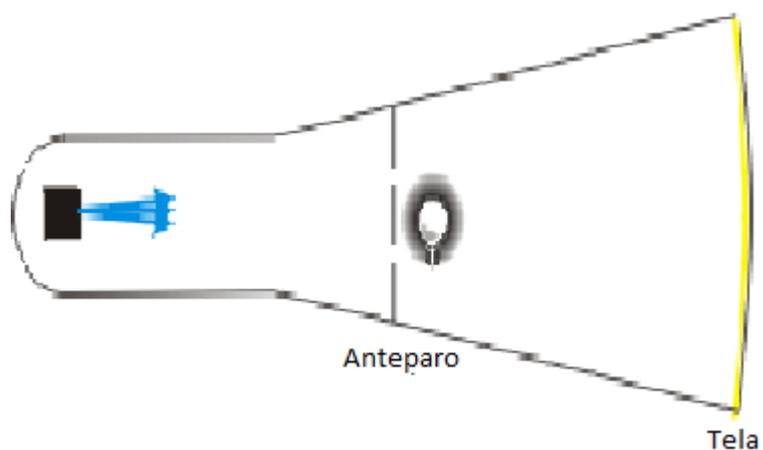
Anteparo



Tela

Novamente, usaremos um canhão (fonte) que emite **um elétron** por vez.

Imagine um esquema simples: uma lâmpada por trás das fendas (olhar para ver o que está acontecendo).



4) O que se observa acima é um anteparo com dupla fenda e, logo após, uma tela que pode detectar a chegada do elétron.

O que você acha que ocorrerá nesse experimento?



Anteparo



Tela

OBRIGADA!

APÊNDICE B

A Técnica de Entrevista *Think Aloud*

Think Aloud é um método usado no recolhimento de dados em testes de usabilidade de projetos e no desenvolvimento de produto, na psicologia e em educação. O método foi desenvolvido por Clayton Lewis, quando estava em IBM, e envolve os participantes que pensam em voz alta enquanto estão executando um conjunto de tarefas específicas. Os usuários são solicitados a dizer o que quer que estejam olhando, pensando, fazendo, e sentindo, enquanto vão executando sua tarefa. Isso permite os observadores verem “em primeira-mão” o processo de conclusão da tarefa. As sessões do teste são frequentemente gravadas em áudio e vídeo, de modo que os colaboradores possam voltar à gravação e transcrever o que os participantes fizeram e como reagiram. A finalidade deste método é fazer explícito o que está implicitamente sendo feito durante a execução de uma tarefa específica. Em nosso caso, as tarefas são a resolução de problemas em Física, e o objetivo é investigar o processo mental que cada pessoa utiliza para resolução destes problemas.

Extraído de: [HTTP://www2.scholastic.com/browse/article.jsp?](http://www2.scholastic.com/browse/article.jsp?)