

# Investigando os *Drivers* e as Representações Mentais Presentes nas Interpretações Privadas de Estudantes de Mecânica Quântica

Robson Trevisan  
Agostinho Serrano

## RESUMO

Este artigo busca investigar as representações mentais e os *drivers* de licenciandos em Física, adquiridos e/ou modificados após a utilização de mediações hiperculturais e sociais. O propósito deste artigo é de constituir as correntes interpretativas e modelizações presentes no processo de compreensão de conceitos fundamentais da Mecânica Quântica. Para tanto, adotamos a harmonização de dois referenciais teóricos, sendo eles, a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), em razão de sua abordagem relacionada à mediação hipercultural, e a Modelização Científica de Mario Bunge, em virtude de sua percepção acerca da construção de conhecimento de forma racional em meio a interpretação da realidade. Os resultados foram obtidos após as análises realizadas sob os pré-testes, pós-testes e análise dos gestos descritivos obtidos das imagens de vídeo gravadas durante as entrevistas do pós-teste. Verificamos a predominância de uma postura realista clássica nas interpretações dos alunos, também observamos divergências entre as representações proposicionais e analógicas expressadas ao longo das explicações acerca da dualidade onda-partícula presente nas bancadas virtuais.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Mecânica Quântica. Teoria da Mediação Cognitiva. Modelização Científica.

## Investigating the Drivers and Mental Representations of the Private Interpretations of Students of Quantum Mechanics

## ABSTRACT

This article aims to investigate the mental images and the drivers of physics graduates, acquired and / or modified after the use of hypercultural and social mediations. The purpose of this paper is to analyze the interpretive frameworks and the modeling present in the process of understanding fundamental concepts of Quantum Mechanics. Therefore, we adopted the

---

**Robson Trevisan** é Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Canoas/RS, Brasil. Endereço para correspondência: Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Av. Farroupilha, 8001, Prédio 14, sala 338, Bairro São José, 92425-000 – Canoas/RS, Brasil. E-mail [robsontrevisan@gmail.com](mailto:robsontrevisan@gmail.com)

**Agostinho Serrano** é Doutor em Física. Docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Canoas, RS, Brasil. Endereço para correspondência: Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), Av. Farroupilha, 8001, Prédio 14, sala 338, Bairro São José, 92425-000 – Canoas/RS, Brasil. E-mail [asandraden@gmail.com](mailto:asandraden@gmail.com)

Recebido para publicação em 29 ago. 2018. Aceito, após revisão, em 29 ago. 2018.

DOI: <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.v20iss4id4670>.

Acta Scientiae	Canoas	v.20	n.4	p.725-746	jul./ago. 2018
----------------	--------	------	-----	-----------	----------------

harmonization of two theoretical referentials, the Cognitive Networks Mediation Theory (CNMT), because of its treatment of the hypercultural mediation, and Mario Bunge's Scientific Modeling Theory, due to his perception of the construction of knowledge in a rational way through the interpretation of reality. The results were obtained after analyzing the pre-tests, post-tests and the depictive gestures obtained from the video images recorded during the post-test interviews. Our results indicate the predominance of a 'classical realistic' interpretation in the interpretation of the students, and we also observed divergences in the propositional and analogical representations expressed during the student's explanation of the wave-particle duality as it happened in the virtual experiments.

**Keywords:** Physics Education. Quantum Mechanics. Cognitive Mediation Theory. Scientific Modeling.

## INTRODUÇÃO

A Mecânica Quântica (MQ), também chamada de Física Quântica (FQ), ou, ainda, Teoria Quântica (TQ), é tida como uma teoria sólida e de sucesso, pois suas previsões têm sido comprovadas empiricamente, ao longo deste século, com grande precisão. Durante as últimas décadas, mais especificamente, ela se tornou o alicerce de sustentação da tecnologia, utilizada para o desenvolvimento de diversos dispositivos, como o de produção de imagens por ressonância magnética (NMR), a tomografia por emissão de pósitrons (PET), o microscópio eletrônico de varredura por tunelamento, o relógio atômico do sistema de posicionamento global (GPS) e, proximamente, empregada na criptografia e na computação quântica (Santos, 2017).

Os pesquisadores da área atrelam à Mecânica Quântica (MQ) uma confiança de tal ordem que os desdobramentos teóricos subsequentes a tomam como parâmetro básico no ato de pensar a física e seus fenômenos relacionados (Freire, Pessoa Jr, & Bromberg, 2011). Por outro lado, “[...] é notável, no entanto, que a mecânica quântica tenha dezenas de interpretações diferentes. Ou seja, mesmo havendo concordância sobre o formalismo da teoria, não há consenso sobre o que ela diz em relação à realidade” (Pessoa Jr, 2008, p.32).

Controvérsias e debates intensos acabaram surgindo devido às inúmeras interpretações construídas para esclarecer os resultados oriundos dos experimentos quânticos. Interpretações essas que foram sendo desenvolvidas à medida que os avanços teóricos foram sendo consolidados, e que perduram atualmente. Em vista desses aspectos, podemos destacar os temas da dualidade onda-partícula da matéria e da radiação eletromagnética. Esses temas proporcionaram o aparecimento das múltiplas interpretações mencionadas anteriormente, numa tentativa de explicar a ocorrência dos fenômenos observados, principalmente no aparato experimental da dupla fenda, que, de acordo com Feynman, Leighton e Sands (2008), é um fenômeno absolutamente impossível de se explicar classicamente, e contém em si o coração da FQ.

Montenegro e Pessoa Jr (2002) ressaltam que, em cursos típicos de graduação, espera-se que o aluno utilize a teoria quântica em algoritmos de resolução de problemas e, quando a desenvolve com sucesso, é aprovado na disciplina. Entretanto, para obter êxito

nos cálculos, o aluno usualmente busca imaginar representações do mundo físico em sua mente, as quais os autores apontam ser representações que vão além das observadas nos laboratórios; o aluno imagina “partículas como *bolinhas*, imagina onda se propagando, imagina um microscópio de raios gama, etc” (Montenegro & Pessoa Jr, 2002, p.1).

Neste tocante, ressaltamos a importância do ensino da MQ, mantendo a preocupação na abordagem conceitual, e não apenas nos processos de cálculos matemáticos. Desta forma, pretendemos analisar o desenvolvimento e a utilização de ferramentas hiperculturais sob a forma de simulações computacionais e *storyboards*,<sup>1</sup> que preencham a lacuna representacional do comportamento do mundo microscópico em experimentos fundamentais da TQ, permitindo, dessa forma, ao aluno observar as representações e *drivers* vinculados às principais interpretações da MQ.

Um dos grandes argumentos da escola imagística de funcionamento da mente é que representações são cruciais para o processamento cerebral, porque apresentam informação condensada no auxílio à cognição (Moreira, 2002). A não presença de representações adequadas em nível microscópico pode, assim, dificultar uma evolução conceitual. Sobretudo no que concerne à teoria quântica, a qual apresenta diversas interpretações possíveis para um mesmo conjunto de fenômenos, é possível que fornecer representações e *drivers* microscópicos condizentes com essas diversas interpretações seja importante do ponto de vista didático. Toma-se, desta maneira, como proposta de pesquisa na área de Ensino, o estudo da forma de aprendizado quando se utiliza, por mediação de um mecanismo externo de processamento de informações, o computador e os conteúdos digitais.

Diante disso, emerge a seguinte pergunta central de pesquisa:

– *O uso de mediação hipercultural com representações e drivers microscópicos específicos é capaz de complementar as outras formas de mediação e auxiliar os estudantes a organizarem seu raciocínio, seguindo um determinado viés interpretativo?*

Portanto, analisaremos as representações mentais e os *drivers* adquiridos e/ou modificados por licenciandos em Física, após a utilização de ferramentas hiperculturais sob a forma de simulações conceituais e *storyboards* que forneçam representações microscópicas dos objetos e fenômenos quânticos. Por conseguinte, as bancadas virtuais e *storyboards* apresentar-se-ão como mecanismos externos de processamento de informação ao longo do processo de construção de conhecimentos relacionados à Teoria Quântica.

Para tanto, adotamos como referencial filosófico e epistemológico os modelos científicos de Mario Bunge na construção de representações dos fenômenos da dualidade, no material em formato de *storyboards*, a serem apresentados aos alunos. As convicções de Bunge para o problema dos modelos científicos têm recebido crescente reconhecimento,

---

<sup>1</sup> São organizadores gráficos que podem ser constituídos por uma sequência de ilustrações ou imagens dispostas em uma sequência previamente estabelecida, com o objetivo de sintetizar a visualização do *script* de um filme, animação ou situação arquitetada (em nosso caso, o comportamento do objeto quântico no arranjo experimental da dupla fenda). É uma espécie de roteiro desenhado, seu layout gráfico pode lembrar uma história em quadrinhos.

sendo empregadas em importantes análises e reflexões no Ensino de Ciências (Pietrocola, 1999; Cupani & Pietrocola, 2002; Westphal & Pinheiro, 2004).

Preconizamos a reflexão sobre os modelos como um segmento de qualquer estudo a respeito da construção de conhecimento em meio a interpretação da realidade sensível. Os conceitos científicos não constituem uma cópia da realidade, mas são representações simbólicas imperfeitas, capaz de serem aperfeiçoáveis, da mesma. Dessa maneira, pode-se pensar que “a realidade científica inclui elementos que podem estar além da percepção devendo, pois, ser hipoteticamente supostos e em seguida objetivados em objetos de conhecimento” (Cupani & Pietrocola, 2002, p.124).

Em nosso espírito educativo, defendemos que se deva propor o estudo da MQ por meio de métodos que proporcionem ao aluno criar representações mentais que o auxiliem no entendimento fenomenológico dos conceitos quânticos. Deste modo, utilizaremos também como referencial teórico a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), de Souza (2004), em razão de sua abordagem relacionada à mediação hipercultural, em especial mediante o uso de computadores, que são ferramentas tecnológicas responsáveis pela realização de processamentos externos de informação, interagem com os mecanismos internos de processamento e, como consequência, modificam a estrutura cognitiva do indivíduo.

## **A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA**

A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) (Souza, 2004) é uma teoria contextualista, construtivista, que estuda o processamento da informação da inteligência humana e visa proporcionar uma abordagem ampla para a cognição. Devido à expansão atual da era digital, a TMC busca explicar os impactos das tecnologias digitais no pensamento humano, apresentando uma visão da cognição como um fenômeno de processamento de informações, onde uma boa parte do processamento é feita fora do cérebro. Considera-se uma aplicação importante da TMC a sua compreensão das mudanças individuais ou coletivas, associadas à introdução das tecnologias como ferramentas externas ao pensamento dos indivíduos.

A elaboração e execução de uma tarefa mental por parte da espécie humana incorporam mecanismos subjacentes como armazenamento e manipulação de dados, esses processos, que são levados em consideração pela TMC, ocupam um “espaço” na memória humana. Neste tocante, Souza (2004) cita diversos autores (Miller, 1956; Merkle, 1989; Ward, 1997; Lloyd, 2002; White, 2003) ao sugerir que o cérebro e os órgãos sensoriais não são poderosos o suficiente para dar conta dos fenômenos cognitivos observados na espécie humana, propondo que “[...] o equipamento cerebral humano não pode ser o suficiente para, por conta própria, fornecer o imenso poder computacional que seria necessário para assegurar a sobrevivência e o bem estar da espécie humana” (Souza, 2004, p.50).

Ainda tratando da capacidade da memória humana, a TMC considera que as atividades mentais realizadas com o auxílio de ferramentas externas “liberariam” a memória para a realização de outras atividades. Um exemplo que afeta atualmente muitas pessoas, relacionado à “liberação de memória” através de ferramentas externas, é o de que, há alguns anos, armazenavam-se, em memória, vários números de telefones. Hoje, com a utilização da agenda do aparelho de telefone celular, que passa a ser um mecanismo externo, armazena-se uma quantidade menor de números telefônicos. Portanto, pode-se considerar a ocorrência de uma melhoria cognitiva obtida através de agentes externos.

Diante desse cenário, a TMC parte dos princípios de que cognição humana depende fundamentalmente do processamento de informações, e que o cérebro humano isolado se apresenta como insuficiente para explicar a maior parte do desempenho cognitivo, com os quais, pode-se concluir que outros mecanismos de processamento de informação estão envolvidos.

Sendo assim, a TMC apresenta a Mediação e o Processamento Extracerebral de Informações como mecanismos que auxiliam no processamento cognitivo. A partir dessa ideia principal, o autor constrói um conjunto de conceitos, dentro do seu proposto referencial teórico, dos quais nos chamam atenção os “mecanismos externos de mediação” e os “mecanismos internos de mediação”, buscando trazer uma perspectiva diferenciada no que se refere a considerar a chamada cognição externa (ao cérebro). Pode-se, aqui, citar o fato do uso de dispositivos eletrônicos – computadores, tablets e smartphones – se dar por um processo de mediação. Então, é possível inferir que esses dispositivos se tornem mecanismos externos de mediação e que os mecanismos internos são construídos com o passar do tempo e com a necessidade de aquisição de novas competências para o uso desses dispositivos.

“O processo pelo qual os seres humanos dependem de estruturas externas, a fim de complementar o processamento de informações feito por seus cérebros (cognição extracerebral) é chamado pela TMC de Mediação” (Souza et al., 2012, p.2, tradução nossa). A figura 1 apresenta uma síntese de como ocorre o processamento cognitivo através de estruturas do ambiente, responsáveis por fornecerem uma capacidade adicional de processamento de informações.

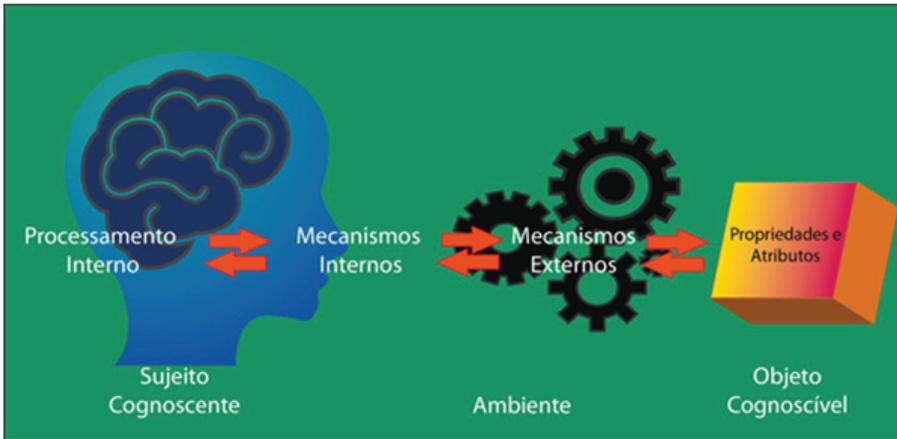


Figura 1. Processamento cognitivo por mediação externa (Adaptado de Souza, 2004).

Nesse sentido, utiliza-se o processamento externo por meio da interação com estruturas do ambiente para aumentar a capacidade de processamento de informações. Por exemplo, quando um computador é utilizado para processar informações, ou mesmo realizar um cálculo mais complexo, se está recorrendo a um mecanismo externo de mediação. Para tanto, necessita-se construir alguns mecanismos internos que possibilitem manusear esse computador e compreender não somente o seu processamento, mas também as informações que ele está oferecendo.

A estrutura fundamental da Mediação Cognitiva consiste no conjunto individual de mecanismos internos, o qual torna possível a conexão de estruturas externas como auxiliares de dispositivos de processamento de informações. Sendo que, de acordo com Souza (2004, p.65), “[...] tais elementos [extracerebrais] só poderão efetivamente ser de utilidade para um indivíduo, se este dispuser de uma forma de interagir eficazmente com eles, segundo a necessidade e de modo adequado” com dispositivos existentes na estrutura intracerebral que permitam traduzir as entradas, as saídas e o processamento entre eles. Em resumo, são os drivers que possibilitam a mediação com estruturas do ambiente.

Quando se leva em consideração todos os fatores mencionados, surge uma visão da cognição humana como sendo um conjunto sofisticado de mecanismos internos e externos de processamento de informações que, juntos, formam um complexo sistema organizado.

## OS MODELOS CIENTÍFICOS DE MÁRIO BUNGE

Na aceção das ideias de Bunge, a melhor compreensão do mundo ocorre na medida em que o ser humano se movimenta em direção a construção de conhecimentos teóricos. Nesta razão, a Ciência se apresenta como importante responsável por subsidiar

os conhecimentos teóricos necessários para o entendimento do mundo em toda a sua diversidade. Desta forma, a realidade simplesmente observada e percebida pelos nossos sentidos não pode ser satisfatoriamente compreendida, tal assimilação e apropriação do mecanicismo dos fenômenos naturais só podem ser alcançadas com o enriquecimento de conhecimento teórico.

De acordo com Bunge (1974) a compreensão conceitual da realidade pelo ser humano inicia com idealizações e caracterizações de sujeitos, ou seja, verificam-se atributos comuns de determinados sistemas, que culminam em agrupamentos de diferentes classes de equivalência, promovendo, assim, a construção de um objeto-modelo (ou modelo conceitual) de uma coisa, fato ou fenômeno.

Os objetos-modelos são descritos por imagens conceituais, representando simbolicamente os elementos presentes em um sistema real que se busca analisar sob a perspectiva de uma teoria mais ampla (ou geral). Seguindo esse contexto, o objeto-modelo é exposto por Bunge (1974, p.22) como “uma representação de um objeto: ora perceptível, ora imperceptível, sempre esquemático e, ao menos em parte, convencional”. Sendo que, o sistema representado pode ser uma coisa, um fato ou um evento/fenômeno, podendo ser encarados como equivalentes, mesmo que difiram entre si.

Ainda que atingindo um alto grau de realidade, os objetos-modelos não alcançam uma operacionalização que vá além da atribuição de propriedades e semelhanças dos sistemas. Para que isso aconteça, eles devem ser incorporados a um corpo de ideias pertencentes a um eixo central, no qual possam ser estabelecidas relações dedutivas. Bunge (1974) sinaliza que é preciso tecer uma trama de fórmulas em torno de cada objeto-modelo, mantendo uma coerência junto ao corpo de ideias, possibilitando a constituição de um modelo teórico (ou teoria específica), sendo este o responsável por aproximar/encaixar o objeto-modelo à teoria geral.

Aumentando a capacidade de interpretação da realidade, o modelo teórico passa a representar o comportamento dos objetos-modelos, que, por sua vez, descrevem os objetos reais. O modelo teórico é um sistema hipotético-dedutivo constituído em torno do objeto-modelo, produz proposições a partir de asserções iniciais sobre o real. Novas situações podem ser interpretadas, além das quais os modelos teóricos foram inicialmente construídos, isto é, novas condições de contorno podem ser testadas, expondo as propriedades e comportamentos dos objetos-modelos englobados (Bunge, 1974).

Suscetíveis a verificabilidade, os modelos-teóricos, segundo Bunge (1974), são submetidos a provas empíricas, podendo esses serem refutados ou modificados buscando a interpretação e o conhecimento de um objeto/situação concreto, sugerindo novas ideias de alterações que devem ser introduzidas para tornar o modelo mais realista. Por conseguinte, as teorias gerais não são testadas empiricamente, permanecem incomprováveis.

A teoria geral pode contemplar qualquer aspecto da realidade, desde que siga o processo de teorização, no qual objetos conceituais agregam-se às teorias, e como produto apresentam representações do mundo, em outras palavras, fornecem os modelos teóricos que figuram a realidade. Assim, os modelos são construídos na necessidade do

estabelecimento de relações entre as teorias e os dados empíricos. Pietrocola (1999) ressalta que, na perspectiva de Bunge, no contexto científico, as teorias por si só não são suficientes, pois sendo abstrações realizadas pela razão e intuição dos indivíduos, não se aplicariam a priori às coisas reais. Em contrapartida, os dados empíricos estão mais próximos da realidade, mas sozinhos não têm a capacidade de gerar conhecimento. “Desta aparente dicotomia entre teórico e empírico, é introduzida a modelização como instância mediadora” (Pietrocola, 1999, p.222).

Por todas essas dimensões, Bunge assume que o método efetivo para apreender a realidade pelo pensamento é a modelização, ou seja, é o processo de “converter coisas concretas em imagens conceituais (objetos-modelos) cada vez mais ricas e expandi-las em modelos teóricos progressivamente complexos e cada vez mais fiéis aos fatos” (Bunge, 1974, p.30). Sendo assim, Pietrocola (1999) sinaliza que, para Bunge, os modelos são concebidos como a essência do próprio trabalho científico.

A possibilidade de incorporar o método da modelização no ensino de Física oportuniza a condução de atividades em que os alunos possam interpretar a realidade e representá-la a partir de teorias gerais. Cupani e Pietrocola (2002) aduzem que durante décadas críticas são realizadas pelos estudantes aos professores, alegando que não vêem utilidade naquilo que lhes é ensinado, sendo assim, os autores apontam que parte destas críticas poderiam ser minimizadas caso os conteúdos da ciência fossem apresentados como forma de produzir e validar modelos para explicar porções do mundo. “As teorias vistas com esta possibilidade modelizadora permitem apontar caminhos para a construção de representações não arbitrárias do mundo, de onde explicações podem ser produzidas” (Cupani & Pietrocola, 2002, p.121).

Seguindo os pressupostos conceituais acerca dos modelos científicos, buscamos em nosso trabalho desenvolver uma proposta em que os estudantes, após realizarem atividades guiadas com *softwares*, assistissem a um seminário em que as quatro principais interpretações da MQ fossem estudadas de acordo com as suas explicações para os resultados do experimento da dupla fenda. Para tanto, utilizamos como principal material de apoio os trabalhos de Pessoa Jr (1997, 2006 e 2008).

As interpretações foram estudadas com a pretensão de estabelecer os modelos teóricos possíveis para o entendimento dos resultados obtidos nas diferentes configurações do experimento. Esta abordagem visou elucidar aos alunos para que, quando questionados acerca de suas interpretações para os resultados do IMZ, pudessem desenvolver mecanismos que facilitem seu entendimento, ou seja, a construção de modelos-teóricos que possam contribuir para o estabelecimento do estudante em uma das interpretações da MQ.

As representações que descrevem o elétron ao longo do *setup* experimental idealizam um elemento que não pode ser observado diretamente, sob tal esquétipo constitui-se o modelo teórico, produzindo proposições e explicações acerca do comportamento do objeto-modelo. Em síntese, a teoria é capaz de fornecer a explicação de um objeto-modelo, produzindo um modelo teórico da situação enfocada.

## DELINEAMENTOS METODOLÓGICOS

Nas atividades desta proposta, toma-se o ser humano como o foco principal do estudo, devido à intenção de verificar na estrutura cognitiva do estudante quais representações e *drivers* são adquiridos e/ou modificados durante as ações mediadas. Portanto, buscou-se utilizar métodos qualitativos para obter e analisar os dados da investigação (Erickson, 1986).

As atividades da pesquisa foram desenvolvidas em horário extraclasse, no semestre letivo de 2017/2, com uma amostra de dois estudantes que cursavam a fase final do curso de Licenciatura em Física. O desenvolvimento da atividade será apresentado em cinco etapas, sendo elas:

**1) Pré-teste individual:** No primeiro momento, um pré-teste<sup>2</sup> foi construído e validado pelos autores e, posteriormente, aplicado aos estudantes. O teste consiste em nove questões, sendo seis questões abertas e três fechadas. O objetivo desse instrumento é verificar, antes de qualquer intervenção hipercultural (proposta pela pesquisa), os conhecimentos dos alunos sobre conceitos que os possam levar a uma interpretação privada na explicação do comportamento dual da matéria e da radiação eletromagnética.

**2) Atividade individual com dois softwares computacionais:** Nesta fase, foi entregue aos alunos um roteiro de atividades para conduzir a utilização dos dois softwares propostos. Os simuladores foram empregados segundo a abordagem P.O.E. (*predict-observe-explain*),<sup>3</sup> na qual os estudantes são chamados a prever o comportamento de uma situação-problema, ou de um experimento, observar a simulação e, após essas etapas, explicar possíveis diferenças entre suas concepções e o observado (Tao & Gunstone, 1999). É durante esse estágio, que teve duração de seis horas/aula, que acreditamos ocorrer a possível internalização dos drives intrínsecos às representações computacionais. O software A – Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (Fig. 2-I) – permite ao usuário observar o fenômeno de interferência produzido por um feixe de luz por fótons individuais. O software B – Fenda Dupla de Young (Fig. 2-II) – permite observar o comportamento de objetos clássicos e quânticos ao passarem por fendas estreitas e muito próximas.

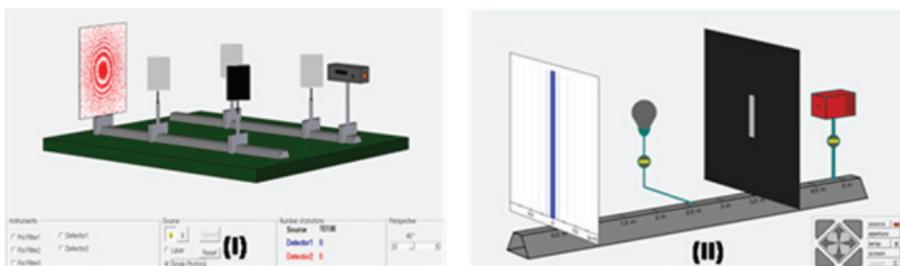


Figura 2. (I) Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (II) Arranjo experimental virtual da Fenda Dupla de Young.

<sup>2</sup> Disponível para visualização em <https://goo.gl/Hmp9sU>.

<sup>3</sup> Os guias das atividades estão disponíveis em <https://goo.gl/wvHD8w>.

**3) Seminário abordando as interpretações:** Neste momento, os alunos assistiram a um seminário em que as quatro principais interpretações da MQ foram apresentadas de acordo com as suas explicações para os resultados possíveis no arranjo experimental da dupla fenda. O material foi elaborado por meio de uma adaptação dos conceitos apresentados na linha de trabalhos de Pessoa Jr. Buscamos fornecer representações que idealizassem o comportamento do objeto quântico em virtude das diferentes interpretações reconhecidas. Nosso trabalho fundamenta-se nas ideias de Bunge para os modelos científicos, desta forma, retratamos os objetos-modelos, relacionando-os com o modelo teórico que prevê o seu comportamento, isso tudo dentro de uma teoria mais ampla.

**4) Pós-teste individual:** Uma semana após o término da apresentação das interpretações, foi aplicado aos alunos o pós-teste<sup>4</sup>, contendo um total de doze questões, sendo elas abertas e fechadas, referentes ao mesmo conteúdo abordado no pré-teste, ou seja, o comportamento dual da matéria e da radiação eletromagnética.

**5) Entrevista individual do pós-teste:** Esta etapa consiste em entrevistas realizadas individualmente com os alunos, tendo como pauta as questões e as respostas do pós-teste, com o objetivo principal de proporcionar a explicação do aluno para as suas resoluções das questões, verificando, assim, quais os processos de pensamento que foram desencadeados na resolução do problema apresentado. As entrevistas foram conduzidas por uma adaptação da técnica “*Think Aloud*” (Van-Someren, Barnard, & Sandberg, 1994), o protocolo “*Report Aloud*” (Ramos, 2015). A diferença entre os métodos é que no “*Think Aloud*” o entrevistador e o entrevistado mantêm constante diálogo a respeito do que o entrevistado está pensando durante a execução de uma tarefa, ou seja, enquanto o estudante responde o questionário, ele pensa em voz alta. Já, no “*Report Aloud*”, o estudante reporta ao entrevistador o seu processo de pensamento enquanto estava respondendo às questões, ou seja, o estudante resolve as questões e só depois, ao finalizá-las, reporta o seu processo de pensamento.

Após a realização de todas as entrevistas, a etapa seguinte passa a ser a análise dos dados. Para tanto, todas as entrevistas foram transcritas (sic) e os demais instrumentos de produção de dados foram organizados.

O movimento de análise dirige-se à identificação das interpretações privadas dos licenciandos em física acerca dos conceitos fundamentais da MQ. Para isso, foram explorados os registros existentes nos instrumentos de produção de dados, sendo eles: questionários caracterizados como pré-teste e pós-teste, guias para condução de atividades com os *softwares*, imagens e áudios de vídeo das entrevistas semiestruturadas.

A linguagem verbal, presente nas transcrições das entrevistas, e a linguagem escrita, presente nos pré-testes, pós-testes e guias de atividade, foram apreciadas com base na análise textual discursiva de Moraes e Galiuzzi (2007). Por sua vez, a linguagem não verbal foi analisada a partir da adaptação da metodologia oferecida pela linha de trabalhos de Monaghan e Clement (1999) e Stephens e Clement (2010). Caracterizada por meio

---

<sup>4</sup> Disponível para visualização em <https://goo.gl/xWTU8M>.

de gestos descritivos realizados pelos estudantes durante as entrevistas, a metodologia de análise gestual sugere o estabelecimento de uma relação entre representações mentais presentes na estrutura cognitiva do aluno e gestos realizados pelo mesmo.

Diante disso, confiamos na possibilidade de se obter o conhecimento implícito do aluno inerente às suas visualizações internas (simulação mental do raciocínio). Portanto, os gestos podem auxiliar na transmissão de informação sempre que houver dificuldade de expressão verbal, ou seja, podem-se extrair do estudante seus *drivers* internalizados. Acreditamos ainda que esses *drivers* dependem diretamente dos tipos de mediações utilizadas para resolver uma situação-problema.

Neste tocante, conectamos a TMC ao processo investigativo, vinculando a argumentação apresentada pelo estudante ao longo dos questionamentos, com os possíveis mecanismos externos utilizados em situações mediadoras anteriores, com o objetivo de inferir as formas de mediação que mais contribuíram conceitualmente para a construção de sua atual interpretação a respeito da dualidade onda-partícula. Sobretudo, buscamos analisar as possíveis alterações conceituais ocorridas após a realização das atividades compostas pela utilização dos *softwares*, que reproduzem o arranjo experimental da dupla fenda e o IMZ, e pela observação de representações macroscópicas adaptadas para retratar as explicações, com inclinações filosóficas de cada uma das quatro principais interpretações para os resultados da dupla fenda.

A seguir, apresentaremos os resultados de dois estudantes que participaram de todas as etapas da pesquisa. Na exposição dos resultados, não utilizaremos os nomes dos alunos, os mesmos passarão a ser chamados de “Aluno”, seguido de um número, como, por exemplo, “Aluno 1”.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O primeiro encadeamento da análise está direcionado à visão dos alunos a respeito da caracterização e comportamento dos objetos quânticos – fótons e elétrons. Verificamos, por meio do discurso verbal e gestual, que o Aluno 1 imagina o elétron como sendo uma esfera “*geralmente azulada*” (Fig. 3-I), já o fóton é imaginado “*tipo uma setinha*” (Fig. 3-II).

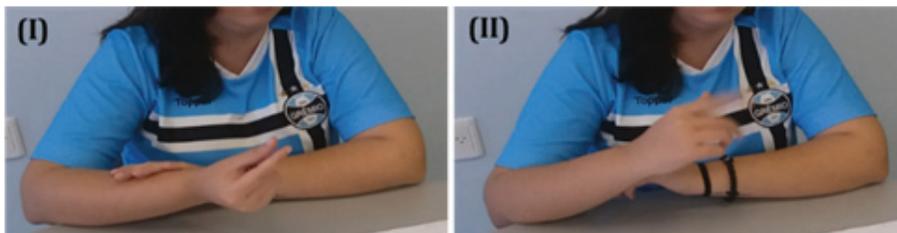


Figura 3. (I) Dedos polegar e indicador simulando uma esfera pequena. (II) Dedo indicador realizando um movimento senoidal.

De acordo com o aluno, a representação para o elétron surge pelo seu contato com livros de física e química do ensino fundamental, caracterizando, assim, uma mediação cultural. Já a visualização do fóton deve-se à sua interação com um *software* computacional<sup>5</sup> (Fig. 4), durante uma de suas atividades desempenhadas no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), configurando, portanto, uma mediação hipercultural.

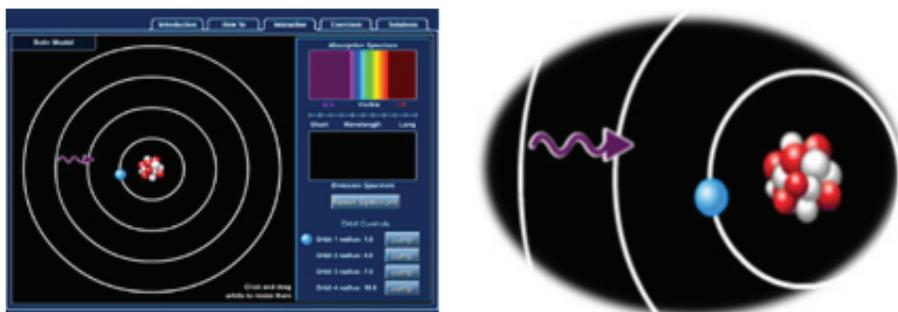


Figura 4. Simulação computacional mencionada pelo Aluno 1.

Para o Aluno 2, o elétron também é imaginado como sendo uma pequena esfera dotada de carga elétrica, e que esta representação foi extraída do contato com livros didáticos e em uma simulação computacional interativa<sup>6</sup> (Fig. 5). Desta forma, podemos considerar a ocorrência de mediação cultural e hipercultural como responsáveis pela imagem mental construída sobre o elétron isolado.

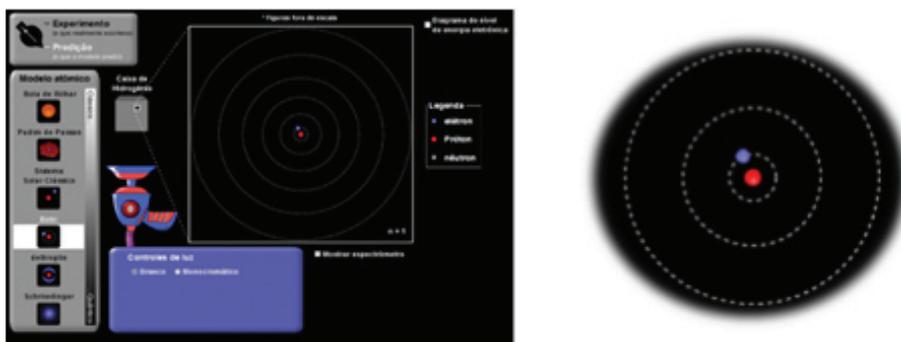


Figura 5. Simulação computacional mencionada pelo Aluno 2.

Para o fóton, o aluno imagina uma imagem semelhante a do elétron, “*como se fosse uma partícula*” (Fig. 6-I), ainda complementa sua visão do objeto quântico comentando

<sup>5</sup> Disponível gratuitamente em <https://goo.gl/XnDHTk>. Acesso em: 06 jun. 2018.

<sup>6</sup> Disponível gratuitamente em <https://goo.gl/7dXyS9>. Acesso em: 06 jun. 2018.

que também pensa no fóton com uma onda associada “*tem uma ilustração que aparece uma onda e nessa onda tem um, não sei se é um barquinho, algum objeto associado a onda*” (Fig. 6-II) esta ilustração foi vista pelo aluno na internet, em imagens utilizadas para explicar o efeito fotoelétrico.

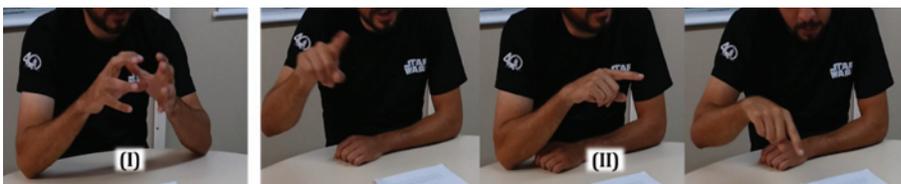


Figura 6. (I) Representação de uma partícula esférica. (II) Aluno movendo o seu indicador em movimentos senoidais.

Na sequência, direcionamos a análise para as interpretações adotadas pelos alunos em suas previsões e explicações para os resultados apresentados no arranjo experimental da dupla fenda em regime quântico, com a fonte emitindo elétrons individuais.

O Aluno 1 aponta como resultado uma imagem composta por franjas claras e escuras, justificando a sua resposta, comenta: “*Ele (o elétron) se comporta como onda, nesta questão, por causa da interferência que ele vai ocasionar*”. Seguindo o protocolo *report aloud*, o aluno é motivado a expor seu raciocínio, assim ele completa:

**Aluno 1:** Ele [elétron] escolhe, digamos assim, uma das fendas... E passando nas fendas ele tem um comportamento, antes, até mesmo antes de passar na fenda ele tem um comportamento ondulatório. Ele passa uma das fendas e por consequência ele acaba marcando um ponto de ondas construtivas, digamos assim, no anteparo.

**Pesquisador:** [...] O elétron saiu da fonte, tu imaginas ele com algum formato?

**Aluno 1:** Ainda com a ideia de esfera com um comportamento de onda.

**Pesquisador:** Só o comportamento?

**Aluno 1:** Só o comportamento.

**Pesquisador:** [...] Daí ele chega nas duas fendas e o que acontece com ele?

**Aluno 1:** Ele escolhe uma delas.

**Pesquisador:** escolhe uma delas, passou... e quando ele chega no anteparo?

**Aluno 1:** Tem a questão das ondas construtivas e destrutivas, né. A questão do comportamento...

Diante deste excerto, podemos verificar que o Aluno 1 permanece com uma imagem mental do elétron em formato esférico ao longo de todo *setup* experimental, mas o confere um comportamento ondulatório em sua resposta. Consideramos, assim, a possibilidade da utilização, em certo plano, da lógica quântica, tendo em vista que o

aluno precisa corretamente a resposta, mas demonstra dificuldades em explicar o padrão de interferência. O *driver* utilizado pelo aluno para responder ao problema enfrentado não se modifica o suficiente para estabelecer justificativas ao fenômeno observado, pois permanece considerando o objeto quântico imaginado como sendo um corpúsculo clássico e indivisível, em todo percurso da experimentação e, ainda assim, a ele é fadado um comportamento ondulatório.

Já o Aluno 2, indagado sobre o mesmo questionamento, demonstra estar com dúvida em duas respostas possíveis, sendo uma representada por pontos claros em todas as regiões do anteparo sem nenhum formato específico (padrão corpuscular) e a outra em que há a formação de um padrão característico de interferência.

Para justificar a sua possível escolha pela figura de interferência, o estudante se diz inspirado com a resposta para o arranjo experimental da dupla fenda com a fonte, emitindo um feixe de luz, ainda explica “*ele [elétron], apesar de ser um por vez, manteria seu mesmo comportamento ondulatório, sofreria ali difração*”. Em seguida, no entanto, o aluno, quando incentivado a expressar sua imaginação acerca do comportamento do objeto quântico, sugere imaginar uma partícula sendo emitida pela fonte “*como se fosse uma partícula no ar oscilando*”.

Considerando as discordâncias nas explicações fornecidas para o resultado do experimento, podemos aferir que os *drivers* compostos por noções corpusculares sofrem resistência para se modificarem. Outro ponto que corrobora essa dificuldade de adoção para uma linha interpretativa que justifique os resultados obtidos no anteparo pode ser observado no seguinte excerto.

**Pesquisador:** Aí, chega na frente das duas fendas, tu achas que acontece o quê?

**Aluno 2:** Em uma delas ele vai passar.

**Aluno 2:** É, ou ele bate e é refletido. Eu imagino que nem todos saiam com o mesmo padrão...

**Pesquisador:** Entendi.

**Aluno 2:** Nem todos vão sair para o mesmo lado, enfim. Então eu me levo a pensar que ele manteria o mesmo padrão [interferência], só que levaria mais tempo para ter esse formato. Mas também não tenho certeza, porque falta interação entre os outros. Isso me leva a imaginar que a não formação da interferência também é uma alternativa possível.

Vemos que surgem dúvidas quanto ao padrão formado no anteparo, ocorrem divergências entre o conhecimento teórico (na forma de uma representação proposicional) para o resultado acerca da configuração clássica da dupla fenda, e a formulação imagística para entender e explicar os “resultados ondulatórios” no regime quântico.

Neste segmento, o aluno apresenta dúvidas no padrão a ser formado no anteparo, a sua hesitação inicial em apontar um padrão de interferência como resultado se deve

aparentemente a sua dificuldade em observar um comportamento ondulatório para suas imagens mentais, corpusculares, a respeito do elétron. Em sua carga cultural, o aluno reconhece proposições fundamentais da dualidade onda-partícula e tenta implantar nas suas representações analógicas, contudo, a imagem corpuscular para o elétron, que se destaca no momento da construção de significados e compreensão do fenômeno.

Diante das argumentações utilizadas pelos Alunos 1 e 2, reconhecemos a tentativa de utilização simultânea das representações mentais proposicionais e analógicas, provocando, assim, uma dissonância, uma espécie de tensão no diálogo e interligação entre ambas. As proposicionais inclinam-se ao comportamento ondulatório, buscando conferir sentenças características como, *“ele (o elétron) se comporta como onda, nesta questão, por causa da interferência que ele vai ocasionar”* (Aluno 1), para defender o padrão de interferência formado no anteparo. Já as analógicas estão presentes e aproximam-se do comportamento corpuscular, pois o aluno aceita o padrão de interferência, mas continua possuindo a imagem (clássica) de esfera para o elétron, durante todo o arranjo da dupla fenda.

Na perspectiva de Johnson-Laird (1983) sobre modelos mentais e nas ideias apontadas no trabalho de Dias e Meneses (1993), as representações mentais do conhecimento, construídas pelos sujeitos, podem ser híbridas, ou seja, capazes de incorporar proposições e imagens mentais durante a compreensão de um fenômeno. Uma das dificuldades no aprendizado conceitual da MQ, acreditamos, é que o estudante possui uma compreensão de informações de natureza proposicional, e não consegue estabelecer uma associação com as representações analógicas vivenciadas ao longo de sua trajetória acadêmica e consolidada na sua estrutura cognitiva.

Esse não estabelecimento de relação e diálogo entre as representações mentais possivelmente não condiz com um obstáculo epistemológico do ponto de vista Bachelardiano, mas, sim, de acordo com a nossa percepção, configura-se, de fato, em um obstáculo representacional. Neste tocante, consideramos que, no ensino conceitual de tópicos centrais da MQ, como é a dualidade onda-partícula, as representações mentais sejam manipuladas em consonância, tomando como objetivo o despertar da consciência do estudante, para que o mesmo utilize representações analógicas que dialoguem com as proposicionais, facilitando o próprio entendimento da essência interpretativa dos fenômenos observados.

Dando continuidade ao processo de apresentação e análise dos resultados, serão avaliadas as interpretações dos alunos para os resultados do IMZ em regime monofotônico, no qual a fonte emissora opera por algumas horas, estando regulada para emitir apenas um fóton por vez, ou seja, um segundo fóton só será lançado quando o anterior já tiver chegado ao anteparo. Para esta configuração experimental, o Aluno 1 ilustrou como resposta uma figura retangular e central a ser formada no anteparo de visualização, reconhecendo ter imaginado um comportamento corpuscular para os fótons.

O raciocínio desenvolvido para solucionar o problema pode ser melhor entendido com o seguinte excerto

**Aluno 1:** Sai da fonte um fóton, ele se divide (Fig. 7-I) e no fim ele se une (Fig. 7-II) formando uma única partícula. Daí desta forma ele fica no centro mesmo, no centro não, mas onde tá posicionado o feixe do espelho. Na reta do espelho.

**Pesquisador:** [...] e quando ele sai daqui tu imaginas ele com que formato, antes de passar no primeiro espelho?

**Aluno 1:** Continuo achando ele uma esfera.

**Pesquisador:** Uma esfera. Ai ele passa...

**Aluno 1:** Se dividindo em tamanho menor (Fig. 7-III), no caso divide aquele tamanho.



Figura 7. (I) Divisão do fóton em duas partes. (II) União das duas partes do fóton. (III) Duas esferas menores, resultantes da divisão de uma esfera maior – o fóton.

A linguagem verbal e gestual expressada reforça as inclinações para a adoção da interpretação corpuscular ao explicar o comportamento do fóton no *setup* experimental. O aluno não desassocia a representação do corpúsculo clássico para o objeto quântico. Neste caso, o fóton é imaginado dividindo-se em duas esferas menores, diferentemente da explicação usada para os resultados da dupla fenda. Desta forma, verificamos uma mudança no *driver* do aluno em sua modelização para buscar explicações ao problema proposto.

Essa alteração no *driver* e a construção do modelo provêm, de acordo com o aluno, de sua interação com as bancadas virtuais e as representações das interpretações para a dupla fenda, “*pensei tentando associar o que a gente fez nos dois, da simulação, tentei alguma (explicação)...*”. No entanto, o padrão desenhado não condiz com o resultado apresentado pelo *software*. Mesmo que ele tenha citado as atividades hiperculturais como auxiliares, podemos verificar que as mediações realizadas, neste caso, não proporcionaram uma compreensão correta acerca do resultado empírico. Neste caso, observamos o uso de representações analógicas no depoimento do Aluno 1. A linguagem gestual remete diretamente à sua imagem mental que está vinculada ao comportamento corpuscular para o fóton ao longo do IMZ.

Ao ser questionado sobre o mesmo arranjo experimental, o Aluno 2 optou por desenhar um “*padrão de difração, com a maior incidência no centro e tem franjas claras e escuras expandindo né, até a periferia*” (Fig. 8-I). Esta escolha baseou-se na sua interação com o experimento virtual (Fig. 8-II), juntamente com a associação de uma imagem observada no momento de um experimento realizado ao longo da graduação em que verifica o ponto de Fresnel (Fig. 8-III) com o auxílio de um laser e um alfinete.

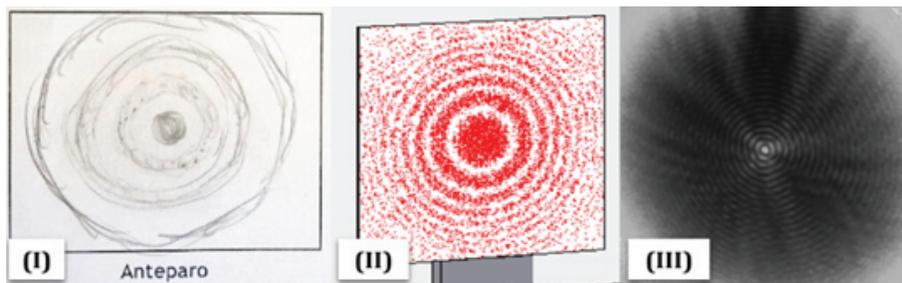


Figura 8. (I) Figura desenhada no pós-teste. (II) Padrão apresentado no **software**. (III) Imagem representando o ponto de Fresnel.

Quando indagado a explicar o motivo da formação desse padrão, o aluno afirma imaginar o fóton em forma de corpúsculo com uma onda associada, se dividindo em dois ao passar pelo primeiro espelho semirrefletor, “*duas esferas menores e com suas ondas associadas, às vezes em fase ou fora de fase né*”. Mas, ao chegar ao segundo espelho semirrefletor, o aluno afirma não saber quais são os fatores responsáveis pela ocorrência do padrão de interferência, como pode ser observado no seguinte trecho da entrevista:

**Pesquisador:** Para formar o padrão de interferência, tu imaginas essa divisão?

**Aluno 2:** Sim. Aí eu imagino... Não consigo imaginar o que aconteceu aqui [segundo espelho semi refletor] exatamente para formar este padrão. Isso aqui veio pela lembrança que eu tive do experimento [IMZ].

**Pesquisador:** E tu falaste desta divisão, tu a observaste onde?

**Aluno 2:** Eu li uma reportagem que tinha na “Superinteressante” que era a Gata de Schrödinger, é uma brasileira que fez um experimento lá, ela colocou uma imagem em um tela, aí era dividido o feixe, uma parte do feixe passava por esta tela que tinha a imagem de um gato e a outro ia para o espelho refletor e ia para o anteparo.

A imagem mental na qual o fóton se divide é resultante da leitura acerca das imagens e descrição do experimento apelidado de Gata de Schrödinger, que, acessado virtualmente, pode enquadrar-se em uma mediação hipercultural com influências sociais e culturais. No entanto, devido a sua resistência em alterar os *drivers* clássicos para representação do objeto quântico, o aluno acaba não o imaginando com características ondulatórias,

dificultando a sua suposição para determinar os possíveis agentes responsáveis pelo surgimento das franjas claras e escuras no anteparo. Uma vez que a imagem do resultado, por si só, é conhecida devido à interação com a bancada virtual, sendo a consequência de uma mediação hipercultural, na qual existe uma lacuna interpretativa acerca do comportamento quântico. Esperávamos, aqui, que o aluno modelasse a situação, e, baseado nas interpretações, preenchesse esse hiato conceitual com determinados conceitos e representações que mais lhe convencessem a “aceitar” o resultado experimental.

Tendo em vista o núcleo de pensamentos externalizados ao longo das explicações, identificamos importantes evidências que caracterizam uma postura filosófica realista adotada pelo Aluno 1 diante das situações-problemas propostas. Interpretando os resultados da dupla fenda em regime quântico, o aluno utiliza uma imagem mental em que o elétron é considerado um corpúsculo em toda experimentação. Mesmo prevendo o padrão de interferência (resposta mecânica), o aluno resiste na modificação de seu *driver*, isto é, ontologicamente o elétron permanece sendo considerado um corpúsculo, ainda que forme um padrão de interferência no anteparo.

A previsão do Aluno 1 para os resultados do IMZ reforça a constatação da postura realista clássica em seus argumentos. Ao longo do arranjo experimental, o fóton é imaginado como um corpúsculo em formato esférico, que, ao encontrar um espelho semirrefletor, se divide em duas esferas menores. As figuras desenhadas no anteparo também ilustram um comportamento corpuscular, com ausência de uma imagem de interferência. À vista destas considerações, podemos, de acordo com Montenegro e Pessoa Jr (2002), sinalizar uma interpretação Corpuscular (Realista) incipiente manifestada pelo Aluno 1, pois o mesmo julga entidades microscópicas (ou pelo menos as possuidoras de massa de repouso) como partículas, sem elementos consolidados a respeito do viés ondulatório.

Considerando o coletivo de ideias expressadas ao longo das interpretações acerca dos fenômenos propostos com as configurações sugeridas para as bancadas virtuais, reconhecemos importantes traços que também configuram uma postura realista do Aluno 2 acerca do comportamento dos objetos quânticos, a exemplo das inclinações adotadas pelo Aluno 1.

Tanto para o experimento da dupla fenda como para o IMZ, ambos em regime quântico, o licenciando adere a representações corpusculares para os fótons e elétrons, expondo dificuldades em compreender e explicar os padrões de interferência formados em situações específicas dos arranjos experimentais. Mesmo que as previsões para os resultados tenham sido consideradas corretas em sua maioria, a compreensão conceitual não manteve o mesmo êxito, tendo em vista as lacunas interpretativas presentes no discurso do aluno, como, por exemplo, a dicotomia entre respostas, caracterizando um comportamento ondulatório com a presença de um padrão de interferência, e a explicação, acenando para elementos imagísticos que constroem uma imagem corpuscular acerca da natureza do elétron/fóton. Sendo assim, frente ao exposto e em conformidade com as ideias de Montenegro e Pessoa Jr (2002), concebemos a interpretação Corpuscular

(Realista) como concepção mais influente manifestada pelo aluno, já que o mesmo adota como partículas as entidades quânticas em seus processos mentais de raciocínio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta investigação, buscamos examinar o desenvolvimento de um delineamento teórico-metodológico com o objetivo de entender como as mediações compostas por bancadas virtuais e *storyboards* com representações e *drivers* microscópicos específicos podem auxiliar os licenciandos em Física a desenvolverem seu raciocínio, seguindo uma determinada corrente interpretativa. Desta forma, durante o movimento de análise, procuramos elucidar as influências do processamento externo, advindos das mediações nas interpretações privadas e representações mentais externalizadas pelos alunos.

Considerando os resultados obtidos, verificamos que ambos os estudantes apresentaram uma postura realista clássica ao longo de suas explicações para os resultados da dupla fenda e do IMZ em regime quântico. Os resultados previstos pelos alunos geralmente eram considerados certos e confirmados experimentalmente, no entanto, os seus raciocínios não confirmavam o êxito da compreensão fenomenológica. Por exemplo, os padrões de interferência previstos para elétrons e fótons individuais, na ausência de detectores, não eram explicados comodamente, devido a interpretação corpuscular intrínseca adotada pelos alunos.

As bancadas virtuais e as interpretações com representações específicas para os resultados da dupla fenda contribuíram no quesito de previsibilidade de respostas dos alunos diante de cada configuração experimental. No entanto, em suas explicações prevaleceram as cargas culturais vivenciadas, as representações das quatro principais interpretações não foram mencionadas explicitamente nos momentos direcionados à análise da dupla fenda.

Em relação à compreensão conceitual acerca dos resultados obtidos no IMZ, esperávamos que os alunos executassem uma modelização para entender e explicar os resultados experimentais. Essa modelização seria fundamentada em suas observações acerca das abordagens de cada uma das quatro principais interpretações da MQ. Ou seja, uma transposição das explicações da dupla fenda para as do IMZ. Contudo, os possíveis modelos teóricos direcionados à compreensão conceitual do IMZ foram construídos com base em situações vivenciadas ao longo de suas trajetórias acadêmicas, nas quais boa parte reforçam a postura clássica e realista.

Analisando as representações mentais utilizadas pelos dois alunos ao longo de suas respostas, percebemos significativas divergências entre as representações proposicionais e as analógicas. As dificuldades apresentadas ao longo das explicações evidenciavam a não concordância no uso das imagens mentais com as respectivas proposições, e, desta forma, não estabeleciam um diálogo, isto é, não convergiam para a compreensão dos resultados experimentais.

Podemos destacar que as imagens mentais, sobretudo as de origem clássica, se sobressaem no momento da interpretação e modelização, quando buscam a compreensão dos fenômenos da dualidade onda-partícula observados nas bancadas virtuais da dupla fenda e no IMZ. As representações proposicionais, na maioria das vezes com inclinações ondulatórias, surgiam no discurso do aluno à medida que as imagens mentais disponíveis em sua estrutura cognitiva não conseguiam se modificar a ponto de resolverem os problemas propostos. Há momentos, principalmente quando estimulados durante as entrevistas, que os estudantes tentam introduzir elementos de representações ondulatórias devido as suas representações proposicionais, contudo estes momentos são escassos.

Na perspectiva da Psicologia Cognitiva, as pessoas não compreendem o mundo diretamente, elas o percebem por meio da própria construção de representações mentais. Logo, as representações mentais, ou também chamadas de representações internas, são formas de “re-presentar” internamente o mundo externo (Moreira, 1996). À vista disso, reforçamos a importância da promoção de investigações que se dedicam à corrente interpretativa e representacional direcionada ao ensino e aprendizagem de tópicos de MQ, a fim de que se torne uma contribuição mais pertinente aos pesquisadores da área de Ensino de Ciências.

Por fim, entendemos que, no ensino de física, torna-se importante a preocupação em desenvolver metodologias e estratégias didáticas que deem ênfase à instrução conceitual e interpretativa dos fenômenos quânticos, principalmente em cursos de formação de professores, mas sem negligenciar os caminhos matemáticos básicos e necessários para a construção do formalismo quântico. Concordamos, portanto, com uma inversão de “prioridades” nos processos de ensino das disciplinas introdutórias de MQ, já que, de acordo com a literatura, grande parte dos cursos priorizam os algoritmos de resolução, deixando a riqueza dos fenômenos em segundo plano.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio no subsídio desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Bunge, M. (1974). *Teoria e Realidade*: editora Perspectiva S.A., São Paulo.
- Stephens, A. L. & Clement, J. J. (2010). Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020122.
- Cupani, A. O. & Pietrocola, M. (2002). A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19, 100-125.
- Dias, P. & Meneses, M. I. C. (1993). Problemática da representação em hipertexto. *Revista Portuguesa de Educação*, 6(3), 83-92.

- Erickson, F. (1986). Qualitative methods in research on teaching. In Wittrock, M.C. (Ed.). *Handbook of research on teaching*. New York: Macmillan Publishing. pp.119-161.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2008). *Lições de Física – The Feynman lecture on Physics* (Vol.3). Porto Alegre: Bookman.
- Freire Jr, O. & Pessoa Jr, O., & Bromberg, J. L. (2011). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. Campina Grande: EDUEPB.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Monaghan, J. M. & Clement, J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education*, 21(9), 921-944.
- Montenegro, R. L. & Pessoa Jr, O. (2002). Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do curso de física. *Investigações em ensino de ciências*, 7(2), 107-126.
- Moraes, R. & Galiazzi, M. C. (2007). *Análise Textual Discursiva*. Ijuí: Editora Unijuí.
- Moreira, M. A. (2002). *Investigación em Educación em Ciencias: Métodos Cualitativos*, Texto de Apoyo nº 14, Programa Internacional de Doctorado em Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Burgos, España.
- Moreira, M. A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em ensino de ciências*. Porto Alegre. 1(3), 193-232.
- Pessoa Jr, O. (2006). *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, v. 1.
- Pessoa Jr, O. (2008). *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, v. 2.
- Pessoa Jr, O. (1997). Interferometria, Interpretação e Intuição: uma Introdução Conceitual a Física Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 19(1).
- Pietrocola, M. (1999). Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, 4(3).
- Ramos, A. F. (2015). *Estudo do Processo de Internalização de Conceitos de Química Utilizando Software de Modelagem Molecular: Uma proposta para o ensino médio e superior*. 2015. 230 f. Tese (Doutorado – Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, Canoas.
- Santos, A. C. (2017). The IBM Quantum Computer and the IBM Quantum Experience. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(1).
- Souza, B. C. (2004). *A Teoria da Mediação Cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital*. 2004. 282 f. Tese (Doutorado – Curso de Psicologia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Souza, B. C., Da Silva, A. S., Da Silva, A. M., Roazzi, A., & da Silva Carrilho, S. L. (2012). Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. *Computers in human behavior*, 28(6), 2320-2330.
- Stephens, A. L. & Clement, J. J. (2010). Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students. *Physics Education Research*, 6(2).
- Tao, P. K. & Gunstone, R. F. (1999). A process of conceptual change in force and motion during computer-supported Physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 859-882.

Van-Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. C. (1994). *The Think Aloud Method: a practical guide to modeling cognitive processes*. Academic Press. London.

Westphal, M. & Pinheiro, T. C. (2004). A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o Ensino de Ciências. *Ciência & educação*, Bauru, 10(3), 585-596.