

A IMPORTÂNCIA DA MEDIAÇÃO CULTURAL NO APRENDIZADO DE CONCEITOS DA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA: uma análise sob perspectiva da TMC.

THE IMPORTANCE OF CULTURAL MEDIATION IN THE LEARNING OF CONCEPTS OF WAVE-PARTICLE DUALITY: an analysis under the perspective of CMT.

Robson Trevisan

Universidade Luterana do Brasil – ULBRA/Canoas
robsontrevi@gmail.com

Agostinho Serrano

Universidade Luterana do Brasil – ULBRA/Canoas
asandraden@gmail.com

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar a expressão dos mecanismos externos de mediação, na construção de conceitos fundamentais acerca da dualidade onda-partícula, por um aluno em fase final do curso de licenciatura em Física. O referencial teórico adotado para leitura dos dados foi a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), buscando explicar como a mediação e o processamento extracerebral modificam a estrutura cognitiva dos estudantes. Os resultados foram obtidos após as análises realizadas sobre os pré-testes, pós-testes e entrevista conduzida pelo método “*Report Aloud*”. Verificamos que as ferramentas hiperculturais utilizadas nas atividades se comportam como experimentos virtuais e, por não trazerem representações quânticas dos fenômenos, deixam uma lacuna representacional, que, quando preenchida por representações advindas de mediação cultural pode potencializar a compreensão de conceitos dos fenômenos quânticos.

Palavras chave: Teoria da Mediação Cognitiva, dualidade, mediação, licenciatura em Física.

Abstract

This paper aims to present the expression of the external mechanisms of mediation in the construction of fundamental concepts about wave-particle duality by a student in the final phase of the degree in Physics. The theoretical framework used to read the data was the Cognitive Mediation Theory (CMT), seeking to explain how mediation and extracerebral processing modify the students' cognitive structure. The results were obtained after the analyzes performed on the pre-tests, post-tests and interview conducted by the "Report Aloud" method. We verified that the hypercultural tools used in the activities behave like virtual experiments and, because they do not bring quantum representations of the

phenomena, they leave an interpretative gap, which, when filled by a cultural load can potentiate the conceptual understanding of the quantum phenomena.

Key words: Cognitive Mediation Theory, duality, mediation, degree in Physics.

Introdução

As experiências cotidianas e os cursos introdutórios da física clássica, promovem aos alunos perspectivas realistas compostas pela localidade e determinismo dos fenômenos da natureza. A partir deste cenário clássico, algumas grandezas físicas, como a posição e o momento de uma partícula, existem objetivamente e seus valores independem de observações experimentais (medidas) realizadas em outros sistemas isolados. Estes pressupostos são confirmados quando vinculados à medições realizadas no “mundo macroscópico”, no entanto, observa-se que o “mundo microscópico” resiste à estes pressupostos.

Formulada para explicar o comportamento do átomo, a Mecânica Quântica (MQ), também chamada de Física Quântica (FQ), ou, ainda, Teoria Quântica (TQ), tomou bases rigorosamente científicas no período compreendido pelo final do século XIX e início do século XX, levando os cientistas a impasses em relação às teorias bem estabelecidas na época, trazendo o indeterminismo, a probabilidade e a não-localidade para os fenômenos físicos. Juntamente com a Teoria da Relatividade de Einstein que modificou as ideias do espaço e tempo, a TQ “reescreve” toda a física.

Controvérsias e debates acalorados acabaram surgindo devido as inúmeras interpretações construídas para esclarecer os resultados oriundos dos experimentos quânticos, interpretações que foram sendo desenvolvidas à medida que os avanços teóricos foram sendo consolidados, e que perduram atualmente. Diante disso, pode-se destacar o tema da dualidade onda-partícula da matéria e da radiação eletromagnética. Esse tema proporcionou o aparecimento destas múltiplas interpretações como explicação para 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.

Contemplando o panorama apresentado, este trabalho busca apresentar uma relação entre a construção de conceitos da dualidade onda-partícula por um estudante de Licenciatura em Física e as mediações extracerebrais responsáveis pela compreensão deste conceito, após a realização de uma atividade interpretada à luz da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) (SOUZA, 2004), centrada na utilização de bancadas virtuais e conduzida por roteiros baseados no P.O.E (Predizer-Observar-Explicar) proposto por Wu et al. (2001).

A Teoria da Mediação Cognitiva

A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) é uma teoria contextualista e construtivista, fundamentada e relacionada com diferentes escolas de pensamento, representadas pelos seguintes autores: Jean Piaget, Gérard Vergnaud, Lev Semenovich Vygotsky e Robert Sternberg. Um desafio importante para a teoria é o de “[...] fornecer uma síntese teórica coerente de teorias psicológicas e estruturais que são geralmente vistas como separadas, ou mesmo em conflito umas com as outras, de modo a produzir um modelo unificado” (SOUZA, et al., 2012, p.2). 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 TMC considera que as atividades mentais realizadas com 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. 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).

“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). Essa mediação é composta e pode ser escrita através dos seguintes componentes:

Objeto: o item físico, conceito abstrato, problema, situação, e/ou relação a respeito da qual o indivíduo está tentando construir conhecimento.

Processamento Interno: a atividade cerebral fisiológica (sináptica, neural e endócrino) que executa as operações lógicas básicas individuais.

Mecanismos Internos: estrutura mental que gerencia algoritmos, códigos e dados que permitem a conexão, interação e integração entre o processamento interno do cérebro e do processamento extracerebral feito pelas estruturas no ambiente, trabalhando tanto como um “*driver de hardware*” como um “protocolo de rede”.

Mecanismos Externos: podem ser de vários tipos e capacidades, que vão desde simples objetos físicos (dedos, pedras) a atividades sociais complexas, sistemas simbólicos e ferramentas/artefatos.

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.

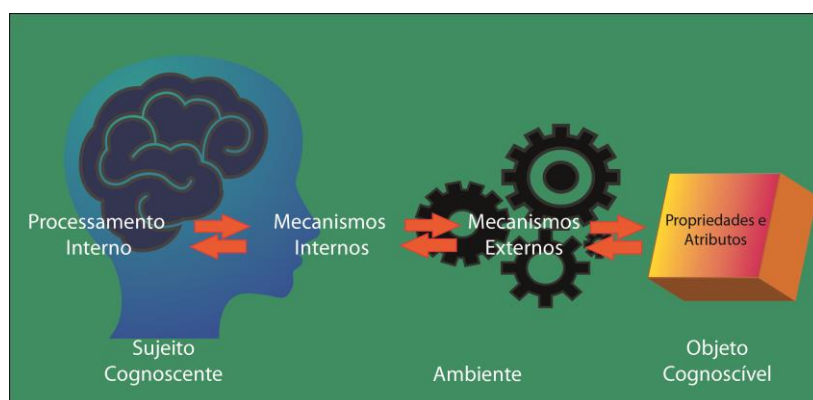


Figura 1: Processamento cognitivo por mediação externa.

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.

De acordo com as ideias da TMC, o cérebro humano é limitado e incapaz de processar todas as informações dispostas. Portanto, o processamento externo oriundo da interação (mediação) com o ambiente é utilizado diariamente fornecendo à estrutura cognitiva uma capacidade adicional de processamento. Na TMC, Souza (2004) discute as quatro possíveis formas de mediação. Essas formas serão apresentadas a seguir.

Forma de Mediação	Mecanismos Externos	Mecanismos Internos	Processamento Extracerebral
Psicofísica	Física do Objeto e do Ambiente	Sistemas Sensoriais	Percepção
Social	Interação em grupo	Habilidades sociais	Percepção e Memória
Cultural	Sistemas Simbólicos e Artefatos	Conhecimento Tradicional e/ou Formais	Percepção, Memória, Categorização e Aprendizagem
Hipercultural	Tecnologia da Informação	Conceitos e Habilidades do domínio da TI	Percepção, Memória, Categorização e Aprendizagem, Julgamento, Elaboração, Tomada de Decisões

Tabela 1: A evolução das formas de mediação cognitiva.

Através das informações contidas no quadro 1, ganham destaque a crescente complexidade dos mecanismos internos e externos de mediação, da mesma forma dos tipos de processamento extracerebral que eles permitem. Souza (2004, p. 79) conclui: “[...] cada novo passo representa uma verdadeira revolução cognitiva, uma enorme expansão quantitativa e qualitativa no alcance da mente humana”.

Problema de pesquisa e métodos

O problema de pesquisa norteador deste trabalho circunda o seguinte questionamento: Quais formas de mediação prevalecem no auxílio para a construção de conceitos fundamentais

acerca da dualidade onda-partícula, em uma pesquisa exploratória?

Portanto, o presente artigo tem como objetivo apresentar os mecanismos externos de processamento de informação que mais foram reportados por alunos como auxiliando na construção de conceitos acerca do tema do comportamento dual da luz e dos objetos quânticos após a utilização de bancadas virtuais. As atividades propostas por esta pesquisa foram realizadas com um grupo de 12 estudantes, cursando o sétimo período do curso de Licenciatura em Física, de um total de oito da grade curricular vigente. O desenvolvimento dessa atividade será apresentado em quatro momentos, sendo eles:

MOMENTO I: No primeiro momento, um pré-teste foi construído e validado pelos autores e, posteriormente, aplicado aos estudantes, antes que os mesmos tivessem qualquer contato com os *softwares* que serão utilizados como proposta deste trabalho. Os pré-testes foram resolvidos individualmente pelos estudantes.

MOMENTO II: 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., Predizer-Observar-Explicar, na qual os estudantes são chamados a predizer 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 (WU et al., 2001). É durante este estágio, com duração de 6 horas/aula, que acreditamos ocorrer a internalização dos *drives* intrínsecos às representações computacionais. O *software A* - Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (IMZ) permite ao usuário observar o fenômeno de interferência produzido por um feixe de luz por fótons individuais. O *software B* – Arranjo Experimental da Fenda Dupla de Young (AEDF) permite observar o comportamento de objetos clássicos e quânticos ao passarem por fendas estreitas e muito próximas.

MOMENTO III: Na semana seguinte ao término das atividades utilizando os *softwares*, foi aplicado aos alunos o pós-teste, contendo questões abertas e fechadas referentes ao mesmo conteúdo abordado no pré-teste, o comportamento dual da matéria e da radiação eletromagnética.

MOMENTO IV: Este momento consiste em entrevistas realizadas individualmente com os alunos, tendo como pauta as questões e as respostas do pós-teste. As entrevistas foram conduzidas conforme o protocolo “*Report Aloud*” (RAMOS, 2015; WOLFF, 2015; TREVISAN, 2016), sendo uma adaptação da técnica “*Think Aloud*” (VAN-SOMEREN et al., 1994). Essa técnica utiliza um método de coleta de dados em que, basicamente, o entrevistador e o entrevistado mantêm constante diálogo a respeito do que o entrevistado está pensando durante a execução de uma tarefa. As entrevistas foram gravadas e transcritas, tal como os áudios produzidos pelos alunos (*sic*), para a devida análise.

Resultados e discussão

Os resultados aqui apresentados são frutos de uma investigação mais ampla. Pretendemos neste trabalho, discutir qual forma de mediação se manteve presente na estrutura cognitiva de um aluno, que será chamado pelo nome fictício de A1, no momento em que resolvia problemas fundamentais sobre a dualidade. Os questionamentos foram voltados diretamente aos padrões formados nos anteparos do aparato experimental da dupla fenda e do IMZ, em duas situações: fonte operando em regime quântico – monofotônico; fonte operando em regime clássico – feixe de luz.

Verificando, primeiramente, o fenômeno no interferômetro virtual. O aluno considera o fóton com comportamento ondulatório, explicando o padrão de interferência por ele desenhado no pós-teste (Fig. 2), devido à falta de conhecimento do caminho tomado pelo fóton.



Figura 2 - Imagem desenhada pelo aluno no pós-teste.

Após encontrar-se com o primeiro espelho semi-refletor do interferômetro, visto que as probabilidades de reflexão (percorrer uma das trajetórias possíveis) e de transmissão (percorrer a outra trajetória possível) do fóton são as mesmas, o aluno relata: *“como a gente desconhecia o caminho do fóton, então, mesmo sendo emitido um por vez, havia interferência, daí formava a figura de interferência”* (A1).

E, ao ser questionado quanto ao comportamento do fóton durante o seu percurso no interferômetro, A1 descreve o seu raciocínio com as seguintes palavras: *“Eu imaginaria ele todo percurso como uma partícula, né, embora eu saiba que ele é, né, da dualidade onda partícula, mas para eu imaginar o experimento, eu visualizaria como o fóton fazendo o caminho como sendo uma partícula”* (A1).

Portanto, o aluno utiliza uma representação corpuscular para o fóton, mas acaba desenhando um padrão com particularidade ondulatória no anteparo, pois, teoricamente, tem o conhecimento do comportamento dual do fóton, possuindo, dessa forma, a previsibilidade do padrão formado no anteparo.

O aluno também remete a uma partícula sua imaginação para um fóton isolado: *“uma partícula bem pequenininha... como se fosse um pontinho”* (Fig. 3).

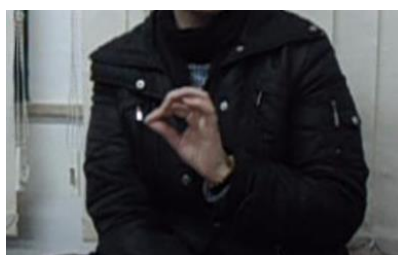


Figura 3 - Aluno utilizando o polegar e o indicador para representar o fóton.

Analisando o raciocínio de A1 diante das respostas aos questionamentos relacionados ao experimento da fenda dupla de Young, verifica-se uma explicação semelhante àquela apresentada para o interferômetro, ou seja, a interpretação do comportamento para os fótons e elétrons emitidos pela fonte é a mesma.

A1: Então, imagina-se que ele passa por uma única fenda, mas a gente não sabe qual o caminho, que daí fica aquela questão da incerteza, e quando ele passa, ele tem um comportamento de onda, se não tiver nenhum observador, né. Se tiver um observador, daí perde o, a propriedade de onda, de interferência.

Assim, o aluno pensa no fóton e no elétron como partículas, os interpretando com o comportamento corpuscular em todo o percurso do aparato experimental, mas, no anteparo, o aluno desenha um padrão de interferência, sendo esse um fenômeno ondulatório, atribuindo à sua resposta a falta de informação da fenda pela qual o elétron (a mesma explicação é utilizada para o fóton no experimento da fenda dupla) passa. No entanto, o motivo do aparecimento do padrão de interferência não é convincente, o aluno não consegue explicar quais fatores causam a interferência do fóton, dizendo: *“ele (interfere) com ele mesmo, eu acho... Eu não sei por quê. Isso não ficou claro pra mim”*.

Caso um observador detectasse por qual das fendas o elétron passou, o padrão observado no anteparo cintilante mudaria, isto é, a imagem de interferência no anteparo seria destruída. Essa compreensão é expressada pelo aluno em seu discurso: *“A minha imaginação diria que ele passaria por uma das fendas. Na verdade a gente não tem certeza, porque se botar um observador pra saber, daí o fóton vai se comportar exatamente como uma partícula. Ele perde toda propriedade de onda, né”* (A1).

Quando incentivado a explicar a imagem formada no anteparo, caso a fonte emitisse bolas de gude (objetos macroscópicos), o aluno explica seu desenho (Fig. 4), em que caracteriza as bolas de gude apresentando comportamento corpuscular.

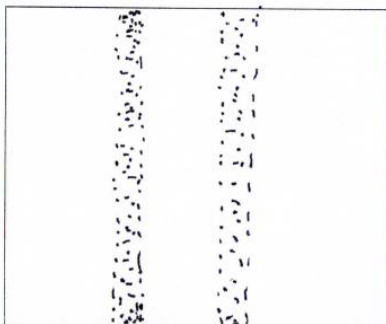


Figura 4 – Imagem desenhada por A1 no pós-teste para representar um padrão corpuscular.

Justificando o motivo de seu desenho, o aluno alega já ter observado esse arranjo experimental: *“ah, eu li. O professor já tinha explicado, na verdade, isso em aula. E depois no livro ‘Alice no País do Quantum’ tem uma figura, de tiro de bala de canhão, de bala de espingarda... E aí forma esse padrão aqui”* (A1). Essas referências ao livro e ao professor revelam os *drivers* psicofísicos e culturais utilizados pelo aluno para o entendimento e resolução do experimento em regime clássico.

Devido ao fato de o aluno já ter cursado uma disciplina que abordasse o comportamento dual do fóton e do elétron, os desenhos realizados nos anteparos no pós-teste estavam corretos. No entanto, o estudante não imagina o elétron em nenhum momento com comportamento ondulatório: *“Eu sempre imagino ele como uma bolinha, que tem propriedade de onda, mas como que acontece isso, eu não tenho essa clareza”* (A1). O seu *driver* de representação para as partículas quânticas continua inalterado. Por exemplo, o aluno alega a imagem do elétron como partícula, pois, em toda a sua trajetória acadêmica, ao estudar a eletricidade, sempre observou a representação de um elétron como uma esfera com um sinal negativo.

Desta forma, pode-se caracterizar uma interpretação (ainda não consolidada) Dualista Positivista manifestada pelo aluno, sendo que a Interpretação Corpuscular (realista), em menor frequência, também é manifestada, caracterizada pela interpretação implícita ao se usar a lógica quântica, que pôde ser constatada em trechos do raciocínio do aluno. Essas duas interpretações que emergem de maneira incisiva no discurso do aluno ajudam a caracterizar o perfil epistemológico-ontológico do mesmo para a noção da dualidade.

Considerações finais

Através desta investigação, podemos observar que o aluno preenche a lacuna interpretativa deixada pelas bancadas virtuais com representações e *drivers* advindos da exploração destes problemas em uma mediação cultural, isto é, através do seu processamento extracerebral (cultural) realizado, por exemplo, com a leitura do livro “*Alice no país do quantum*”. Também podemos registrar que as representações e *drivers* do estudante se modificam parcialmente devido a interação com o experimento, com os problemas propostos e elementos psicofísicos, sociais e culturais.

Diante deste cenário, uma hipótese possível é a de que o processamento extracerebral em virtude do uso do livro de divulgação supracitado – uma forma de mediação cultural, revela-se superior para a formação do conceito de dualidade onda-partícula do que a mediação hipercultural – oriunda do uso de ferramentas hiperculturais em forma de bancadas virtuais utilizadas nesta proposta. É importante reforçar que isso acontece porque as ferramentas hiperculturais em forma de bancadas virtuais não fornecem ao estudante representações do que ocorre no mundo microscópico. Acreditamos, contudo, que a utilização de simulações conceituais, onde esses objetos quânticos são representados, possibilitará a aquisição de novas representações e *drivers*.

Um dos grandes argumentos da escola imagística de funcionamento da mente é que representações são cruciais para o processamento cerebral, como já discutido, porque apresentam informação condensada no auxílio à cognição. A não presença de representações adequadas em nível microscópico pode, assim, impedir uma evolução conceitual.

Agradecimentos e apoios

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio no subsídio desta pesquisa.

Referências

FEYNMAN, R.P.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M.. **Lições de Física** - The Feynman lecture on Physics. Porto Alegre: Bookman, v.3, 2008.

RAMOS, A. F. **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, 2015.

SOUZA, Bruno. C.. **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, 2004.

SOUZA, B. C. et al. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, v. 007, p. 10.1016, 2012.

TREVISAN, R. **Um estudo da relação entre as imagens mentais utilizadas por estudantes de mecânica quântica e seu perfil epistemológico: uma investigação pela metodologia Report Aloud**. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2016.

VAN-SOMEREN, M. W.; BARNARD, Y. F.; SANDBERG, J. A. C. The Think Aloud Method: a practical guide to modeling cognitive processes. **Academic Press**. London, 1994.

WOLFF, J. F. S. **As modificações de drivers prévios através da utilização de simulações computacionais: aprendizagem significativa dos conceitos de colisões verificadas através da análise das imagens mentais de estudantes universitários**. 2015. 260 f. Tese (Doutorado) - Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

WU, H.-K.; KRAJCIK, J.S.; SOLOWAY, E. Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v.38, n.7, p. 821-842, 2001.