A Utilização de Ferramentas Hiper culturais no Ensino de Mecânica Quântica: Investigação do Aprendizado de Representações, *Drivers* e Conceitos Quânticos.

Robson Trevisan – PPGE CIM/ULBRA. robsontrevi@gmail.com

Agostinho Serrano de Andrade Neto – PPGE CIM/ULBRA. asandraden@gmail.com

Resumo

O presente artigo tem como objetivo investigar quais representações e *drivers* são adquiridos ou modificados após a utilização de ferramentas hiper culturais sob a forma de bancadas virtuais. Para tanto, escolhemos como conteúdo de conhecimento o comportamento dual da matéria e da radiação eletromagnética, tópico fundamental da Mecânica Quântica, dentro do currículo de estudantes de licenciatura em física. O referencial teórico adotado para leitura dos dados foi a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), buscando explicar como a mediação por computador modifica a estrutura cognitiva dos estudantes. Os resultados foram obtidos após as análises realizadas sob os pré-testes, os pós-testes e a análise dos gestos descritivos obtidos das imagens de vídeo gravadas durante as entrevistas do pós-teste. Verificamos mudanças de *drivers* psicofísicos e culturais já existentes, proporcionando, portanto, uma evolução conceitual, evidenciada pelos alunos durante os testes e as entrevistas. Apesar desse resultado positivo, observamos que ambos os *softwares* utilizados não são suficientes para a aquisição de novas representações e *drivers* microscópicos pelos alunos, possivelmente pela maneira como esses *softwares* representam um fenômeno físico.

Palavras-chave: Bancadas virtuais, mediação hiper cultural, mecânica quântica; Teoria da Mediação Cognitiva.

The Hypercultural Tools Utilization in Teaching Quantum Mechanics: Investigation of the Representations, Drivers and Quantum Concepts Learning.

Abstract

The present paper aims to investigate which representations and drivers are acquired or modified after the utilization of hypercultural tools in form of virtual work benches. To this end, we have chosen as a knowledge content, the dual behaviour of matter and electromagnetic radiation, a fundamental topic of Quantum Mechanics into the Physics Education students curriculum. For the data interpretation has been used the Cognitive Mediation Networks Theory (CMNT) as a theoretical framework, seeking an explanation of how the computer mediation modifies the cognitive structure of students. The results were obtained after the pretests and posttest analysis, as well as the analysis of descriptive gestures obtained from the video images recorded during the posttest interview. As a result we have noticed changes in existing psychophysical and cultural drivers, providing therefore, a conceptual evolution, that was evidenced by students during the tests and interviews. Despite this positive result, we have observed that both softwares used, still being not sufficient to the acquisition of new representations and microscopic drivers by the students, possibly by the way how these softwares represent a physical phenomenon.

Keywords: Virtual work benches, hypercultural mediation, quantum mechanics; Cognitive Mediation Networks Theory.

1. Introdução

O início do século XX marca uma nova etapa para a história da Física, o surgimento da Teoria Quântica, considerada responsável direta pelos grandes avanços tecnológicos ocorridos ao longo das últimas décadas, e que, junto com a Teoria da Relatividade de Einstein, “reescreveram” toda a física, do estado sólido à física das partículas elementares.

A Mecânica Quântica (MQ), formulada para estudar o mundo microscópico, torna-se hoje o alicerce de sustentação da tecnologia quântica em benefício do mundo macroscópico, podendo ser vista em diversas aplicações pontuais, como o dispositivo de produção de imagens por ressonância magnética (NMR), a tomografia por emissão de pósitrons (PET), o microscópio eletrônico de varredura por tunelamento e o relógio atômico do sistema de posicionamento global (GPS) e as próprias TIC, derivadas do transistor. Em suma, sua vasta gama de aplicações parece inesgotável.

O ensino da física quântica também pode proporcionar uma visão contemporânea da prática científica, na qual a ciência é encarada como construção humana e, portanto, inacabada, aberta e historicamente datada (Ostermann et al., 2009). Todos esses elementos tornam inadiável a necessidade de se propiciar aos profissionais das carreiras que mais utilizam esses recursos o conhecimento de fundamentos da MQ, não apenas de “regras” ou de algoritmos de resolução (Greca, 2000).

2. A Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC)

A Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) é uma teoria contextualista, construtivista, que estuda o processamento da informação da inteligência humana e visa proporcionar uma abordagem ampla para a cognição. A TMC é fundamentada e referenciada em cinco premissas relativas à cognição humana e ao processamento de dados:

(...) 1) A espécie humana tem como maior vantagem evolutiva a capacidade de gerar, armazenar, recuperar, manipular e aplicar o conhecimento de várias maneiras; 2) A cognição humana é efetivamente o resultado de algum tipo de processamento de informação; 3) Sozinho, o cérebro humano constitui um finito e, em última instância, seu recurso de processamento de informação é limitado; 4) Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau; 5) Seres humanos complementam o processamento da informação cerebral por interação com os sistemas físicos externos organizados. (Souza et al., 2012, p.2321, tradução nossa).

Devido à expansão atual da era digital, a TMC busca explicar os impactos das tecnologias digitais no pensamento humano. Souza (2004) evidencia que o cérebro humano isolado se apresenta como insuficiente para explicar a maior parte do desempenho cognitivo, conclui a existência e o envolvimento de outros mecanismos de processamento de informações. Dessa forma, alguns elementos no ambiente têm potencial para o processamento de informação, os quais são observados e lhes é tirada vantagem pelos seres humanos.

[...] aspecto fundamental da Mediação Cognitiva é o conjunto individual de mecanismos internos, o qual torna possível a utilização de estruturas externas, como auxiliares de dispositivos de processamento de informações, mas também trabalham como “máquinas virtuais” internas, que fornecem novas funcionalidades cognitivas, acrescentando benefícios que duram para além do tempo da “conexão” a um mecanismo externo, tendo um papel

importante na definição da forma como o pensamento ocorre (Souza, 2004, 2006, Souza e Roazzi, 2000 apud Souza et al., 2012).

A mediação digital é o processamento extracerebral bastante presente atualmente devido à explosão digital dos últimos anos. No contexto da tecnologia da informação, os computadores destacam-se dos demais objetos passíveis de uso para a mediação externa em razão de sua extrema plasticidade lógica e programabilidade.

Logo, é possível se afirmar que, na atual Revolução Digital, testemunha-se a emergência de uma Hiperultura, onde os mecanismos externos de mediação passam a incluir os dispositivos computacionais e seus impactos culturais, enquanto que os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos (Souza, 2004, p. 85).

A TMC considera *drivers* dispositivos que trabalham como “máquinas virtuais” internas, que possuem um papel importante na definição do pensamento humano no contexto da mediação e vão além da “conexão” com o mecanismo externo:

É razoável supor que os mecanismos internos de mediação funcionem através da produção de um *shell*, ou seja, de uma “máquina virtual” que “espelha” ou “representa” o mecanismo externo. Trata-se de um processo necessário para o estabelecimento de uma interface entre o cérebro e o mecanismo extracerebral, mas também permite, até certo ponto, uma “emulação” ao menos parcial dos mecanismos externos em questão. Isso implica, portanto, numa internalização parcial dos mecanismos externos, o que ajuda a explicar por que as habilidades permanecem aumentadas mesmo quando os mecanismos externos estão ausentes. (Souza, 2004, p. 81-82)

O surgimento da hiperultura é visto pela TMC como consequência de novas formas de interação envolvendo grupos sociais e as tecnologias no nível do indivíduo. Portanto, simuladores virtuais atuam como mediadores digitais a fim de criar novas representações mentais (teoremas-em-ação) e *drivers* na cognição do indivíduo, com a finalidade de proporcionar uma aprendizagem significativa dos conceitos quânticos abordados. Dada a natureza das representações mentais, sua mera existência dota o indivíduo com um conjunto de ferramentas lógicas que aumenta sua competência em domínios específicos, mesmo na ausência do sistema externo físico correspondente (Souza et al 2012). A partir dessa mediação, adquire um ganho de processamento de informações que se mantém mesmo que a conexão com o mecanismo externo seja interrompida. Esses *drivers* são originados dos mecanismos de mediação externa utilizados pelo indivíduo, que pode ser de natureza psicofísica (quando o indivíduo utiliza de objetos do ambiente como mecanismo de processamento extracerebral), social (devido à conexão social com outros indivíduos por meio da linguagem), cultural (devido à utilização de ferramentas culturais como livros, etc) ou hiper cultural (utilização das TIC).

3. Problema de Pesquisa e Métodos

O problema de pesquisa norteador deste trabalho é: Há construção ou modificação de novos *drivers* hiper culturais durante a mediação digital caracterizada pelo uso de laboratórios virtuais (ou bancadas virtuais) que possibilitem o estudo de um tópico da teoria quântica?

O presente artigo tem como objetivo utilizar bancadas virtuais como mediação hiper cultural no processo de construção de conhecimentos relacionados ao

comportamento dual da matéria e da radiação eletromagnética, que, segundo Pessoa Jr (2006), é um tópico que caracteriza a Teoria Quântica, atribuindo aspectos ondulatórios a qualquer partícula individual e aspectos corpusculares a qualquer forma de radiação. A fim de verificar quais representações e *drivers* de estudantes de física são adquiridos ou modificados após a utilização de ferramentas hiperculturais. 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. Para tanto, utilizaremos como referencial epistemológico a TMC, em razão de sua abordagem relacionada à mediação hipercultural, em especial mediante o uso de computadores, sendo estas ferramentas tecnológicas responsáveis pela realização de processamentos externos de informação, interagindo com os mecanismos internos de processamento e, como consequência, modificando a estrutura cognitiva do indivíduo.

Justifica-se a utilização de simulações computacionais para complementar as abordagens tradicionais de ensino, possibilitando ao aluno a visualização dos fenômenos quânticos simulado por meios de um processo de experimentação. Cabe ressaltar que a motivação proporcionada pela interação aluno-simulador potencializa sua predisposição para entender os conceitos apresentados.

As atividades da pesquisa foram desenvolvidas com uma amostra de 7 estudantes que cursavam a fase final do curso de Licenciatura em Física, sendo 4 discentes de uma instituição de ensino pública da cidade de Bento Gonçalves-RS e 3 discentes de uma instituição privada da cidade de Canoas-RS. O desenvolvimento dessa atividade será apresentado em quatro etapas, sendo elas:

ETAPA I: Na primeira etapa, um pré-teste¹ 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.

ETAPA II: Nesta fase, foi entregue aos alunos um roteiro de atividades² 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 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 (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-Zehnder³ (Figura 1-I), permite ao usuário observar o fenômeno de interferência produzido por um feixe de luz por fótons individuais. O *software B* - Fenda Dupla de Young⁴ (Figura 1-II), permite observar o comportamento de objetos clássicos e quânticos ao passarem por fendas estreitas e muito próximas.

Figura 1. (I) Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (II) Arranjo experimental virtual da Fenda Dupla de Young.

ETAPA III: Na semana seguinte ao término das atividades utilizando os *softwares*, foi aplicado aos alunos o pós-teste,⁵ contendo questões abertas e fechadas referentes ao mesmo conteúdo abordado no pré-teste, o comportamento dual da matéria e da radiação eletromagnética.

ETAPA IV: Esta etapa 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*”, 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.

4. Resultados e Análise

Conectando, portanto, a TMC com o ensino de física, iremos apresentar os resultados de dois estudantes, um discente (ALUNO A) oriundo de uma instituição de ensino superior privada e outro (ALUNO B) de uma instituição de ensino superior pública, ambos em fase final do curso de Licenciatura em Física.

Os resultados foram obtidos após as análises realizadas sob os pré-testes, pós-testes e imagens de vídeo obtidas durante as entrevistas do pós-teste. A apreciação do conteúdo dessas gravações foi realizada por análise gestual descritiva (Monaghan e Clement, 1999). Essa metodologia já foi utilizada em outros trabalhos (Andrade Neto e Engel, 2012; Rocha e Andrade Neto, 2013). Dessa forma, pode-se extrair do estudante seus *drivers* internalizados; esses *drivers* dependem diretamente dos tipos de mediações utilizadas para resolver uma situação-problema.

Inicialmente apresentaremos resultados expressos pelo ALUNO A. As primeiras questões foram voltadas aos fenômenos relacionados ao interferômetro virtual de Mach-Zehnder. Ao explicar a trajetória, bem como o comportamento, de apenas um fóton passando pelo interferômetro, desde a fonte de emissão até o contato com o anteparo cintilante, o aluno A imagina o fóton sendo dividido em dois ao se deparar com o primeiro espelho semi-refletor do interferômetro.

Aluno A: [...] aqui eu imaginei que o fóton, ele é emitido né pela fonte e aí tem um dispositivo que separa né, faz o fóton seguir um caminho, divide o fóton, cada um segue um caminho (Figura 2- I).

Dando sequência à explicação de seu raciocínio, o aluno afirma imaginar o segundo espelho semi-refletor unindo os dois fótons surgidos a partir da interação com o primeiro espelho semi-refletor.

Aluno A: [...] Depois ele tem dois espelhos né, ele vai ser refletido e no final ele vai, os dois, essas duas divisões vão acabar juntando (Figura 2- II.) e vão formar o fóton de novo.

Figura 2. (I) Aluno A utilizando as mãos para simular a trajetória do fóton, que dividido toma o caminho da direita e da esquerda, (II) Mãos apontando para o mesmo ponto, simulando o encontro das partes (ondas) do fóton.

Podemos verificar que o aluno utiliza de forma explícita uma representação externa para a resolução da situação-problema; o estudante se apropria dessa representação tanto no discurso verbal quanto no não verbal. Ao separar o fóton em duas frentes de onda, ele faz uso de um *driver* internalizado após a utilização do *software* que apresenta em seu início as possíveis trajetórias de um feixe luminoso.

E, ao ser questionado quanto ao comportamento do fóton durante seu percurso pelo interferômetro, o aluno descreve o fóton da seguinte forma:

Aluno A: Se a gente for pensar no fóton como uma **onda** né, como ele é dividido e depois ele se reencontra lá, as duas ondas, elas vão se encontrar em fases diferentes, aí como elas tem fases diferentes, vai formar esses picos de máximos e mínimos de interferência.

O estudante imagina o fóton com um comportamento ondulatório ao passar pelo interferômetro, mas o fóton isolado é imaginado como uma partícula, de acordo com a fala e o gesto apresentados por ele. O gesto descritivo ilustrado na Figura 3, apresentado pelo aluno A, juntamente com o seu discurso indica que a imagem mental associada a um fóton individual é de uma partícula (corpúsculo), em contraposição à imagem ondulatória que o mesmo utiliza dentro do experimento.

Aluno A: [...] Se for imaginar ele, eu vou acabar imaginando ele como uma **partícula**. [...] Como se fosse uma esfera (Figura 3), uma esfera brilhante né, por ser fóton a gente imagina alguma coisa que brilhe.

Figura 3 – Aluno utilizando as mãos para representar uma esfera.

Analisando o raciocínio do aluno A diante das respostas aos questionamentos relacionados ao experimento da fenda dupla de Young, verifica-se a mesma interpretação para fótons e elétrons emitidos pela fonte. Em ambas as situações, o aluno desenha um padrão de interferência no anteparo, interpretando o fóton e o elétron com comportamento ondulatório.

Aluno A: [...] pra analisar, eu imagino ele só **como uma onda**, o fóton, uma onda que vai ser emitida aqui da fonte né; quando ela chegar na primeira barreira, ela vai passar pelas duas fendas, e depois que elas passarem elas vão formar uma nova onda com as mesmas características da primeira, aí depois quando elas incidirem no anteparo, vai ter esses pontos de máximo e mínimo que da fenda 1 e da fenda 2 vão se coincidir os dois por terem as mesmas

características da onda, o ponto máximo de um vai coincidir com o do outro e assim por diante né. [...] eu ia pensar no elétron mais ou menos do mesmo modo que eu pensei no fóton, como uma frente de onda.

Quando questionado a explicar a imagem formada no anteparo caso a fonte emitisse bolas de gude (objetos macroscópicos), o aluno explica seu desenho representando duas linhas paralelas e horizontais, em que caracteriza as bolas de gude apresentando comportamento corpuscular.

Assim, o aluno A pensa no fóton e no elétron com comportamento corpuscular, mas só quando estes estão “isolados”, ou seja, sem observá-los em algum experimento. Quando analisados “dentro” do interferômetro virtual e do experimento da fenda dupla de Young, o mesmo os interpreta com comportamento ondulatório. Sendo assim, o aluno modifica seu *driver* e passa a visualizar o fóton e o elétron como onda, para explicar (resolver) a situação-problema. De acordo com Montenegro e Pessoa Jr (2002), podemos caracterizar uma interpretação (ainda não consolidada) Dualista Positivista manifestada pelo aluno A, pois, conforme o experimento, o estudante pode utilizar uma descrição ondulatória ou uma corpuscular para o objeto quântico, mas nunca ambas ao mesmo tempo.

Observando o raciocínio do ALUNO B, verificamos que o mesmo interpreta o fóton com comportamento ondulatório ao passar pelo interferômetro. Apesar dessa interpretação, ele afirma não imaginar o fóton como uma onda; sua imagem mental referente ao fóton é de uma partícula. A explicação para seu desenho no pós-teste representando o padrão de interferência é a da falta de informação referente ao caminho tomado pelo fóton após a interação com o primeiro espelho semi-refletor; portanto, se os detectores fossem acionados no *software A*, o padrão observado no anteparo cintilante mudaria, o caminho percorrido pelo fóton seria sabido e a imagem de interferência no anteparo seria destruída.

Aluno B: [...] então, como a gente **não tem muita informação do caminho**, eu imaginei que ele teria um **comportamento mais ondulatório**, aí eu fiz tipo uma figurinha de interferência, aqui com uma concentração mais no meio. [...] Olha, tu olhando no anteparo parece que ele se divide, porque, enfim, como tu não sabe nem se é a esquerda ou a direita que ele tomou, a imaginação é isso, mas eu acho que não é correto imaginar isso, ou ele tomou o caminho da esquerda ou da direita, eu acho que essa incerteza que tu tem ali de não saber o caminho é que faz com que ele tenha esse comportamento mais **ondulatório**. [...] a imaginação mais fácil é imaginar que ele se reparte em dois, é, mas isso não é correto, pensar isso, pelo que eu aprendi.

Diante da fala do aluno percebe-se um obstáculo epistemológico que dificulta a alternância e o surgimento de *drivers* que caracterizem o fóton com comportamento ondulatório. Ele afirma ser mais fácil imaginar o fóton como frente de ondas para explicar o padrão de interferência, pois as frentes de onda se encontram no segundo espelho semi-refletor em fases distintas. Porém, o aluno permanece com uma imagem corpuscular para o fóton, não conseguindo alterar seus *drivers* para a resolução e explicação do fenômeno. Essa resistência na modificação dos *drivers* é devida ao instinto conservativo do aluno, termo utilizado por Bachelard (1996) para descrever um obstáculo epistemológico, pois “chega o momento em que o espírito prefere o que confirma seu saber àquilo que o contradiz, em que gosta mais de respostas do que de perguntas. O instinto conservativo passa então a dominar, e cessa o crescimento espiritual” (Bachelard, 1996, p. 19).

Analizando o experimento da fenda dupla de Young (*software B*) com a fonte em regime monofotônico, o aluno justifica seu desenho pela falta de informação em relação à fenda que é atravessada pelo fóton.

Aluno B: Como ali vai ser transmitido um fóton de cada vez, com certeza ou ele vai passar pela fenda 1 ou pela fenda 2, mas eu não tenho completa certeza se ele vai passar pela fenda 1 e não pela fenda 2 ou o contrário. Isso me dá uma certa **incerteza** e isso faz com que nós tivéssemos no anteparo uma figura mais parecida com o **comportamento ondulatório**.

O aluno continua com a imagem corpuscular do fóton afirmando que o mesmo passa por uma fenda ou por outra, mantendo raciocínio semelhante ao interpretar os questionamentos referentes ao interferômetro virtual. Observa-se um bloqueio na alternância de imagens, não permitindo uma aquisição de *drivers* que possibilitem uma visualização ondulatória do fóton.

Modificou-se o arranjo experimental, com a fonte passando a emitir elétrons em vez de fótons, sendo um elétron emitido apenas quando o anterior já tiver atingido o anteparo. O aluno explica seu raciocínio ao ser questionado sobre o comportamento do elétron:

Aluno B: Aí eu tenho certeza que não vai mudar muita coisa, o mesmo efeito que a gente tem pra fóton a gente tem pra elétron, a não ser que a gente saiba o caminho.

Ao ser questionado sobre o padrão de interferência ocasionado pelos elétrons emitidos, o aluno faz uso da interpretação ondulatória ao explicar a imagem no anteparo, mas cita não ser correto esse raciocínio.

Aluno B: Olha, pra entender talvez fosse mais fácil explicar que fosse o mesmo elétron passando pelas duas fendas ao mesmo tempo, enfim, um pouquinho antes, um pouquinho depois (Figura 4-I) que ficaria fora de fase (Figura 4-II), mas é incorreto pensar isso, eu sei disso.

Figura 4- (I) As duas mãos representam frentes de onda, (II) Polegar e indicador de ambas as mãos no formato de duas semicircunferências, representando um vale e uma crista de onda.

Quando cita a expressão “fora de fase”, o aluno está se referindo às ondas “*associadas ao elétron*”, expressão utilizada pelo próprio aluno. A partir dessa fala, de acordo com Montenegro e Pessoa Jr (2002), podemos caracterizar uma interpretação Dualista Realista manifestada pelo aluno, pois o mesmo permanece com uma visão de uma partícula com trajetória bem definida (mas em geral desconhecida) e uma onda associada. O estudante afirma ser incorreto teoricamente imaginar o elétron se dividindo como se fosse uma onda, mas “é uma característica notável da Teoria Quântica que ela possa ser interpretada de diferentes maneiras, sendo que cada uma dessas interpretações é internamente consistente e, de modo geral, congruente com experimentos quânticos” (Pessoa Jr, 2006, p.4). Portanto, verificamos que o aluno desconhece essas diferentes possibilidades de interpretação para o fenômeno. Esse fator também dificulta a

aquisição e modificação de *drivers* importantes para a resolução e explicação do comportamento dual do elétron.

O aluno deixa claro que sua imagem em relação ao elétron é a representação de um corpúsculo (Figura 5-I), oriunda dos modelos atômicos apresentados nos livros ao longo de sua vida acadêmica, junto com desenhos realizados pelos professores durante as aulas. Ao pensar no elétron com uma onda associada, ele imagina uma propagação do tipo senoidal, mas deixa claro não imaginar uma representação de uma partícula com um “*rabinho*” (Figura 5-II), pois se lembra de uma aula em que seu professor enfatizou a não imaginação dessa representação.

Figura 5 - (I) Ambas as mãos representando uma esfera, (II) Indicador da mão direita em movimento oscilatório, representando uma onda senoidal.

O aluno B utilizou *drivers* psicofísicos e culturais oriundos de livros e aulas ao longo de sua vida para explicar e resolver as questões sobre dualidade onda-partícula. Esses *drivers* foram sendo adquiridos durante anos, criando uma resistência e um bloqueio epistemológico para novas aquisições de *drivers* hiperculturais que possam confrontar suas ideias principais. Devido a isso, o aluno continua com uma visão corpuscular tanto do fóton quanto do elétron, sentindo-se desconfortável e sem argumentos fundamentados para mudar sua interpretação e seus *drivers* diante de situações que apresentem fenômenos de interferência e difração para o fóton e o elétron.

5. Considerações Finais

Os *softwares* utilizados neste trabalho, caracterizados como laboratórios virtuais (ou bancadas virtuais), apresentaram-se como processadores externos de informação, auxiliando no processamento interno na estrutura cognitiva dos estudantes, o que resulta na mudança de *drivers* psicofísicos e culturais já existentes, proporcionando, portanto, uma evolução conceitual, evidenciada pelos alunos durante os testes e as entrevistas.

Os *softwares* de simulação usados neste trabalho, não se mostraram eficazes para uma nova aquisição de *drivers* microscópicos resultantes de uma ferramenta hipercultural. Os *drivers* psicofísicos e culturais prevalecem no momento da resolução e explicação dos problemas. Deve-se ao fato de os *softwares* utilizados não possuírem representações gráficas dos objetos quânticos utilizados: fóton ou elétron. Apresentando apenas um padrão no anteparo, resultado da manipulação do aluno sob o arranjo experimental virtual. Sendo assim, as interpretações já existentes acabam permanecendo, ou seja, o aluno faz uso de seus *drivers* psicofísicos e culturais para explicar o padrão formado no anteparo.

De acordo com a TMC, ambos os *softwares* utilizados não são suficientes para a aquisição de representações e *drivers* que permitam maior alternância nas interpretações dos alunos quanto ao comportamento de objetos quânticos. Acreditamos, contudo, que a utilização de simulações conceituais, onde estes objetos quânticos são representados, possibilitará a aquisição de novas representações e *drivers*, hipótese esta que será testada em um próximo experimento.

Notas de Texto

¹Disponibilizado em: <http://migre.me/mOBbm>

²Disponibilizado em: <http://migre.me/mODjQ>

³Disponibilizado em: <http://migre.me/mOI09>

⁴Disponibilizado em: <http://migre.me/mOIIA>

⁵Disponibilizado em: <http://migre.me/mODwd>

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 Bibliográficas

- ANDRADE NETO, A. S. ; V. Engel . Uso de Simuladores no Ensino de Física: Um estudo da produção Gestual de Estudantes Universitários. **RENTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 10, p. 1001, 2012.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- GRECA, I. M. R. **Construindo Significados em Mecânica Quântica: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2000. 284 p. (Tese).
- MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. 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.
- MONTENEGRO, R.L.; PESSOA JR., O. Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física. **Investigações sobre Ensino de Ciências**, v.7, n.2, 2002.
- OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H; PRADO, S. D.; RICCI, T. S. F. Fundamentos da Física Quântica à luz de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 3, 2009.
- PESSOA JR, O. (2006). **Conceitos de física quântica**. São Paulo: Livraria da Física, v. 1.
- ROCHA, J. ; ANDRADE NETO, A. S. . Um Estudo de Caso Exploratório sobre a Internalização de Conceitos sobre Eletrostática: A influência da Hipercultura e Mediação Digital. **RENTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 11, p. 11, 2013.
- SOUZA, B. 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.; SILVA, A. S. ; SILVA, A. M. ; ROAZZI, A. ; CARRILHO, S. L. S. . 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.
- VAN-SOMEREN, M. W.; BARNARD, Y. F.; SANDBERG, J. A. C. **The Think Aloud Method: a practical guide to modeling cognitive processes**. London, 1994.
- 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.