

Evidências da emergência de *drivers* hiperulturais durante o aprendizado de conceitos de eletromagnetismo em alunos do Ensino Médio após a utilização de simulações computacionais

Fernando Colomby Pieper
Agostinho Serrano de Andrade Neto

RESUMO

O estudo com relação à aprendizagem de conceitos de Física, envolvendo tecnologias, tem sido tema de pesquisas atuais na área de Ensino de Ciências e Matemática. O presente trabalho busca trazer evidências do impacto destas tecnologias de informação e comunicação em termos das mudanças conceituais resultantes de seu uso, no âmbito do ensino de Eletromagnetismo, tópico pouco investigado dentro da temática de utilização das TIC no aprendizado de conceitos científicos. Para esse fim, trabalhamos sob a luz de uma teoria cognitiva baseada na ideia de que a inteligência humana não resulta apenas do funcionamento cerebral, mas também da complementação desse funcionamento pelo processamento auxiliar realizado por estruturas externas ao indivíduo, a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC). O foco da investigação é a compreensão, por parte dos alunos, da lei de Faraday e da lei de Lenz. O grupo observado foi submetido a uma intervenção com a utilização de simuladores computacionais utilizando a técnica instrucional P.O.E (Predizer-Observar-Explicar). Os resultados são indicativos de uma possível aprendizagem por meio da aquisição de *drivers* e apontam para uma mudança conceitual através da utilização de simuladores, como mediadores, especialmente quando há aquisição de representações e drivers referentes às linhas de campo magnético.

Palavras-chave: Simulações Computacionais. Teoria da Mediação Cognitiva. Hipercultura. Lei de Faraday. Indução Eletromagnética.

Fernando Colomby Pieper é Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM – ULBRA). Atualmente, é doutorando no mesmo programa e professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, campus Camaquã/RS (IFSul). Endereço para correspondência: Rua Ana Gonçalves da Silva 901, Bairro Olaria, 96180-000 – Camaquã/RS. E-mail: fernando.pieper@camaqua.ifsul.edu.br

Agostinho Serrano de Andrade Neto é Doutor em Física pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente, é professor do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil (PPGECIM – ULBRA), Canoas/RS. Endereço para correspondência: Av. Farrroupilha, 8001 – Prédio 14 – Sala 318. Bairro São José, 92425-900 – Canoas/RS. E-mail: asandraden@gmail.com
Recebido para publicação em 21/12/2015. Aceito, após revisão, em 5/1/2016.

Evidence of emergence of hypercultural drivers during the learning of electromagnetism concepts in High School students after using computer simulations

ABSTRACT

The study regarding the learning of physics concepts involving technology has been the subject of current research in Mathematics and Science Teaching. This paper seeks to bring evidence of the impact of information and communication technologies in terms of conceptual changes that result from its use within the teaching of electromagnetism, a poorly researched topic within the theme of ICT in learning of scientific concepts. To this end, we work under the light of a cognitive theory based on the idea that human intelligence does not result only from brain functioning, but also from the completion of this operation by the auxiliary processing done by structures external to the individual, the Theory of Cognitive Mediation (TCM). The focus of research is the understanding, by students, of Faraday's law and Lenz's law. The observed group was subjected to an intervention with the use of computational simulations using instructional technique POE (Predict-Observe-Explain). The results are indicative of a possible learning through the acquisition of drivers and point to a conceptual change through the use of simulators as mediators, especially when there is an acquisition of representations and drivers referent to the magnetic field lines.

Keywords: Computer Simulations, Theory of Cognitive Mediation, Hyperculture, Faraday's law, Electromagnetic induction.

INTRODUÇÃO

O estudo com relação à aprendizagem de conceitos de Física tem sido tema de pesquisa atual na área de Ensino de Ciências e Matemática. Alguns autores tem se proposto a estudar estratégias que visam melhorar a relação de ensino-aprendizagem destes conceitos físicos (VITAL; GUERRA, 2014, BRUSCATO; MORS, 2014, MASSONI, 2014, RODRIGUES; SAUERWEIN; SAUERWEIN, 2014).

Esquembre (2002) verificou que, dentre inúmeros resultados positivos, algumas pesquisas também têm indicado que muitas vezes é comum um sentimento de fracasso e desinteresse por parte de muitos estudantes em relação à Física. Reis e Andrade Neto (2004, p.13) destacaram fatores que podem ser atribuídos a este desinteresse em relação à aprendizagem da física como vemos:

O não reconhecimento por parte da sociedade científica e do público em geral da física como disciplina vital (ESQUEMBRE, 2002); a alta dose de abstração necessária à compreensão dos conceitos com que a física lida, fazendo com que a matemática seja uma ferramenta essencial; os diferentes modelos utilizados pelos estudantes no estudo da física; a forma como estes modelos são utilizados na física, geralmente muito distante do mundo real e, por último a necessidade de mudanças curriculares tanto no ensino médio, quanto superior.

Ainda temos Monteiro et al. (2010) que, com relação aos obstáculos enfrentados por alunos e professores no entendimento de conceitos de eletromagnetismo, atribuímos ao caráter abstrato destes e às dificuldades inerentes da representação vetorial destes conceitos.

Cada vez mais, as Tecnologias de Informação e Comunicação fazem parte de nossa vida cotidiana. A ampliação da perspectiva e da esfera de ação são apenas algumas das possibilidades geradas pelo desenvolvimento destas tecnologias, ainda que esta ampliação esteja restrita a determinados grupos de pessoas.

Alguns softwares educacionais já vêm sendo utilizados por vários autores no ensino de Física. Araujo e Veit (2004) consultaram a partir de 1990 estudos que se referem ao uso de tecnologias computacionais no ensino de Física em nível médio e universitário. Os artigos foram classificados em termos das modalidades de uso do computador e dos tópicos de Física abrangidos, ao todo 109 artigos foram analisados e “a área da Física mais abordada foi a Mecânica Geral (82 artigos), seguida pelo Eletromagnetismo (18 artigos) e pela Termodinâmica (14 artigos)” (ARAUJO; VEIT, 2004, p.7).

Os autores constataam que:

[...] é a acentuada predominância da Mecânica Newtoniana no que se refere ao conteúdo envolvido. Grande parte da pesquisa e do desenvolvimento instrucional em Ensino de Física, no passado, foi dedicada a esse conteúdo e, no presente, continua sendo. Ainda que a tecnologia seja de última geração o conteúdo é de séculos atrás. É claro que a Mecânica é importante. É claro que a Mecânica é uma grande herança científica que temos. Mas será que a Física é só Mecânica? Será que só sabemos Mecânica? E o Eletromagnetismo, a Ótica, a Termodinâmica, a Relatividade, a Mecânica Quântica, ...? (ARAUJO; VEIT, 2004, p.8)

Mais recentemente, Martins e Garcia (2012) consultaram 32 trabalhos científicos na área de Ensino de Ciências e Ensino de Física entre os anos de 2000 e 2012. Os autores encontraram dezesseis artigos que apresentaram resultados de pesquisas que foram desenvolvidas, ou que se aplicaram, na utilização de um software no ensino de Física. Eles classificaram, com relação ao assunto abordado, que 6 artigos referem-se à Mecânica Clássica, 2 à Óptica, 2 à Física Moderna, 2 ao Eletromagnetismo, 1 à Astronomia e 1 à Acústica (MARTINS; GARCIA, 2012, p.6).

Os autores comentam que:

Outra questão interessante diz respeito à presença quase que majoritária de determinados conteúdos de Física nas pesquisas. Percebeu-se uma concentração de trabalhos que estudaram um ou outro conceito da Mecânica, grande área da Física que congrega um bom número de conteúdos em que as experimentações

não requeriam, a priori, uma sofisticação semelhante ao uso de softwares de animação ou simulação. Obviamente, não se defende que a relação entre a Mecânica e as NTIC seja desnecessária, trata-se apenas de atentar para a necessidade de compreender as relações que tornam possível a centralidade ocupada por estes conteúdos. (MARTINS; GARCIA, 2012, p.6)

Percebe-se que os autores convergem no sentido de destacar a ênfase dos assuntos da Mecânica no ensino de Física. Com isso, existem bases para se afirmar que o tema Eletromagnetismo foi pouco pesquisado no Brasil. É consenso dos autores Araujo e Veit (2004), Martins e Garcia (2012) que os conteúdos de Mecânica Clássica foram os mais privilegiados, permanecendo alguns temas como o Eletromagnetismo à espera de maior destaque nas produções acadêmicas.

A importância da pesquisa do tema Eletromagnetismo é que este está presente em um grande número de aparelhos e equipamentos de nosso cotidiano, tais como celulares, computadores, televisores, geladeiras, motores elétricos e muitos outros. Desta forma, a compreensão do Eletromagnetismo é importante para compreensão do contexto tecnológico do mundo moderno e contemporâneo por todas as pessoas. Ademais, para alunos de cursos técnicos e engenharias, conceitos de eletromagnetismo são de fundamental importância, servindo de subsunção para a compreensão de conceitos discutidos em várias disciplinas.

Por isso a pergunta de pesquisa que é abordada neste artigo é: Como o uso de softwares de simulação no ensino de Física, mais especificamente com conceitos que envolvem a lei de Faraday e a lei de Lenz, podem auxiliar no aprendizado desta área, sob a forma da aquisição e desenvolvimento de *drivers*?

Para tanto, utilizaremos um aporte teórico que considera que o aprendizado ocorre predominantemente pela mediação de estruturas externas, consideradas pelo cérebro como “ferramentas de processamento extracerebral” (SOUZA, 2004). Quando o cérebro utiliza estas ferramentas, “*drivers*” – verdadeiras “máquinas virtuais” – são geradas e armazenadas na estrutura cognitiva do estudante e estes *drivers* são utilizados pelo cérebro, mesmo na ausência do mecanismo externo de mediação e resultam em um crescimento na descrição do conceito pelo indivíduo (SOUZA, 2004), ou seja, aprendizagem.

APORTE TEÓRICO

Vivemos numa era digital na qual o uso de computadores e dispositivos eletrônicos com acesso à internet é uma ação corriqueira. Pessoas de todas as idades passaram a estar conectadas diariamente com seus aparelhos celulares, notebooks ou tablets. A informação circula rapidamente e em abundância pela rede mundial de computadores – a *World Wide Web*. E essa informação está à disposição das pessoas num clique de mouse ou em um abrir de aplicativo.

Diante deste contexto, Souza (2004) desenvolve sua argumentação, discorrendo sobre a existência de uma Hiperultura:

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. Em termos de impactos observáveis, isso significa que todas as habilidades, competências, conceitos, modos de agir, funcionalidade e mudanças culturais ligadas ao uso de computadores e da Internet constituem um conjunto de fatores que difere substancialmente daquilo que tradicionalmente se percebe como cultura. (SOUZA, 2004, p.86)

Souza (2004) utiliza vários autores para sugerir que o cérebro e os órgãos sensoriais não são poderosos o suficiente para dar conta dos fenômenos cognitivos observados na espécie humana – afirmação que, de início soa controversa, mas que é uma constatação natural dada a finitude biológica do cérebro. Daí o autor constrói um conjunto de conceitos, trazendo uma premissa diferenciada no que se refere a considerar a chamada cognição externa (ao cérebro). Para o autor, o próprio cérebro “dribla” sua natural finitude biológica ao dispor de inúmeras ferramentas externas para complementar o processamento externo.

Na verdade, o ponto inicial da construção destes conceitos é o fato de que o uso destes dispositivos eletrônicos – computadores, tablets e smartphones – se dá por um processo de mediação. Então, é natural inferir que estes 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 destes dispositivos.

Em um artigo publicado na revista *Computers in Human Behavior*, Souza et al. (2012) procura explicar o processamento da informação pelo cérebro, propiciando uma abordagem ampla para a cognição humana. A TMC é, declaradamente, uma teoria contextualista e construtivista. Os autores apresentam o desafio 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., 2004, p.2321). 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., 2004. p.2321. tradução nossa)

A capacidade do cérebro humano de complementar o processamento de informações com o uso de sistemas físicos organizados é para os autores deste artigo, uma das suas melhores características, e culmina com a invenção dos computadores. Os autores salientam também que mesmo antes do surgimento do computador, o cérebro humano já se utilizava de mediações externas auxiliares, porém essas eram mediações físicas do ambiente, objetos, sistemas simbólicos e artefatos. Essa mediação, para os autores, era denominada de mediação **psicofísica cultural**. Um exemplo dessa mediação é utilizar as formas criadas por limalha de ferro quando expostas a um campo magnético para descrever o campo elétrico. Explanamos melhor a analogia: uma ideia emergente da cultura – as linhas de campo elétrico – é representada em analogia à disposição que limalha de ferro assume na presença de um campo magnético, disposição esta realizada pela física do ambiente, que atual como um “processador”, se utilizamos uma analogia com sistemas computacionais.

A cognição humana é, segundo as ciências cognitivas, o resultado de processamento de informações e uma parte importante desse processamento é realizado fora do cérebro – de forma corriqueira! Nesse sentido, utilizamos o processamento externo através da interação com estruturas do ambiente para aumentar a capacidade de processamento de informações feitas pelo cérebro. Por exemplo, quando utilizamos um computador para processar informações, ou mesmo realizar um cálculo mais complexo, estamos utilizando-o como um mecanismo externo de mediação. Para tanto, precisamos construir alguns mecanismos internos que nos possibilite manusear este computador e compreender não somente o seu processamento, mas também as informações que ele está nos oferecendo. Estes mecanismos internos é que tomam possível a utilização dos mecanismos externos e são chamados pelos autores de drivers, tecendo uma analogia à computação, própria a linha de abordagem baseada na metáfora computador-cérebro da psicologia cognitiva.

OS DRIVERS

A TMC interpreta os drivers como os dispositivos que trabalham como “máquinas virtuais” internas, que possuem um papel importante na definição do pensamento humano no contexto da mediação e vão para além da “conexão” com o mecanismo externo: Isto significa que para garantir o processo de mediação cognitiva com um mecanismo externo, nosso cérebro cria competências específicas para se comunicar com este mecanismo, que é um auxiliar no processamento de informação, e a partir dessa mediação, adquire um ganho de processamento de informações **que se mantém**

mesmo que a conexão com o mecanismo externo seja interrompida. E esse ganho de processamento de informações é considerado pelo autor como aquisição de conhecimentos, e por nós como aprendizagem. Souza et al. (2004) resume este processo da seguinte forma:

A fim de integrar o processamento de informação feito pelo cérebro com um executado por mecanismos externos, é necessário que haja uma ligação lógica entre estes dispositivos. Por outras palavras, alguma forma de traduzir entradas, saídas e processamento entre eles. Isto é muito semelhante ao ter de instalar “controladores de dispositivos” de software num sistema de computador, de modo que este seja capaz de reconhecer e fazer funcionar um equipamento externo específico, tal como uma impressora, um scanner ou outro dispositivo de armazenamento. Nos seres humanos, isto pode ser conseguido por meio de uma representação mental de um sistema físico que é constituído de um conjunto de “teoremas-em-ação”, no sentido estabelecido pela teoria dos campos conceituais de Vergnaud (VERGNAUD, 1997), que são análogos ao funcionamento dinâmico do referido mecanismo externo, por conseguinte, tomando possível a um indivíduo interagir com este mecanismo externo para fins de processamento de informação. Como tal, o desenvolvimento deste “mecanismo interno” ocorre por meio da interação entre o indivíduo e o sistema físico correspondente, isto é, através do processo descrito na Epistemologia Genética de Piaget como “equilibração”. (SOUZA et al., 2012, p.2321-2322, tradução nossa)

O mecanismo externo de processamento de informações – computador interage com a estrutura cognitiva dos estudantes por mediação em função de que há a internalização de um conjunto de sistemas de signos (VYGOTSKY, 1984) capazes de fazer com que o estudante compreenda e internalize, mesmo que em parte, a informação que está sendo apresentada na tela. Esta contribuição vygotskiana é incorporada na TMC.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os alunos tiveram contato com a lei de Faraday e com a lei de Lenz durante a disciplina de Circuitos Elétricos, que é ministrada no primeiro ano do curso. Esta disciplina não utilizou nenhum programa computacional, somente situações-problemas convencionais de livros textos, e com a realização e explicação destes no quadro negro. No segundo ano, os alunos do curso têm uma disciplina anual que se chama Máquinas Elétricas, que trata do funcionamento das máquinas elétricas em geral. Nesta disciplina, perceberam-se algumas dificuldades que os alunos apresentaram no entendimento das interações e no comportamento das grandezas relacionadas com o eletromagnetismo, ainda na Unidade I da disciplina, o que motivou a utilização de uma simulação computacional. As simulações foram utilizadas para explorar conceitos fundamentais

que envolvem a lei de Faraday-Lenz durante o estudo de Eletromagnetismo, pois estas ideias servem de base para que o aluno do curso técnico em Automação Industrial avance no curso.

A delimitação do conteúdo da lei de Faraday-Lenz investigada foi tirado do livro *Eletricidade, Magnetismo e Consequências* (TAVARES, 2011) e foram definidos como:

(I) Um condutor percorrido por uma corrente elétrica cria em torno de si um campo magnético;

(II) A corrente induzida em um anel condutor se dá pela variação do fluxo magnético através da área delimitada pelo anel condutor;

(III) Se o anel condutor movimentar-se em relação ao campo magnético também terá uma corrente induzida nele;

(IV) Quanto maior for a resistência do anel condutor menor será a corrente elétrica induzida nele;

(V) Quanto maior for a variação da intensidade do campo magnético maior será o módulo da corrente elétrica induzida nele (sob o mesmo intervalo de tempo);

(VI) A corrente induzida gera um fluxo que se opõe à variação do fluxo indutor.

Um total de 22 estudantes realizou as etapas da pesquisa que consistiam de pré-testes, entrevistas após o pré-testes, pós-testes, realização dos roteiros de simulação, entrevistas após o pós-teste.

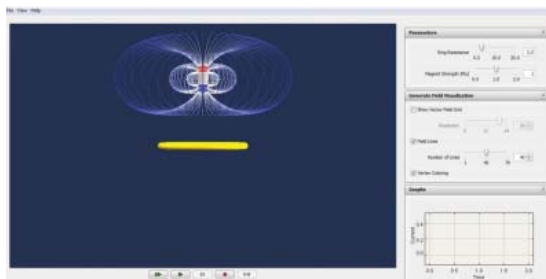
A utilização das simulações foi efetuada, pelos alunos, seguindo dois roteiros, conforme descrição abaixo:

Roteiro I

A primeira atividade de pesquisa consistiu na aplicação de um roteiro de atividades que compõe a simulação de uma situação que envolveu a queda de um ímã sobre um anel feito de material não magnético, para que o aluno pudesse analisar as variações do movimento do ímã em relação ao anel, e assim observar o comportamento da corrente induzida no mesmo. O programa computacional desta simulação foi o *fallingmagnet*¹ (queda de um ímã) que é disponibilizado por uma rede de curso aberto (*Open Course Ware*) do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Na Figura 1 pode-se observar a tela deste Simulador Computacional.

¹ Disponível em: <http://ocw.mit.edu/ans7870/8/8.02T/f04/visualizations/faraday/14-fallingmagnetapp/14-fallingmagapp320.html>

FIGURA 1 – Tela do simulador “fallingmagnet” (queda de um ímã).



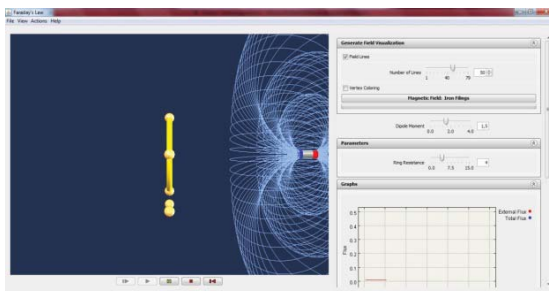
Fonte: dados da pesquisa.

Nesta primeira atividade, quatro simulações diferentes foram feitas. Os alunos foram orientados a utilizar a técnica descrita como P.O.E. (Predizer-Observar-Explicar). Esta é bem conhecida e utilizada em simulações computacionais como estratégia para promover o conflito cognitivo estabelecido durante a simulação em programas de simulação (TAO; GUNSTONE, 1999).

Roteiro II

A segunda atividade de pesquisa consistiu na aplicação de um roteiro aos mesmos alunos, e o programa computacional desta simulação foi o *faradayslaw*² (lei de Faraday) que é disponibilizado também pela rede de curso aberto do MIT. Na Figura 2, pode-se observar a tela deste Simulador Computacional. Este roteiro de atividades consiste em duas simulações diferentes. Esta simulação se diferencia da primeira, pois a primeira mostra a queda de um ímã, e esta mostra a variação constante do ímã sob o anel, como um modo gerador.

FIGURA 2 – Tela do simulador “faradayslaw” (Lei de Faraday).



Fonte: dados da pesquisa.

² Disponível em: <http://ocw.mit.edu/ans7870/8/8.02T/f04/visualizations/faraday/12-faradayapp/12-faradayslaw320.html>

Logo após esta definição dos conceitos de Eletromagnetismo, que foram trabalhados nos pré-testes, nos pós-testes e nas simulações, cada conceito foi definido, para cada aluno, em uma categoria de entendimento para que os dados fossem analisados.

As características da compreensão dos conceitos acima citados foram diferenciadas em:

- (CT) Compreensão total: quando o aluno responde de acordo com o conhecimento científico disciplinar;
- (CP) Compreensão parcial: quando ele responde as questões de forma parcialmente correta, ou seja, dentro de uma perspectiva disciplinar apresenta falhas nos conceitos, nos cálculos ou em ambos;
- (CE) Concepção espontânea: quando este utiliza suas concepções espontâneas ou alternativas para responder;
- (NC) Nenhuma compreensão ou Indefinido: quando o estudante responde de maneira inadequada ou não ofereceu resposta.

Por último, cada um dos conceitos foi classificado segundo os critérios para cada estudante, sendo que as respostas deles foram analisadas através das quatro categorias. Para obter-se uma análise fidedigna de dados qualitativos deve ser utilizado o maior número possível de instrumentos na coleta e análise dos dados. Por isso, além dos pré-testes e pós-testes, utilizamos também a análise das pré-entrevistas e pós-entrevistas e os roteiros durante a análise de alguns conceitos.

Assim, sempre que necessário, utilizávamos os roteiros na etapa “predizer” ao analisarmos os pré-testes e pré-entrevistas, e a etapa “explicar” ao analisarmos o pós-testes e a pós-entrevista ao classificar as respostas dos estudantes na análise dos pré-testes e dos pós-testes.

A classificação das respostas dos estudantes durante a análise dos dados se deu da seguinte forma, que também foi quantificada:

- ✓ CT(4) – Quando o aluno respondia as questões utilizando os conceitos corretos deste fenômeno ou o desenhava de alguma forma ou dando uma correta explicação durante a entrevista.
- ✓ CP(3) – Quando o estudante utilizava esta ideia para responder corretamente algumas questões e as utilizava de maneira incorreta em alguns momentos.
- ✓ CE(2) – Quando o estudante utilizava respostas como “Sim” ou “Não” sem uma justificativa ou sem saber a explicação correta nas entrevistas.
- ✓ NC(1) – Quando os estudantes respondiam “não sei” ou deixavam em branco as alternativas, ou não sabiam explicar o fenômeno.

ANÁLISE DOS DADOS

A análise das entrevistas se deu de maneira qualitativa, no momento da obtenção de dados das entrevistas realizadas. Estes dados foram obtidos em contato direto do pesquisador nas entrevistas que foram semiestruturadas, pois seguiam um roteiro mínimo em torno do qual todos os estudantes foram entrevistados.

A análise das respostas dos estudantes nos pré-testes e nos pós-testes se deu de maneira qualitativa, porém interpretativa, pois, no âmbito da investigação interpretativa, a opção tomada vai para a modalidade de estudo de caso qualitativo, por se pretender responder a questões de natureza explicativa, do tipo “como” e “por que”, que proporcionem uma descrição holística de um fenômeno sobre o qual o investigador não tem, nem deseja ter, qualquer controle, e que está bem identificado e delimitado (MERRIAM, 1988; YIN, 1989).

A análise qualitativa ocorreu neste momento de transformação dos dados dos pré-testes, pós-testes, pré-entrevistas e pós-entrevistas em tabelas numéricas, com isso, por meio destes resultados (quantificados) analisamos a compreensão dos conceitos pelos estudantes (antes e após o uso da simulação computacional) através de duas análises quantitativas:

Primeiramente, a análise utilizando o teste de Significância para uma média populacional (MOORE et al., 2014, p.352) ou *t-student*. Este teste visa verificar as médias de compreensão dos conceitos, em ambos os grupos, em diferentes momentos (pré-testes e pós-testes). Neste teste, a comparação entre as médias foi considerada significativa quando p era menor que 5% ($p < 0,05$);

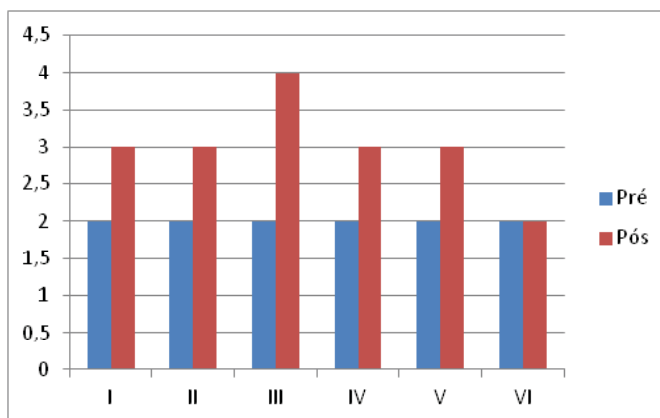
Depois, a análise através das médias aritméticas simples feita antes e depois da utilização dos softwares. Para isso foi utilizado o programa Microsoft – Excel 2010, onde foram realizados estes testes, e os resultados foram apresentados na forma de tabelas e gráficos.

Neste artigo, apresentamos os resultados de três estudantes, dois deles que apresentaram boa evolução e um deles que não apresentou.

O estudante ‘A’ mostrou que tinha uma compreensão espontânea durante todos os conceitos antes da simulação, evidenciando que ele já tinha alguns conhecimentos prévios sobre o assunto. A evolução conceitual ocorreu dos conceitos I até o V porém, no conceito VI, não houve nenhuma evolução como pode ser visto no Gráfico 1.

Nos conceitos II e III, que são os conceitos que envolvem a lei de Faraday, o estudante teve uma excelente evolução, pois atingiu o nível de compreensão total, diante deste avanço pode ser visto que a utilização do simulador computacional auxiliou na visualização e compreensão dos conceitos que envolvem essa lei.

1 – Gráfico referente à evolução conceitual do estudante 'A'.



Fonte: dados da pesquisa.

No conceito VI, que envolve as ideias da lei de Lenz, que possivelmente é a lei mais ampla em termos de conceitos, não houve esta evolução. Para o entendimento desta lei, o aluno tem de saber que surgirá uma corrente induzida em um condutor exposto à variação do fluxo magnético sobre ele (lei de Faraday). E visualizar a interação entre o campo do indutor e o campo do induzido.

Além disso, o estudante deve ter a ideia de que esta corrente induzida gerará em torno dele outro campo magnético cujo fluxo magnético desta corrente será oposto à variação do fluxo magnético indutor.

Realizando uma análise do estudante 'C', este demonstrou que também já possuía um conhecimento prévio sobre os assuntos ali propostos. Com relação à lei de Faraday, que trata dos conceitos II e III, o aluno demonstrou ter uma evolução conceitual por parte destes após a utilização do software de simulação. O estudante mostrou que tinha um conhecimento prévio em nível de “compreensão total” de que a resistência do anel influencia na corrente nele induzida (conceito IV), e também demonstrou ter um nível de “compreensão parcial” com relação ao conceito VI (diferente dos outros estudantes) que trata da interação entre o campo induzido e o campo indutor (Lei de Lenz). Este foi o único estudante que conseguiu visualizar a interação entre o campo do induzido e o campo do indutor.

O estudante 'D' mostrou, assim como os outros, que tinha uma compreensão espontânea durante todos os conceitos antes da simulação, porém teve uma pequena evolução conceitual apenas com relação aos conceitos II e III.

Em todos os outros casos o estudante não obteve uma evolução mediante a utilização do software de simulação.

Podemos dizer que os dois primeiros estudantes tiveram uma evolução conceitual, e o último foi o estudante que menos evoluiu conceitualmente na compreensão dos conceitos propostos. Possivelmente, os dois primeiros estudantes passaram a compreender alguns fenômenos eletromagnéticos de uma maneira mais completa ao visualizar a dinâmica do fenômeno que o simulador propõe, pois evoluíram nas categorias de compreensão.

Podemos observar que houve aquisição de conteúdos a partir da mediação por computador, por meio de um software de simulação computacional referente aos conceitos de eletromagnetismo. Contudo, o que se pode observar também é que onde menos existiu esta evolução foi no conceito que envolve a lei de Lenz (conceito VI), devido ao fato de esta lei ser talvez a mais completa em termos de conhecimentos de eletromagnetismo; de fato, o aluno deve ter a ideia de indução eletromagnética (lei de Faraday) e que esta corrente induzida gerará em torno dele outro campo magnético cujo fluxo magnético desta corrente será oposto à variação do fluxo magnético indutor.

Sendo assim, para uma melhor compreensão do conceito VI o aluno deve compreender simultaneamente vários outros conceitos. Diante disso, esse aprendizado, de certa forma, deve ser o que mais exige do discente os conhecimentos referentes ao eletromagnetismo. Neste sentido o software se mostrou útil para auxiliar a compreensão de quase todos os conceitos de eletromagnetismo propostos por esta pesquisa.

Continuando esta análise foi utilizado também o teste de comparação de médias *t-student* para amostras pareadas. Através deste teste percebemos que existe diferença estatística entre as médias de compreensão geral dos conceitos nos momentos antes e após as atividades com a simulação computacional.

Segundo Moore et al. (2014), o teste *t-student* se propõe a rejeitar ou não uma hipótese nula, neste caso seria com relação à análise individual de que a utilização do simulador computacional auxiliou na compreensão dos conceitos de Eletromagnetismo.

Para esta pesquisa utilizamos um valor de significância $p < 5\%$ ($p < 0,05$), para rejeitarmos ou não a hipótese nula. Abaixo, na tabela 1, pode ser visto os resultados dos testes de significância para os estudantes em questão.

TABELA 1 – Análise *t-student* dos níveis de compreensão antes e depois da simulação computacional, para cada estudante.

		I	II	III	IV	V	VI	p
Est 'A'	Pré	2	2	2	2	2	2	0,01172
	Pós	3	3	4	3	3	2	
Est 'C'	Pré	2	2	2	4	2	3	0,04219
	Pós	3	3	4	4	3	3	
Est 'D'	Pré	2	2	2	2	2	2	0,17469
	Pós	2	3	3	2	2	2	

Fonte: dados da pesquisa.

Segundo os resultados dos dados apresentados na Tabela 1, podemos aceitar a hipótese de que a utilização dos simuladores computacionais auxiliou no entendimento dos conceitos propostos, somente em alguns estudantes durante a utilização do software de simulação de eletromagnetismo. Para o estudante 'D' os resultados da significância ficaram fora do intervalo de 5%, logo, para este caso, a hipótese de que o simulador computacional auxiliou na compreensão dos conceitos de eletromagnetismo deve ser rejeitada, pois mostrou um valor de significância maior do que 5%.

O estudante 'D' praticamente não obteve uma evolução conceitual significativa, pois suas categorias de compreensão continuaram praticamente em “compreensão espontânea” para 4 dos 6 conceitos, como pode ser visto no Gráfico 3. Com isso pode-se dizer que a simulação neste caso não teve efeito significativo sobre o entendimento de eletromagnetismo para o estudante 'D'.

Os outros estudantes, segundo este teste, obtiveram um nível significativo de evolução conceitual, pois a significância ficou menor do que 5%.

Paz (2007) e Macedo et al. (2011) já comentavam que uma das maiores dificuldades apresentadas pelos alunos é esta visualização do movimento tridimensional, que neste caso pôde ser visto no simulador. Provavelmente esta interação dinâmica entre o indutor e o induzido auxiliou o entendimento desta lei por parte dos estudantes. E a possibilidade de alterar variáveis que envolvem esta lei também pode ter causado um melhor entendimento conceitual das ideias de eletromagnetismo.

Porém, a utilização do simulador computacional não se apresentou totalmente eficiente já como relatava Esquembre (2002). Principalmente com relação à evolução conceitual do conceito VI os estudantes não obtiveram uma melhora como pode ser visto no Gráfico 3. Uma análise de todos os estudantes também pode ser feita através do teste

t-student, comparando-se as médias de compreensão deles antes e depois da intervenção do simulador computacional.

Abaixo pode ser vista a tabela 2 que mostra as médias de compreensão dos estudantes e o resultado do teste *t-student*.

TABELA 2 – Análise *t-student* da média dos níveis de compreensão envolvendo todos os estudantes antes e depois da simulação computacional.

		I	II	III	IV	V	VI	p
MÉDIA DOS ALUNOS	Pré	2	2	2	2,67	2	2,33	0,02752
	Pós	2,67	3	3,67	3	2,67	2,33	

Fonte: dados da pesquisa.

Através dos resultados dos dados apresentados na Tabela 2, podemos aceitar a hipótese de que a utilização do simulador computacional auxiliou no entendimento dos conceitos propostos para todos os estudantes. O resultado da significância (p) ficou menor do que o intervalo de 5%, logo, de maneira geral para todos os casos, podemos dizer com 95% de certeza que a hipótese de que o simulador computacional auxiliou na compreensão dos conceitos de eletromagnetismo deve ser aceita, pois mostrou um valor de significância menor do que 0,05.

O estudo qualitativo se propôs a comparar as respostas dos estudantes às questões do pré-teste e dos pós-testes, juntamente com as entrevistas destes a fim de identificar possíveis aquisições de novos “*drivers*” de assimilação segundo a teoria da mediação cognitiva. Para esta análise também será estudada a questão 6 de caráter dissertativo dos testes que diz:

Escreva como se estivesse explicando para um colega, o que é indução eletromagnética. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achares necessário.

Esta é uma questão que sugere uma explicação por parte do aluno sobre a ideia central da lei de Faraday que é a indução eletromagnética.

Antes da simulação, este estudante ‘A’ não soube explicar ou responder a questão 6, deixando-a em branco. A resposta que o aluno escreveu depois da simulação foi a seguinte:

Resposta escrita (questão 6) do estudante ‘A’ após a simulação: Indução eletromagnética é uma relação entre a resistência e as linhas de campo magnético.

Ela cria uma corrente induzida em um corpo submetido a um campo magnético e em movimento. Eu utilizaria os dois softwares que o professor utilizou para explicar, porque assim eu consegui entender melhor do que estudar somente pelas apostilas e livros.

Comparando com a resposta da pós-entrevista o estudante manteve a mesma ideia comentando a importância da utilização do software:

Pós-entrevista com o aluno ‘A’ sobre a questão 6: Indução eu acho que é uma corrente induzida em um corpo imerso em um campo magnético que tem que estar em movimento no caso, pode ser o ímã ou o corpo e também tem uma relação com a resistividade e as linhas de campo magnético. E para explicar melhor para um colega eu iria utilizar um software, porque eu entendi melhor do que só olhando nos livros.

Em certo momento da pós-entrevista este estudante ‘A’ comentou o seguinte:

Pelo que eu vi no programa existe uma relação entre a resistência e a intensidade do campo magnético.

Percebemos que a utilização do simulador computacional proporcionou uma assimilação do conteúdo por parte do aluno, pois este utilizou variáveis que somente o software proporcionou. Com isso, segundo a TMC, possivelmente drivers hiperculturais foram criados neste estudante devido à utilização da simulação, ao interagir com o programa. O aluno comentou a relação entre a “resistência e a intensidade de campo”. Estes parâmetros foram alterados somente no simulador computacional. Com isso, pode ser constatado que o aluno, antes da simulação, não utilizou estes termos, somente após a simulação.

Com relação ao estudante ‘C’, antes da intervenção do simulador, este estudante já possuía uma ideia de alguns conceitos que envolviam a indução eletromagnética. Abaixo está a sua transcrição da resposta à questão 6.

Resposta escrita (questão 6) do estudante ‘C’ antes da simulação: É quando um campo magnético em movimento consegue gerar algum outro tipo de energia, podendo ser elétrica etc.

Percebe-se que este estudante já possuía *drivers* com relação à lei de Faraday, pois alguns termos como campo magnético e movimento, foram utilizados por ele para

explicar a indução eletromagnética. Na sua pós entrevista o estudante confirma isso, como pode ser visto abaixo.

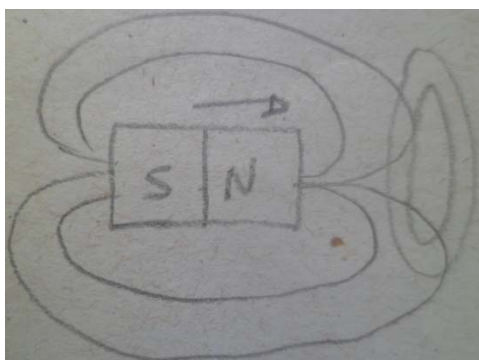
Pré-entrevista com o aluno 'C' sobre a questão 6: Seria um campo magnético que esteja variando, no caso as linhas de campo, devido a aproximação ou afastamento de algum objeto que possa influenciar estas linhas, e a partir disso ele consiga gerar alguma força ou corrente elétrica.

Analisando o momento após a intervenção do simulador, o estudante teve um ganho cognitivo com a mediação do computador, pois ele responde à questão 6 de maneira mais completa e utiliza parâmetros conceituais que foram alterados no na modelagem apresentada no simulador, tais como a resistência do condutor e a variação da intensidade de campo do ímã. Abaixo, podemos ver a resposta do estudante 'C' após a utilização do simulador.

Pós-entrevista com o aluno 'C' sobre a questão 6: Quando as linhas de campo magnético variam, são cortadas por um anel, se esse anel tiver uma alta resistência e o ímã não for tão intenso não haverá corrente.

Abaixo pode ser visto o desenho (Figura 3) que o aluno fez para explicar esta questão.

FIGURA 3 – Desenho apresentado pelo estudante 'C' para explicar a questão 6 no pós-teste.



Fonte: dados da pesquisa.

Percebe-se que este estudante se apropriou de parâmetros utilizados no simulador para tentar explicar o que seria a indução eletromagnética, e claramente este desenho representa o que acontece no programa. Esta foi uma nova representação exposta pelo

estudante que produziu um novo driver ou uma “máquina virtual” que representou o mecanismo externo, com isso Souza (2004, p.81) comenta que houve uma internalização parcial dos mecanismos externos. Percebe-se que houve um ganho no processamento de informações, pois mesmo na ausência do mecanismo externo o aluno reproduziu o que o simulador propôs (Figura 1). Isto, segundo nosso referencial teórico é evidencia de aprendizado.

Assim como os outros estudantes, o ‘D’ também já tinha algumas ideias prévias sobre o assunto. Abaixo está transcrita a resposta dele para a questão 6.

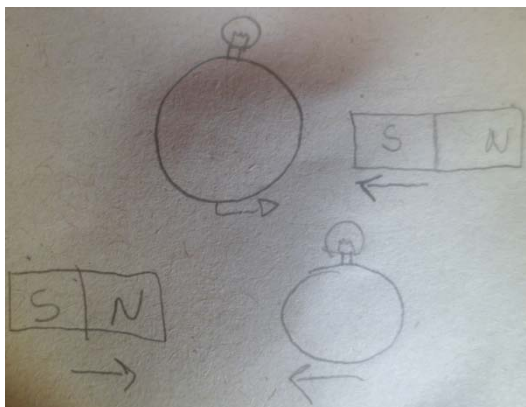
Resposta escrita (questão 6) do estudante ‘D’ antes da simulação: Controlar o campo magnético orientando os ímãs elementares.

A resposta da questão 6, após a utilização do simulador, foi diferente e o aluno constatou o seguinte:

Resposta escrita (questão 6) do estudante ‘D’ antes da simulação: Ficar passando o ímã entre o anel irá variar o fluxo magnético.

Agora, neste caso, temos uma figura diferente (Figura 4). Ao contrário do estudante ‘C’, o estudante ‘D’ não tenta esboçar as linhas de campo magnético, contentando-se apenas com o desenho dos objetos reais (psicofísicos) representados pelo programa (anel, lâmpada e ímã), sem representar as linhas de campo magnético (cultural).

FIGURA 4 – Desenho apresentado pelo estudante ‘D’ para explicar a questão 6 no pós-teste.



Fonte: dados da pesquisa.

Assim, existe uma evidência tênue, porém clara, da relação entre a aquisição de representações e drivers e evolução conceitual: o estudante que não apresentou evolução conceitual também não demonstra adquirir drivers específicos das linhas de campo, representação criada por físicos para explicar o eletromagnetismo.

Uma característica importante desta atividade computacional foi a possibilidade da visualização das linhas de campo magnético em três dimensões pelos alunos, o que não é possível sem a utilização destes, ou seja, o simulador tornou visível o que é invisível, e a aquisição ou não destas representações (fruto da análise qualitativa) parece ter influenciado o aprendizado conceitual dos estudantes (como resultado da análise quantitativa).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Iniciamos este trabalho com o objetivo de investigar se o uso de softwares de simulação auxiliaria no aprendizado de conceitos de Eletromagnetismo, servindo como ferramentas de processamento extracerebral para a evolução destes conceitos.

Percebemos, no segundo ano do curso técnico integrado de Automação Industrial, que os estudantes apresentavam dificuldades no entendimento das interações e no comportamento das variáveis eletromagnéticas no espaço, mesmo já tendo um contato com o assunto da lei de Faraday-Lenz no primeiro ano do curso, resolvendo questões de livros didáticos.

A utilização de um teste padronizado internacionalmente, como pré-teste e como pós-teste, se mostrou adequado para constatar as evoluções conceituais (análise quantitativa) dos alunos no tocante ao entendimento da lei de Faraday-Lenz, antes e depois da utilização do simulador computacional. Devido ao fato deste teste ter sido refinado e melhorado, ele abarca todas as possibilidades desta lei.

Por meio do contato com o mecanismo de processamento externo (software de simulação) os alunos analisados tiveram parte de seu conteúdo internalizado e as informações confrontadas com os drivers existentes na estrutura cognitiva do estudante, através dos roteiros que utilizaram o método de conflito cognitivo determinado de P.O.E., o que possivelmente causou a criação de novos drivers nos estudantes devido à interação hipercultural defendida por Souza (2004).

A visualização dinâmica das linhas de campo resultou na aquisição de representações e drivers de visualização de campo magnético, o que foi demonstrado nas respostas e desenhos dos alunos durante a entrevista (análise qualitativa).

Percebemos que as atividades de simulação podem contribuir para o processo de ensino/aprendizagem, se utilizadas junto a uma teoria de aprendizagem. As simulações não devem ser utilizadas sozinhas, pois certas leis Físicas, como a lei de Lenz do segundo roteiro, são mais complexas conceitualmente e se tornam mais difíceis de serem compreendidas, mesmo com simuladores computacionais.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v.4, 2004.
- BRUSCATO, G. C.; MORS, P. M. Ensinando física através do radio amadorismo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Porto Alegre, v.36, n.1, 2014.
- ESQUEMBRE, F. Computers Physics Communications. *Computers in Physics Education*, v.147, p.13-18, 2002.
- MACEDO, S. D. H. et al. Objeto de aprendizagem usando realidade aumentada para apoio ao ensino da interação dos campos magnéticos entre dois ímãs. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2011, Aracaju. *Anais...* Aracaju, p.486-495, 2011.
- MARTINS, A. A.; GARCIA, N. M. D. Ensino de Física e novas tecnologias de informação e comunicação: uma análise da produção recente. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – VIII ENPEC, 2012. Campinas. *Anais...* Campinas: 2012.
- MASSONI, N. T. Ensino de laboratório em uma disciplina de Física Básica voltada para cursos de Engenharias: Análises e perspectivas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Porto Alegre, v.31, n.2, p.258-288, 2014.
- MERRIAM, S. *Case study research in education: A qualitative approach*. San Francisco CA: Jossey-Bass, 1988.
- MONTEIRO, M. A. A. et al. As atividades de demonstração e a teoria de Vigotsky: Um motor elétrico de fácil construção e baixo custo. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, São Paulo, v.27, n.2, p.371-384, 2010.
- MOORE, D. S.; NOTZ, W. I.; FLIGNER, M. A. *A Estatística Básica e sua prática*. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, v.1, 2014.
- PAZ, A. M. D. *Atividades Experimentais e Informatizadas: contribuições para o ensino de eletromagnetismo*. Florianópolis, 2007.
- REIS, M. A. F.; NETO, A. S. D. A. *O uso de simulações computacionais no ensino de Colisões Mecânicas*, Canoas, 2004. 126p.
- RODRIGUES, C.; SAUERWEIN, I. P. S.; SAUERWEIN, R. A. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Santa Maria, v.36, n.1, 2014.
- SOUZA, B. C. D. *A Teoria da Mediação Cognitiva*. Os impactos cognitivos da Hipercultura e da Mediação Digital. Recife: [s.n.], 2004.
- SOUZA, B. C. D. 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.28, n.6, p.2320-2330, 2012.
- TAO, P. K.; GUNSTONE, R. F. Conceptual Change in Science through Collaborative Learning at the computer. *International Journal of Science Education*, 21, 1999.
- TAVARES, A. A. *Eletricidade Magnetismo e Consequências*. Pelotas: Universitária, 2011.

VITAL, A.; GUERRA, A. A natureza da ciência no ensino de Física: estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Rio de Janeiro, p.225-257, 2014.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

YIN, R. *Case study research: Design and methods*. Newbury Park: Sage, 1989.