



Experimentos de baixo custo para abordar concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples

Low cost experiments to assess alternative conceptions about the electric current in simple circuits

FRANCISCO CRISTIANO BARBOSA LIMA¹, GEOVANI FERREIRA BARBOSA¹,
FERNANDO LANG DA SILVEIRA², CARLOS ALBERTO DOS SANTOS*³

¹Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, RN, Brasil.

²Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, RN, Brasil.

Resumo

Experimentos com materiais de baixo custo, inteiramente confeccionados por alunos do 3o. Ano do Ensino Médio de uma escola pública no Estado do Ceará, foram utilizados para abordar concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples. Entrevistas clínicas realizadas com 12 alunos selecionados de acordo com o padrão de suas respostas no teste de múltipla-escolha elaborado para investigar concepções alternativas e de seus rendimentos escolares na disciplina antes do experimento, mostraram a recorrência de concepções alternativas, bem como a falta de consistência nas respostas escritas, em conformidade com relatos na literatura. As entrevistas clínicas, realizadas aproximadamente um mês após a manipulação dos experimentos, mostraram que a simples realização dos experimentos não é capaz de superar as concepções alternativas mais persistentes. Não obstante, acredita-se que o uso concomitante de experimentos e entrevistas clínicas, pode ser potencialmente útil para proporcionar mudanças conceituais. Na prática escolar, tal procedimento pode subsidiar o estabelecimento de estratégias didáticas para a superação das mais recorrentes concepções alternativas.

Palavras-chave: *Concepções alternativas. Circuitos elétricos. Corrente elétrica. Eletricidade.*

*cas.ufrgs@gmail.com

Abstract

Experiments with low cost materials, entirely made by students of the 3rd. Year of High School of a public school in Ceará State, were used to investigate alternative conceptions about simple electric circuits. Clinical interviews with 12 students selected according to the pattern of their responses in the multiple-choice test designed to investigate alternative conceptions and their school performance in the discipline prior to the experiment showed the recurrence of alternative conceptions as well as the lack of consistency in written responses, according to reports in the literature. The clinical interviews, conducted approximately one month after the manipulation of the experiments, showed that the simple accomplishment of the experiments is not able to overcome the more persistent alternative conceptions. Nevertheless, it is believed that the concomitant use of experiments and clinical interviews may be potentially useful to provide conceptual changes. In school practice, this procedure can subsidize the establishment of didactic strategies to overcome the most recurrent alternative conceptions

Keywords: *Alternative conceptions. Electric circuits. Electric current. Electricity.*

I. INTRODUÇÃO

Em sua Teoria da Aprendizagem, Ausubel (AUSUBEL, 1960; AUSUBEL, 1963; AUSUBEL, 1969; MOREIRA; MASINI, 1982) tem como premissas a importância da aprendizagem significativa em oposição à aprendizagem mecânica, e a ênfase na estrutura de conhecimento do aprendiz como determinantes para a aquisição e retenção do conhecimento. Genericamente, isso significa dizer que é a estrutura cognitiva do indivíduo o elemento mais importante no processo de ensino-aprendizagem. Quanto a isso parece não haver dúvida. Trata-se de premissa consensual na comunidade dedicada ao ensino, sobretudo ao ensino das ciências da natureza. De um modo ou de outro, com articulação conceitual um pouco diferente, isso é preconizado em trabalhos de diferentes estudiosos. Por exemplo ao propor uma pedagogia para a educação de adultos, em um processo dialógico baseado no universo vocabular do aprendiz, Paulo Freire escreve (FREIRE, 2008): quem dialoga, dialoga com alguém sobre alguma coisa (p.69). A frase sugere que essa alguma coisa é o que o aluno já sabe. Ao discutir sua teoria da aprendizagem, Bruner enfatiza que a eficiência de uma sequência de ensino depende do cabedal de informações e do estágio de desenvolvimento do aluno a quem se destina (BRUNER, 1964; BRUNER, 1975; BRUNER, 1978). O papel da estrutura cognitiva no processo ensino-aprendizagem também tem a ver com as ideias de Vygotsky a respeito do que ele define como zona de desenvolvimento proximal (IVIC, 2010; VYGOTSKY, 1978; VYGOTSKY, 1991).

Se o papel da estrutura cognitiva no processo ensino-aprendizagem é uma unanimidade entre estudiosos da área, a forma de acessá-la continua a desafiar pesquisadores de várias áreas do conhecimento. Nos anos 1970 se imaginou que testes de associação de conceitos (SANTOS; MOREIRA, 1979c) pudessem servir de instrumentos, e que os resultados desses testes pudessem ser analisados por técnicas de agrupamentos hierárquicos (SANTOS; MOREIRA, 1979a) e técnicas de escalonamento multidimensional (SANTOS; MOREIRA, 1979b).

Embora tais instrumentos pudessem ser potencialmente úteis, sua utilização foi rapidamente substituída pela ideia de mapas conceituais elaborada por Novak (NOVAK; CAÑAS, 2006), e pela ideia de que a investigação de concepções alternativas pode fornecer informações relevantes para a avaliação da estrutura cognitiva (BARKE; HAZARI; YITBAREK, 2009).

Investigar concepções alternativas tem várias consequências na prática escolar. Os resultados dessas investigações podem servir para o levantamento dos subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos alunos (AUSUBEL, 1960; MOREIRA; SANTOS, 1981; MOREIRA; MASINI, 1982) e para orientar o planejamento didático do assunto a ser abordado em sala de aula. Por outro lado, testes disponíveis na literatura para a investigação de concepções alternativas (DUIT; RHONECK, 1998; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; SHAFFER; MCDERMOTT, 1992; SHIPSTONE et al., 1988; SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989) podem ser usados como recursos didáticos para a promoção de mudança conceitual, conforme preconizam (POSNER et al., 1982).

Ao longo das últimas quatro décadas, testes sobre circuitos elétricos simples foram aplicados a estudantes de todos os níveis de ensino, da educação básica à universitária, em todos os continentes (DOMINGUEZ; MOREIRA, 1988; LIN, 2017; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; SHAFFER; MCDERMOTT, 1992; SHIPSTONE et al., 1988; SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989; SOLANO et al., 2002). Um dado surpreendente apresentado por essa literatura é que os resultados desses testes são extremamente similares em termos de concepções alternativas. Ou seja as concepções alternativas apresentadas pelos respondentes têm pouca dependência do grau de instrução anterior ao teste e da posição geográfica onde habitam.

Esses resultados proporcionaram a identificação de vários modelos mentais construídos a partir de concepções alternativas. Muitos desses modelos, embora similares, são apresentados na literatura sob diferentes designações (modelo linear, modelo não conservativo, modelo local, modelo sequencial, etc.) (BORGES; GILBERT, 1999; COHEN; EYLON; GANIEL, 1983; DUIT; RHONECK, 1998; FREDETTE; LOCHHEAD, 1980; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984; SILVEIRA, 2011). Em alguns casos há ambiguidade no rótulo, de modo que preferimos utilizar a rotulação apresentada por (ANDRADE et al., 2018):

- Modelo I A corrente elétrica é emitida pela fonte (bateria, pilha, gerador) a partir de um dos polos e é consumida durante sua passagem no circuito, de modo que sua intensidade diminui ao ultrapassar algum elemento do circuito.
- Modelo II Correntes elétricas deixam a fonte a partir de ambos os polos, sendo usadas quando se encontram nos elementos do circuito.
- Modelo III A intensidade da corrente é determinada pelo elemento através do qual ela está passando. Ela não pode ser influenciada por um elemento onde ainda não passou. Ou seja, a corrente é vista como algo que atravessa o circuito ponto a ponto, afetando cada elemento no momento que o atinge. Assim, uma mudança em um ponto do circuito não afeta o comportamento do circuito nos pontos anteriores.
- Modelo IV A corrente é uma propriedade exclusiva do gerador. Ela é independente dos demais elementos do circuito.

Além dos testes mencionados acima, muitos pesquisadores têm usado entrevistas clínicas para melhorar o acesso à estrutura cognitiva ou para realizar inferências a respeito dos modelos mentais utilizados por sujeitos submetidos a diferentes tarefas experimentais ou respondendo a esses testes (ANDERSON, 1965; CODD, 1981; DOMINGUEZ; MOREIRA, 1988; DRIVER; EASLEY, 1978; NOVAK, 1973; NOVAK, 1990; PELLA; ZIEGLER, 1967; POSNER; GERTZOG, 1982).

No curso de uma intervenção pedagógica em três turmas da Escola Estadual de Ensino Médio João Barbosa Lima, em Itaiçaba (CE) (indicador de nível socioeconômico (INSE) baixo, conforme classificação do INEP), utilizamos um teste elaborado a partir de questões propostas por (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992) e (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989), para verificar se após a instrução os alunos possuíam concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Designaremos esse teste pela sigla SMAMcD, que significa a junção de questões extraídas de Silveira, Moreira & Axt. (1989) e de McDemortt & Schaffer (1992).

Após o teste, os alunos realizaram experimentos com circuitos por eles construídos, utilizando materiais de baixo custo, para reexaminar, na prática, as questões do teste. No final da intervenção pedagógica, entrevistamos um grupo de alunos, selecionados de acordo com critérios definidos a seguir, para explicitação de suas respostas no teste escrito. Conforme detalharemos na sequência, nossos resultados mostraram que:

- São fortemente persistentes as concepções alternativas.
- A confirmação dos modelos mentais mostra que o fenômeno independe da localidade e do nível de aprendizagem formal da população.
- A realização de experimentos para proporcionar mudança conceitual deve ser orientada com muita atenção, caso contrário será ineficiente.

Embora parte do trabalho realizado e aqui relatado tenha elementos de uma pesquisa científica, o objetivo central do presente trabalho refere-se ao relato da implementação de uma intervenção didática para abordar conceitos de eletricidade e magnetismo no ensino médio, tendo como base a existência de concepções alternativas relatadas na literatura, e corroboradas por nossas observações através do teste SMAMcD e de entrevistas clínicas. Em rotina de sala de aula, tais concepções foram abordadas em experimentos de baixo custo, com o uso de circuitos elétricos construídos pelos alunos.

II. TESTE SMAMcD PARA EXAMINAR CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS EM CIRCUITOS ELÉTRICOS SIMPLES

O teste utilizado nesse estudo consta de 10 questões de múltipla escolha, sendo quatro extraídas de (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992) e seis extraídas de (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989). Objetivos, conceitos e concepções alternativas associados a cada questão são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: *Objetivos, conceitos e concepções alternativas associados a cada questão.*

1	Relacionar corrente e luminosidade das lâmpadas; modelo do consumo de corrente; sentido da corrente elétrica no circuito.
2	Noção de circuito em paralelo; modelo IV, ou seja a bateria é uma fonte de corrente constante.
3	Continuidade da corrente elétrica.
4	Circuito misto, paralelo e em série; modelo III.
5	Modelo do consumo de corrente; sentido da corrente.
6	Papel de um interruptor; efeito de um curto-circuito.
7	Continuidade da corrente elétrica.
8	Noção de circuito em paralelo.
9	Circuito misto, paralelo e em série; modelo III.
10	Modelo do consumo de corrente; modelo III.

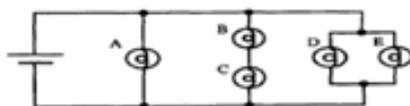
III. ENTREVISTAS

As entrevistas foram elaboradas e conduzidas como propõem Posner e Gertzog (1982), os quais por sua vez inspiraram-se no trabalho de Piaget (HUANG, 1943). Para eles, assim como para Piaget, a entrevista clínica é a arte do questionamento em busca da compreensão do que está por trás das coisas aparentes. Nesse sentido, quando um aluno dá uma resposta errada ou incompreensível, o entrevistador não deve nem corrigi-lo, nem ficar satisfeito com a resposta errada. Ele deve instigar o aluno a mostrar por que ele deu aquela resposta. Ou seja, o entrevistador deve buscar o que está por trás daquela resposta errada. Uma das alternativas sugeridas por (POSNER; GERTZOG, 1982) é induzir o entrevistado a falar o mais livremente possível. Em suma, o procedimento básico da entrevista clínica para avaliar a estrutura cognitiva inclui duas estratégias importantes:

1. Flexibilidade, de modo que o entrevistador habilidoso possa extrair informações pertinentes à área sob investigação, ao mesmo tempo em que deixa o entrevistado falar livremente.
2. Promover o confronto epistemológico (POSNER; GERTZOG, 1982) quando o entrevistado dá indícios de trabalhar com alguma concepção alternativa não usual.

Depreende-se do que foi dito acima, que se trata de um processo complicado, sem previsão de tempo para execução. Tudo depende da reação dos entrevistados às provocações do entrevistador. Por isso decidimos selecionar 15% da população de alunos. Ou seja, dos 80 alunos participantes no estudo, 12 foram selecionados para entrevistas, as quais foram realizadas via WhatsApp, um mês após a realização do pós-teste com manipulação dos circuitos montados pelos estudantes, conforme será descrito na sequência. Para se ter ideia do procedimento típico da condução das entrevistas, transcreveremos na íntegra a entrevista de um aluno, referente à questão 2 (Figura 1).

02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.



- a) $A=D=E>B=C$
- b) $A=D=B=C=E$
- c) $A>B=C>D=E$

Figura 1: Questão 2 do teste SMAMcD

A entrevista inicia com a apresentação da figura da questão e segue com um diálogo desse tipo:

[20:17] Entrevistador: Qual a alternativa correta?

[20:18] Aluno: Letra (a).

[20:18] Entrevistador: Por quê?

[20:18] Aluno: Pois A, D e E estão em paralelo.

[20:18] Aluno: B e C em série.

[20:19] Aluno: Então, as que estão em paralelo brilham mais.

[20:19] Aluno: E as em série brilham menos.

[20:20] Entrevistador: Por que o fato de B e C estarem em série faz com que elas brilhem menos?

[20:20] Aluno: Pois a corrente tem mais dificuldade para percorrer o fio. Tem mais resistência.

[20:21] Entrevistador: OK!

Comentário: Nenhum dos alunos respondeu claramente essa questão, e alguns tiveram muita dificuldade em respondê-la. Depois de todas as entrevistas, decidimos selecionar um aluno para aprofundar o questionamento. Esse aluno foi selecionado por duas razões: por um lado, ele deixou claro que trabalhava com o sentido da corrente eletrônica e não com o sentido da corrente convencional. Queríamos confirmar isso dois dias depois da sua entrevista. Por outro lado, ele foi um dos que apresentaram respostas mais consistentes. Apresentamos a figura da questão 2, com o sentido da corrente convencional para testar a percepção do aluno.

[15:43] Entrevistador: Veja as correntes nessa figura.

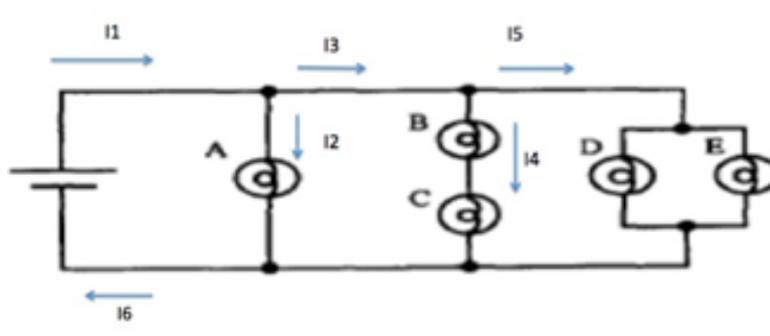


Figura 2: Circuito apresentado ao aluno na entrevista referente à questão 2.

[15:44] Entrevistador: Consegue identificar quais são iguais, e quais são maiores. Melhor, você consegue ordená-las pela intensidade?

[15:45] Aluno: A seta tá indicando o sentido da corrente?

[15:46] Entrevistador: Isso!

[15:46] Aluno: Se ela estiver indicando acho que está errado pois na figura ela está partindo do polo positivo.

Comentário: De fato o aluno raciocina em termos da corrente eletrônica, e não da corrente convencional.

[15:48] Entrevistador: Suponha que os polos estejam invertidos. O positivo da figura é o negativo.

[15:48] Aluno: Tá bom.

[15:50] Aluno: I_1 , I_3 , I_5 e I_2 são iguais.

[15:51] Aluno: I_4 está entre B e C?

[15:52] Entrevistador: I_4 está passando por B e C.

[15:53] Aluno: I_4 é menor que I_1 , I_3 , I_5 e I_2 .

[15:53] Entrevistador: E I_6 ?

[15:54] Aluno: Ela terá a mesma intensidade da primeira corrente.

[15:55] Entrevistador: Por quê?

[15:56] Aluno: Pois mesmo que ela passe pelas resistências ela chegará ao polo com o mesmo valor.

[15:57] Entrevistador: Agora diga-me, por que a corrente circula do polo negativo para o positivo?

[15:58] Aluno: Pois corrente elétrica tem elétrons e eles têm cargas negativas. Então eles serão atraídos pelo polo positivo.

[15:59] Aluno: E a corrente vai ter esse sentido do negativo para o positivo.

Mais adiante apresentaremos os resultados de todas as entrevistas de acordo com as concepções alternativas exibidas pelos alunos, ou seja, usaremos as seguintes categorias para agrupar as entrevistas:

- Sentido da corrente no circuito;

- Conservação espacial e consumo de corrente;
- Raciocínio local e raciocínio sequencial.

IV. EXPERIMENTOS COM MATERIAL DE BAIXO CUSTO

Embora a metodologia usada no presente estudo não seja genuinamente o que se conhece genericamente como Ensino Baseado em Projeto (EBP), ou Project-Based Learning, como usualmente aparece na literatura internacional (BARP, 2016; BLUMENFELD et al., 1991; KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006; NEHRING et al., 2000; RODRIGUES B. A., 2008), podemos dizer que nossa abordagem pedagógica enquadra-se no EBP e alinha-se com as iniciativas de uso de materiais de baixo custo (AXT; MOREIRA, 1991).

De acordo com (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006), a ideia de ensino baseado em projeto tem origem em John Dewey, no início do século 20, quando ele começou a usar o que denominou de *process of inquiry*. Para Dewey, *students will develop personal investment in the material if they engage in real, meaningful tasks and problems that emulate what experts do in real-world situations* (Apud (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006)). Um século depois, muitos refinamentos desse *insight* foram apresentados, mas a ideia central continua a mesma, o que pode ser sinal de sua consistência e relevância.

As concepções modernas do EBP englobam elementos dos estudos de Vygotsky, Piaget e Ausubel (BARP, 2016). A estrutura básica de um projeto de EBP deve levar em conta cinco fundamentos (KRAJCIK; BLUMENFELD, 2006):

- a) engajamento dos estudantes na investigação de uma questão ou problema da vida real, de tal modo a orientá-los no sentido da organização de conceitos e princípios;
- b) desenvolvimento de produtos, por parte dos estudantes, correlatos à questão levantada;
- c) habilitação dos estudantes para o envolvimento em investigações;
- d) envolvimento de estudantes e professores como membros de uma comunidade de investigação e que colaboram em torno da solução de um problema;
- e) incentivar os estudantes ao uso de ferramentas cognitivas, tais como gráficos, software e animações computacionais, modelos pertinentes ao problema sob investigação, etc.

A ideia que está por trás do EBP é uma metáfora. O aluno é orientado para proceder como se cientista fosse. Portanto, convém que a *questão ou problema da vida real* tenha a ver com diferentes aspectos cognitivos. Pode envolver a necessidade da construção de artefatos, a solução de uma questão teórica ou a simples reflexão em torno de uma ideia abstrata. Por exemplo, em sua dissertação de mestrado, Jefferson Barp (2016) usou o EBP para tratar, com alunos do 9o Ano do Ensino Fundamental, a questão Onde há Física no seu cotidiano? Em grupos de até quatro participantes, os alunos utilizaram diferentes fontes (livros, artigos, internet) para responder à questão básica referente a: motocross, culinária, lâmpadas, celular, computador, música, entre outros temas.

No presente trabalho, os alunos tinham como objetivo construir os circuitos correspondentes a todas as questões do teste SMAMcD, utilizando sucatas e material de baixo custo.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Montagem de um dos circuitos; (b) Vista das conexões.

Portanto, se não tinham um *problema* a resolver, como é típico no EBP, eles tinham uma *missão* a cumprir.

I. Confecção e uso dos circuitos

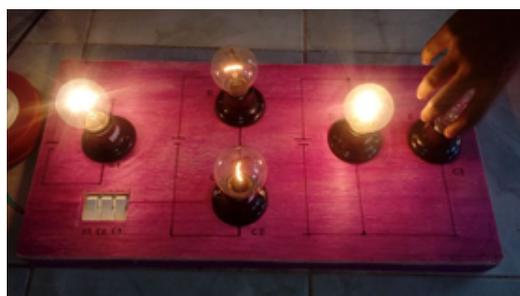
Os alunos construíram os circuitos com o teste SMAMcD em mãos. Aqueles do matutino já tinham respondido as questões a título de pré-teste, ao passo que os do vespertino e do noturno só responderam ao teste depois de montados os circuitos. O presente trabalho não é o relato de uma pesquisa desenhada conforme critérios científicos de escolha apropriada de grupos experimentais e de controle. As turmas foram definidas pelos critérios administrativos da escola. Portanto, qualquer tentativa de comparação entre as turmas é meramente qualitativa. Ou seja, podemos considerar que este trabalho relata três experimentos similares, mas independentes. Na avaliação do professor que aplicou a intervenção didática (FCBL), a turma do matutino teve ao longo do primeiro semestre rendimento escolar superior aos das turmas do vespertino e noturno. Por isso resolvemos aplicar o procedimento usual ao matutino, e usamos os alunos do vespertino e do noturno para complementar nossas observações a partir das entrevistas clínicas.

Convém chamar a atenção para o fato de que essa intervenção didática que aplicamos implica que o pós-teste seja respondido com quase 100% acertos, o que de fato ocorreu em todas as três turmas. No entanto isso não significa a superação das concepções alternativas, como demonstram as entrevistas.

As Figs. 3a e 3b ilustram fases da montagem. As Figs. 4a e 4b. ilustram momentos de resposta ao teste com a manipulação dos circuitos.

V. RESULTADOS

Participaram do estudo 80 alunos do 3o ano do ensino médio da escola já mencionada. Foram 30 alunos no turno matutino (turma EnsMedM), 35 no vespertino (turma EnsMedV) e 15 no noturno (turma EnsMedN). Durante o primeiro semestre os alunos tiveram aulas com abordagem didática habitual, com o uso do livro-texto adotado na escola (BISCUOLA; BôAS;



(a)



(b)

Figura 4: (a) Manipulando o circuito para responder a questão 1; (b) Manipulando o circuito para responder a questão 6.

Tabela 2: Respostas ao pré-teste SMAMcD, dos nove alunos do turno matutino selecionados para entrevista clínica. As alternativas corretas são apresentadas abaixo do número de cada questão. O total de respostas corretas de cada aluno é apresentado abaixo de seu respectivo nome fictício.

	(1) A	(2) A	(3) B	(4) C	(5) C	(6) A	(7) A	(8) C	(9) B	(10) A
Aluna1 (3)	B	C	B	B	A	C	C	C	A	A
Aluno2 (5)	A	A	A	B	B	A	C	C	B	B
Aluna3 (2)	C	C	A	A	C	A	B	B	A	B
Aluno4 (1)	C	B	B	A	A	B	B	B	C	B
Aluna5 (3)	A	C	C	C	B	C	C	B	A	A
Aluna6 (7)	A	C	B	C	C	A	A	C	A	B
Aluno7 (2)	A	C	C	B	A	C	C	C	C	C
Aluna8 (1)	C	C	B	C	C	A	A	C	B	B

DOCA, 2007). No início do segundo semestre, o teste SMAMcD foi aplicado à turma do matutino, à guisa de pré-teste, apenas para termos ideia que tipo de concepções alternativas eles apresentariam depois de um semestre de estudo convencional. Em seguida, as turmas foram divididas em grupos de 5 alunos e cada grupo tinha como missão construir circuitos idênticos àqueles apresentados nas questões do teste SMAMcD. Quando todos os grupos concluíram suas tarefas, eles responderam as questões do teste manipulando os circuitos.

Depois dessa fase, 12 alunos foram selecionados para entrevista clínica, conforme explicamos na seção 3. Priorizamos os alunos do matutino, porque a eles foi aplicado o procedimento usual para esse tipo de estudo. Então, foram selecionados oito alunos do matutino, em função de suas respostas no pré-teste; um aluno de alto rendimento escolar e um de baixo rendimento da turma vespertina e do noturno, conforme a avaliação do professor responsável pela aplicação da intervenção didática (FCBL). Na tabela 1 são apresentadas as respostas ao pré-teste dos alunos do matutino. Conforme explicado acima, os alunos do vespertino e do noturno não fizeram o pré-teste.

I. Natureza e sentido da corrente elétrica em circuitos simples

Uma das concepções alternativas mais recorrentes e persistentes tem a ver com a noção do que seja a corrente elétrica. Alguns livros didáticos transmitem noções equivocadas ou noções que podem gerar equívocos, a partir da análise de circuitos simples, como uma bateria ou pilha ligada a um resistor ou uma lâmpada. É provável que parte desses equívocos estejam ligados à precisão conceitual da natureza da corrente elétrica. Vejamos como esses conceitos são apresentados em três bons livros frequentemente adotados no ensino médio e o clássico Halliday-Resnick adotado em cursos universitários.

Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga afirmam que:

(...) o estabelecimento de um campo elétrico em um fio metálico provoca um fluxo de elétrons neste condutor, fluxo este que é denominado corrente elétrica. Em um condutor metálico, sabemos que a corrente real é constituída por elétrons em movimento. Entretanto, vamos imaginá-la substituída pela corrente convencional, de cargas positivas, movendo no sentido do campo elétrico. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2006, cap 20)

No tópico 1, da parte II de sua obra, Biscuola e colaboradores definem corrente elétrica como sendo o movimento ordenado, isto é, com direção e sentido preferenciais, de portadores de carga elétrica. Ao discutir a causa da corrente elétrica, esses autores afirmam que:

Quando o fio é ligado entre as placas A e B, um campo elétrico é estabelecido no interior do fio, orientado do potencial maior para o menor. Como a carga elétrica dos elétrons é negativa, surgem neles forças elétricas de sentido oposto ao do campo. Dessa forma, os elétrons livres passam a se deslocar de B para A, criando-se, então, a corrente elétrica no fio. (BISCUOLA; BÔAS; DOCA, 2007)

Para introduzir o conceito de gerador elétrico, Biscuola e colaboradores ensinam:

Imagine que, na situação apresentada no item anterior, fosse possível acontecer o seguinte: todo elétron que chegasse à placa A fosse transportado por alguém até a placa B (...) Dessa forma, os potenciais elétricos nunca se igualariam e a corrente elétrica no fio seria mantida.

Os dois livros citados acima, expõem a analogia comumente utilizada entre corrente elétrica e fluido de água. Essa analogia é uma das fontes de concepções alternativas relatadas na literatura (STOCKLMAYER; TREAGUST, 1996), e no cap. 5 de sua obra, (GASPAR, 2010) teve o cuidado de chamar a atenção para a inadequação dessa analogia, afirmando que:

A analogia entre corrente elétrica e água corrente tem pelo menos três

grandes inadequações. A primeira se refere a aquilo que se movimenta (...). A segunda inadequação se refere à velocidade do deslocamento (...). A terceira inadequação se refere à forma de propagação da corrente elétrica (...). (GASPAR, 2010)

Todavia, apesar de fazer essas ressalvas mais do que procedentes, Alberto Gaspar faz uma concessão perigosa, ao afirmar que a analogia da corrente elétrica com a água corrente só faz algum sentido em relação à corrente contínua, na qual os portadores de carga movem-se num único sentido. Mas, a nosso ver a analogia não faz qualquer sentido. É um equívoco dizer que faz algum sentido. O próprio autor reproduz uma descrição contraditória muito frequente em textos didáticos:

Se houver um campo elétrico uniforme no interior [de um] condutor, [os] elétrons, apesar de continuar a se mover em todos os sentidos, passam a ter um movimento médio resultante em um sentido determinado o condutor é percorrido por uma corrente elétrica contínua. Se o campo elétrico no interior for oscilante, os elétrons têm também um movimento médio resultante, no entanto não mais em um único sentido, eles oscilam em torno de posições fixas o condutor é percorrido por uma corrente elétrica alternada. (GASPAR, 2010)

Desse tipo de afirmação surge a ideia equivocada de que na corrente contínua os portadores de carga se deslocam de um polo a outro da bateria. O tratamento que se dá à ideia da velocidade de arrastamento ou de deriva não tem sido suficiente para evitar a concepção equivocada. De um modo ou de outro, resta a ideia de que é o *movimento ordenado* dos elétrons que produz a corrente, e que esse *movimento ordenado* faz com que elétrons em uma corrente contínua se *desloquem* em um sentido, quem sabe percorrendo uma grande distância, e que elétrons em uma corrente alternada fiquem oscilando em torno de uma posição de equilíbrio. Obviamente isso é contraditório. Por que na corrente contínua o elétron precisa se deslocar e na alternada basta que ele fique no vai-e-vem em torno de uma posição fixa?

Alguns estudos têm demonstrado que a forma como o assunto é tratado em alguns livros didáticos do ensino médio estão associadas a muitas das concepções alternativas identificadas nos diversos testes relatados na literatura (COHEN; EYLON; GANIEL, 1983; HARTEL, 1982; HARTEL, 2012a). A sensação que se tem é que ainda não se achou uma linguagem, uma metáfora ou analogia adequadas para realizar a transposição didática do que se entende cientificamente por corrente elétrica. A questão básica que está por trás deste cenário pedagógico talvez possa ser expressa pelo título de um artigo de 1963: *o que faz a corrente elétrica fluir?* (ROSSER, 1963). Nesse artigo, Rosser discute qualitativamente a importância das cargas superficiais como guia da corrente elétrica. Anos depois a questão foi formalizada por outros autores, sobretudo (ASSIS; HERNANDES, 2007; HARBOLA, 2010; HARTEL, 2012b; HEALD, 1984; JACKSON, 1996; RUSSELL, 1968; VARNEY; FISHER, 1984; WELTI, 2005). Podemos resumir o que tratam esses artigos, no contexto do presente

trabalho, da seguinte maneira.

Não importa aqui saber precisamente como funciona uma fonte de força eletromotriz, até porque existem diferentes tipos, com diferentes mecanismos para produzir o mesmo efeito, qual seja a acumulação de cargas positivas em um dos seus polos, e de negativas no outro, e a capacidade de repor essas cargas por meio de forças não eletrostáticas. O fato primordial no presente contexto, é que ao ser ligada a fonte, essas cargas geram campos elétricos, os quais afetam as cargas nas proximidades, com efeito inversamente proporcional ao quadrado da distância, conforme as leis de Coulomb e de Gauss. O que acontece nos momentos imediatos em todo o circuito e no espaço externo é formalmente muito complexo, mas podemos definir um cenário qualitativamente compreensível.

Depois de um curto intervalo de tempo inicial, denominado transiente, os elétrons livres migram para ou das superfícies dos condutores metálicos, formando uma estrutura de cargas superficiais, as quais geram campos eletrostáticos responsáveis pela circulação de corrente no interior dos condutores. Ou seja, o fluxo de corrente é determinado pela ação da fonte de força eletromotriz (bateria, pilha ou gerador) e pelos campos eletrostáticos criados pelas cargas superficiais negativas ou positivas. Os sinais de campo elétrico que conduzem a corrente são transmitidos a velocidades próximas à da luz (no espaço vazio esses sinais são transmitidos exatamente à velocidade da luz). Isso faz com que na prática possamos imaginar a transmissão instantânea do sinal elétrico.

Em suma, não é o elétron que sai do polo negativo e eventualmente chega ao polo positivo o responsável pela corrente elétrica. A corrente elétrica é consequência de campos elétricos criados pelas cargas superficiais e pela transmissão quase instantânea das variações de campos elétricos no interior do condutor¹.

Essa associação da corrente elétrica às cargas superficiais não é adotada pelos principais autores de livros didáticos. Halliday-Resnick (cap. 28) apresenta o modelo de corrente elétrica como movimento ordenado dos elétrons sem entretanto referir que o campo elétrico existente internamente aos condutores é dependente de cargas na superfície dos mesmos:

Campos elétricos atuam no interior [do condutor], exercendo forças sobre os elétrons de condução e estabelecendo uma corrente. Depois de um curto espaço de tempo, o fluxo de elétrons alcança uma condição estável. A situação é, então, análoga à do fluxo fluido constante (...).

A adição de uma bateria impõe uma diferença de potencial. Um campo elétrico surge dentro do condutor e produz cargas que se movimentam ao redor da malha, constituindo uma corrente.

(HALLIDAY; RESNICK, 1981)

É inevitável associar o texto acima à ideia equivocada de que na corrente contínua o elétron sai de um polo e chega ao outro. Vejamos como os estudantes do ensino médio do presente estudo e de estudantes do curso de engenharia da UFRGS em um estudo de 1989 (Silveira et al., 1989) comportam-se frente a essas questões.

¹Um bom material em português sobre as cargas superficiais e a corrente elétrica encontra-se em Cargas Superficiais O Elo Perdido dos Circuitos (<http://www.energiaeletrica.net/cargas-superficiais/> - acessado em 02/04/2018).

De um modo ou de outro, todas as questões do teste SMAMcD permitem a investigação da natureza e o sentido da corrente em circuitos elétricos simples, se a investigação é feita a partir de entrevista clínica. Pelas respostas escritas, apenas as questões 5 e 7 permitem inferência sobre o sentido da corrente adotado pelo respondente, e mesmo assim, apenas se ele também possui a concepção alternativa do consumo de corrente. Caso contrário resta a dúvida nas respostas ao teste sobre qual o sentido da corrente adotado pelo aluno. Vamos supor que ele trabalha com a ideia do consumo de energia. Então, se ele escolhe a opção (a) na questão 5, provavelmente ele imagina a corrente indo do polo positivo para o negativo. Se ele escolhe a opção (b), provavelmente imagina que a corrente vai do polo negativo para o positivo. Se ele acerta a questão, escolhendo a opção (c), não há como saber o que ele pensa a respeito do sentido da corrente.

Na questão 7 a situação é similar. Se o respondente escolhe a opção (b), provavelmente imagina a corrente circulando do polo positivo para o negativo. A corrente deve circular no sentido contrário para quem escolhe a opção (c). A opção correta, (a), é compatível com qualquer sentido.

Conforme consta na Tabela 1, referente ao pré-teste SMAMcD, dos nove alunos da turma EnsMedM selecionados para a entrevista, quatro escolheram a opção (a) na questão 5, e dois escolheram a opção (b). Ou seja, provavelmente a metade dessa seleta amostra imagina a corrente circulando do polo positivo para o negativo. Todavia, como relatado em estudo anterior (ANDRADE et al., 2018) e nas entrevistas aqui realizadas, as respostas dos alunos nem sempre são consistentes. Por exemplo, quem escolheu a opção (a) na questão 5, provavelmente trabalha com a ideia do consumo de corrente e imagina a corrente circulando do polo positivo para o negativo, e portanto deveria escolher a opção (b) na questão 7. Nesse sentido, apenas o Aluno5 foi consistente. Por outro lado, quem escolheu a letra (b) na questão 5, deveria escolher a letra (c) na questão 7. Neste caso, foram consistentes os respondentes Aluno2 e Aluno6. Esse tipo de ambiguidade só pode ser resolvida por meio da entrevista clínica.

As respostas durante as entrevistas foram em geral condicionadas pelos experimentos, realizados um mês antes. Ou seja, em geral os alunos do matutino corrigiram os erros cometidos no pré-teste. Por exemplo, todos os alunos responderam corretamente a questão 5, enquanto no pré-teste apenas os alunos 3, 7 e 8 acertaram a questão.

Com relação ao sentido da corrente elétrica, apenas o Aluno2 mostrou que de fato trabalha com a ideia de corrente eletrônica, ou seja corrente de elétrons, do polo negativo para o positivo. Todos os outros alunos afirmaram que o sentido da corrente é do polo positivo para o negativo, e todos os outros mencionaram que se tratava da corrente convencional.

II. Conservação espacial e consumo de corrente

As questões 2, 5 e 7 do teste SMAMcD foram elaboradas para investigar a concepção científica da conservação espacial da corrente, e a concepção alternativa do consumo de corrente. Na seção anterior as questões 5 e 7 foram discutidas em relação ao sentido da corrente. A seguir são apresentadas as respostas dos alunos em função da ideia do consumo de corrente. Quem escolhe os itens (a) e (b) na questão 5, provavelmente trabalha com a ideia do consumo de corrente. As entrevistas clínicas com os 12 alunos selecionados

sugerem que essa concepção alternativa foi superada durante os experimentos.

Todos os alunos manipularam os circuitos com as questões um mês antes das entrevistas, e responderam a questão 5 (SMAMcD) corretamente, com frases do tipo as três lâmpadas têm o mesmo brilho porque elas estão ligadas em série (Aluno3). No entanto, esse mesmo aluno deu indícios da concepção alternativa do consumo de corrente ao responder a questão 2 do teste SMAMcD (ver Quadro A1, nos anexos). No pré-teste ele optou pela alternativa (c), como se vê na Tabela 1. Essa alternativa corresponde à ideia de que a corrente vai sendo consumida à medida que passa por cada ramo do circuito em paralelo. Durante a entrevista esse aluno apresentou sinais de conflito cognitivo. Inicialmente ele escolheu a alternativa correta, (a), provavelmente induzido pelo que vira durante a manipulação do circuito, mas quando o entrevistador propôs uma pequena alteração no circuito, o aluno apresentou justificativas equivocadas:

[15:53] Entrevistador: *Vamos imaginar que o circuito só contenha as lâmpadas A, B e C. Neste caso, quem brilha mais?*

[15:54] Aluno3: *A lâmpada (a).*

[15:55] Entrevistador: *Explique por que a lâmpada A brilha mais.*

[16:00] Aluno3: *Porque a lâmpada A está isolada sendo que a corrente terá que passar primeiro por ela.*

[16:00] Entrevistador: *Passa primeiro por ela, e então, o que acontece?*

[16:06] Aluno3: *Como a corrente passa primeiro por ela terá mais brilho que as lâmpadas B e C*

[16:08] Entrevistador: *Você quer dizer que sobra menos corrente para B e C, é isso?*

[16:19] Aluno3: *Acho que sim.*

Além de servir para examinar as concepções referentes à conservação espacial e consumo de corrente, a questão 7 do teste SMAMcD (ver Figura 6, nos anexos) serve para avaliar o domínio que os estudantes têm a respeito da associação de resistências. Para alguns estudantes o que importa é o total de resistências, e não a forma como estão conectadas no circuito. Esse tipo de raciocínio já foi relatado em testes com estudantes do ensino médio e da universidade (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; SEBASTIA, 1993).

Um caso interessante de modelo de consumo de corrente foi exibido pelo Aluno11, pertencente à turma EnsMedV, ao responder a questão 7, durante a entrevista clínica. Como todos os outros alunos, ele escolheu a alternativa correta (a), mas ao ser questionado pelo entrevistador apresentou conflitos cognitivos interessantes.

[16:05] Aluno11: *Alternativa (a), pois acho que tanto para L1 como para L4 têm a resistência.*

[16:07] Entrevistador: *Se a resistência de L1 fosse menor do que a de L4, o que aconteceria?*

[16:08] Aluno11: *O brilho de L1 seria maior, pois a corrente passaria sem nenhum obstáculo.*

Comentário: *O aluno não apresenta a concepção científica da conservação de carga, ou da continuidade da corrente.*

[16:15] *Se L3 for retirada do circuito, o que acontece em termos dos brilhos em L1, L2 e L4?*

[16:17] *Aluno11: O brilho seria igual para L1, L2 e L4.*

[16:18] *Entrevistador: Seria maior ou menor do que o brilho anterior?*

[16:19] *Aluno11: Seria menor*

[16:20] *Entrevistador: Por quê?*

[16:21] *Aluno11: Me enganei. Acho que seria maior pois agora além de ter uma lâmpada a menos, elas estão em serie.*

Para esse aluno, o fato de ter menos lâmpada aumenta o brilho porque tem menos fontes de consumo.

Aparentemente, a questão da conservação de carga e conservação espacial da corrente é muito séria no ensino médio. Menos da metade dos alunos da turma EnsMedM acertou a questão 7 no pré-teste SMAMcD. Exatamente 47% acertaram, 26% optaram pela alternativa (b) e 27% pela alternativa (c). Este resultado é similar àquele obtido por (ANDRADE et al., 2018) para a mesma questão (47/15/38).

Nenhum aluno justificou sua resposta alegando a continuidade ou conservação espacial da corrente.

No pré-teste, o Aluno2 escolheu a opção (c). Como já foi dito acima, esse aluno trabalha com a noção da corrente eletrônica, que geralmente é denominada corrente real nos livros-textos. Além disso, foi o aluno que mostrou maior consistência em suas respostas. A alternativa (c) evidencia a existência do modelo de consumo de corrente. Em sua entrevista, depois de manipular o circuito referente à questão, ele escolheu a alternativa correta, (a). Vejamos parte da sua entrevista:

[20:28] *Aluno2: Letra (a), pois L1 e L4 estão ligadas em serie.*

[20:30] *Entrevistador: L2 e L3 não têm qualquer influência nisso?*

[20:30] *Entrevistador: Não.*

[20:31] *Entrevistador: O que aconteceria se L3 fosse retirada do circuito?*

[20:31] *Aluno2: Todas apagariam? Pois L1, L3 e L4 estão em serie, assim como L1, L2 e L4 estão em serie. Mas, L2 e L3 em paralelo.*

Comentário: o aluno esqueceu da questão 9, na qual a lâmpada L3 era retirada, apesar de ter acertado essa questão no pré-teste, escolhendo a opção (b), segundo a qual o brilho em L1 diminui.

[20:34] *Entrevistador: Estou perguntando se L3 fosse retirada. O circuito seria apenas com L1, L2 e L4, na mesma estrutura acima. O que aconteceria com a corrente no circuito modificado é maior ou menor do que no original?*

[20:40] *Aluno2: Terá o mesmo valor.*

[20:42] *Entrevistador: As lâmpadas L2 e L3 não têm qualquer efeito na corrente, é isso?*

Comentário: esse questionamento do entrevistador tem o papel de estabelecer um con-

flito cognitivo no estudante, conforme preconizam Posner e colaboradores (POSNER; GERTZOG, 1982). Observe que o aluno muda seu raciocínio, mas não apresenta uma resposta correta. Esse tipo de evento aconteceu em outras entrevistas na presente investigação.

[20:43] Aluno2: *Desculpa, acho que me confundi. Elas têm efeito sim. Se retirar L3 o valor da corrente aumenta.*

[20:44] Entrevistador: *Pode explicar por quê?*

[20:44] Aluno2: *Porque a resistência diminuirá.*

Convém salientar que uma entrevista clínica com o objetivo de acesso à estrutura cognitiva, como essa que estamos fazendo neste trabalho, é diferente de uma entrevista clínica com objetivo didático. No caso de uma entrevista clínica em uma intervenção didático-pedagógica, o Aluno2 deveria ser questionado sobre a razão da diminuição da resistência. Esse questionamento deveria leva-lo a uma mudança conceitual e convencê-lo de que a retirada de L3 aumenta a resistência total no circuito, fazendo com que a corrente, e conseqüentemente o brilho nas lâmpadas diminuísse.

III. Raciocínio local e raciocínio sequencial

O que normalmente é considerado na literatura como raciocínio local e raciocínio sequencial (DUIT; RHONECK, 1998; ENGELHARDT; BEICHER, 2004; SHIPSTONE et al., 1988) é aqui englobado no modelo III. De acordo com o que se entende por raciocínio local, o sujeito focaliza sua atenção no elemento através do qual passa a corrente, sem considerar o que acontece em outras partes do circuito. Esse tipo de raciocínio leva muitos alunos a imaginarem a bateria como uma fonte constante de corrente, e não como uma fonte constante de voltagem. Então, se a bateria é uma fonte constante de corrente, não importa o que haja no circuito, sempre haverá aquela corrente determinada pela fornecedora.

O raciocínio sequencial é similar ao raciocínio local. A partir desse tipo de raciocínio, o sujeito analisa o circuito em termos de antes e depois a corrente passar por determinado elemento. Uma mudança no circuito antes do elemento influencia a corrente que passa por ele, mas se a mudança for após o elemento, isso não altera a corrente.

As questões 6, 9 e 10 do teste SMAMcD foram elaboradas para examinar, entre outras coisas, a existência desses raciocínios. Quem escolhe a alternativa (b) na questão 6, provavelmente trabalha com o raciocínio local. Para esses alunos, a alteração no estado ligado/desligado do interruptor não causa qualquer efeito em L1. Os resultados aqui obtidos sugerem que 23% dos alunos da turma EnsMedM apresentam esse raciocínio. É interessante comparar esse percentual com aquele obtido por (Silveira et al., 1989), segundo o qual, 31% dos alunos de engenharia apresentam esse raciocínio local. Por outro lado, é difícil explicar a razão da escolha da alternativa (c) por 33% dos alunos da turma EnsMedM. Talvez esses alunos imaginem a corrente circulando a partir do polo negativo e sendo parcialmente consumida no interruptor, razão pela qual a intensidade diminui em L1.

É interessante também comparar os resultados obtidos aqui para a questão 6, com aqueles reportados por (ANDRADE et al., 2018) em um estudo no qual os alunos não

tiveram contato com circuitos idênticos aos do teste. Quatro dos sete entrevistados na referida investigação, disseram que o brilho de L1 permanece o mesmo, porque:

- *como a L1 está antes da L2, o interruptor não afetará L1 (Aluna4);*
- *L2 vai dividir com o que será fechado, e L1 ficará com o mesmo brilho (Aluna5);*
- *a corrente já passou por L1, e eu acho que não vai mudar (Aluno7).*

No presente trabalho esse tipo de resposta nas entrevistas não ocorreu porque os alunos manipularam os experimentos antes das mesmas. Mas, pudemos perceber equívocos conceituais mascarados pela respostas certas em consequência da simples observação dos experimentos.

Como era de se esperar, todos os alunos escolheram a resposta correta, alternativa (a), durante as entrevistas, mas nem todas as justificativas foram precisas, e algumas apresentaram sinais da concepção de consumo de corrente. Por exemplo, o Aluno3 não reconhece o estado de curto-circuito do interruptor fechado, embora tenha visto nos experimentos que a lâmpada L2 fica apagada com o interruptor fechado:

[16:28] Aluno3: *Ao fechar o interruptor o brilho de L1 aumentará pois a corrente terá que passar pelo caminho que está entre L1 e L2.*

[16:45] Entrevistador: *O que acontece com a corrente depois que passa de L1?*

[16:47] Aluno3: *Depois que passa por L1 a corrente não segue diretamente para L2 ela passará primeiro pelo caminho que foi criado quando se fechou o interruptor.*

[16:50] Entrevistador: *Se você diz que "a corrente não segue diretamente para L2, ela passará primeiro pelo caminho . . ." Isso significa que depois vai passar por L2? Explique melhor isso.*

[16:55] Aluno3: *Quis dizer que ela não passará completamente por L2 assim somente uma parte passara por L2.*

[16:56] Entrevistador: *Uma parte passará por L2 e outra parte passará "pelo caminho que foi criado quando se fechou o interruptor", é isso?*

[16:57] Aluno3: *Sim.*

O Aluno5 e a Aluna6 apresentaram argumentos similares. Por outro lado, o Aluno10 apresentou o modelo de consumo nessa questão 6, ao afirmar que: fechando o interruptor, fica impossibilitada a passagem de corrente por L2, deixando assim uma corrente maior para L1 que consequentemente aumentará o brilho. Ou seja, para esse aluno, a corrente era dividida entre L1 e L2.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Abordamos neste trabalho duas temáticas antigas, mas o fizemos de um modo inovador. É extensa a literatura sobre investigações de concepções alternativas em circuitos elétricos simples, bem como sobre o ensino baseado em projetos (EBP). Mas, ao nosso conhecimento não há relato na literatura de tentativas de uso de experimentos construídos por alunos com

materiais de baixo custo, para a abordagem de concepções alternativas nesse assunto. O único trabalho de nosso conhecimento, com alguma similaridade, é de autoria de Medeiros e colaboradores e foi apresentado em 2000 no VII EPEF (MEDEIROS; LINS; DIAS, 2000).

Investigamos a existência de concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples em alunos do 3o. Ano do Ensino Médio, em uma escola pública no Estado do Ceará. Participaram da pesquisa 80 alunos de três turmas (matutino, vespertino e noturno). Durante o primeiro semestre o conteúdo foi abordado com o uso do livro-texto adotado na escola. No início do segundo semestre, os alunos do matutino responderam um pré-teste com questões utilizadas por outros investigadores e relatadas na literatura. Após esse evento, os alunos das três turmas foram divididos em grupos de 5 e instruídos a confeccionarem os circuitos apresentados nas questões do pré-teste, fazendo uso de sucatas e materiais de baixo custo de fácil acesso.

Quando todos os circuitos foram concluídos, os alunos foram reunidos em suas respectivas salas para manipularem os experimentos conforme as questões do pré-teste. Ao final, 12 alunos foram selecionados para entrevistas clínicas, cujos resultados subsidiaram as principais conclusões aqui apresentadas.

Das respostas apresentadas no pré-teste e nas entrevistas clínicas, observamos a recorrência de concepções alternativas há muito tempo relatadas na literatura. Além disso, também observamos problemas de consistência nas respostas escritas, como recentemente relatado por (ANDRADE et al., 2018). Tais inconsistências ficam evidentes quando os alunos participam de entrevistas clínicas.

As entrevistas clínicas, realizadas aproximadamente um mês após a manipulação dos experimentos, mostraram que a simples realização dos experimentos não é capaz de superar as concepções alternativas mais persistentes, mas esse tipo de abordagem pedagógica, ou seja o uso concomitante de experimentos e entrevistas clínicas, pode ser potencialmente útil para proporcionar a mudança conceitual, segundo o referencial de Posner e colaboradores (POSNER; GERTZOG, 1982).

AGRADECIMENTO

À CAPES pela bolsa concedida a um dos autores (FCBL), durante a realização do seu Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, R. D. Childrens ability to formulate mental models to explain natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 3, p. 326–332, 1965. 12

ANDRADE, F. A. L. et al. Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 3, p. e3406–12, 2018. 11, 22, 24, 25, 27

- ASSIS, A. K. T.; HERNANDES, J. A. *The Electric Force of a Current: Weber and the surface charges of resistive conductors carrying steady currents*. Montreal: C. Roy Keys, 2007. 20
- AUSUBEL, D. P. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, v. 51, n. 5, p. 267–272, 1960. [Http://doi.org/10.1037/h0046669](http://doi.org/10.1037/h0046669). 10, 11
- AUSUBEL, D. P. Cognitive structure and the facilitation of meaningful verbal learning. *Journal of Teacher Education*, v. 14, n. 2, p. 217–222, 1963. 10
- AUSUBEL, D. P. A cognitive theory of school learning. Artigo apresentado no encontro da American Psychological Association, San Francisco, September, 1968., 1969. [Http://doi.org/10.1002/1520-6807\(196910\)6:4<331::AID-PITS2310060402>3.0.CO;2-W](http://doi.org/10.1002/1520-6807(196910)6:4<331::AID-PITS2310060402>3.0.CO;2-W). 10
- AXT, R.; MOREIRA, M. A. O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo. *Revista de Ensino de Física*, v. 13, p. 97–103, 1991. 16
- BARKE, H. D.; HAZARI, A.; YITBAREK, S. *Misconceptions in Chemistry. Addressing Perceptions in Chemical Education*. Berlin: Springer, 2009. 11
- BARP, J. *Uma proposta de trabalho orientada por projetos de pesquisa para introduzir temas de física no 9o. ano do ensino fundamental. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física*. 2016. UFRGS. 16
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. *Tópicos de Física*. São Paulo: Editora Saraiva, 2007. v. 3. 18, 19
- BLUMENFELD, P. C. et al. Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, v. 26, n. 3, p. 369–398, 1991. 16
- BORGES, A. T.; GILBERT, J. K. Mental models of electricity. *Int. J. Sci. Educ.*, v. 21, n. 1, p. 95–117, 1999. 11
- BRUNER, J. S. The course of cognitive growth. *American Psychologist*, v. 19, n. 1, p. 1–15, 1964. [Http://doi.org/10.1037/h0044160](http://doi.org/10.1037/h0044160). 10
- BRUNER, J. S. *Uma nova teoria de aprendizagem*. 3a.. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores, 1975. 10
- BRUNER, J. S. *O processo da educação*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978. 10
- CODD, J. A. The clinical interview: an holistic approach to the evaluation of learning. *J. Curriculum Studies*, v. 13, n. 2, p. 145–150, 1981. 12
- COHEN, R.; EYLON, B.; GANIEL, U. Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students concepts. *American Journal of Physics*, p. 407–412, 1983. [Http://doi.org/10.1119/1.13226](http://doi.org/10.1119/1.13226). 11, 20
- DOMINGUEZ, M. E.; MOREIRA, M. A. Deteccion de conceptos intuitivos en electricidad a traves de entrevistas clinicas. *Revista de Enseñanza de La Física*, v. 2, n. 1, p. 7–15, 1988. 11, 12

- DRIVER, R.; EASLEY, J. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, v. 5, p. 61–84, 1978. [Http://doi.org/10.1080/03057267808559857](http://doi.org/10.1080/03057267808559857). 12
- DUIT, R.; RHONECK, C. Learning and understanding key concepts of electricity. In: TIBERGHIE, A.; JOSSEM, E. L.; BAROJAS, J. (Ed.). *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. Cambridge: International Commission on Physics Education, 1998. p. 1–6. 11, 25
- ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, v. 72, n. 1, p. 98–115, 2004. [Http://doi.org/10.1119/1.1614813](http://doi.org/10.1119/1.1614813). 11, 23, 25
- FREDETTE, N.; LOCHHEAD, J. Student conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher*, v. 18, p. 194–198, 1980. [Http://doi.org/10.1119/1.2340470](http://doi.org/10.1119/1.2340470). 11
- FREIRE, P. *Educação e mudança*. 31. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2008. 10
- GASPAR, A. *Compreendendo a física: eletromagnetismo e física moderna*. São Paulo: Editora Ática, 2010. 19, 20
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Física Básica*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981. v. 3. 21
- HARBOLA, M. K. Energy flow from a battery to other circuit elements: Role of surface charges. *American Journal of Physics*, v. 78, p. 1203–1206, 2010. 20
- HARTEL, H. The electric circuit as a system: A new approach. *European Journal of Science Education*, v. 4, n. 1, p. 45–55, 1982. 20
- HARTEL, H. *The so-called simple electric circuit - it is not that simple*. 2012. Disponível em <https://researchgate.net/publication/311102570>. Acesso em 15/1/2018. 20
- HARTEL, H. Tensão e cargas superficiais - o que wilhelm weber já sabia há 150 anos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 1015–1029, 2012. 20
- HEALD, M. A. Electric fields and charges in elementary circuits. *American Journal of Physics*, v. 52, p. 522–526, 1984. 20
- HUANG, I. Childrens conception of physical causality: A critical summary. *Pedagogical Seminary and Journal of Genetic Psychology*, v. 63, n. 1, p. 71–121, 1943. [Http://doi.org/10.1080/08856559.1943.10533231](http://doi.org/10.1080/08856559.1943.10533231). 13
- IVIC, I. *Lev Semionovich Vygotsky*. Recife: Editora Massangana, 2010. 10
- JACKSON, J. D. Surface charges on circuit wires and resistors play three roles. *American Journal of Physics*, v. 64, n. 7, p. 855–870, 1996. [Http://doi.org/10.1119/1.18112](http://doi.org/10.1119/1.18112). 20
- KRAJCIK, J. S.; BLUMENFELD, P. C. Project-based learning. In: SAWYER, R. K. (Ed.). *The Cambridge Handbook of the Learning Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. p. 317–333. 16

- LIN, J.-W. A cross-grade study validating the evolutionary pathway of student mental models in electrical circuits. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, v. 13, n. 7, p. 3009–3137, 2017. 11
- MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. part i: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, v. 60, n. 11, p. 994–1003, 1992. 11, 12
- MEDEIROS, A.; LINS, S.; DIAS, E. *Estudando os modelos mentais de estudantes com a utilização de um quadro de circuitos*. Florianópolis: [s.n.], 2000. Trabalho apresentado no VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física. 27
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982. 10, 11
- MOREIRA, M. A.; SANTOS, C. A. dos. The influence of content organization on students cognitive structure in thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 18, p. 525–531, 1981. 11
- NEHRING, C. M. et al. As ilhas da racionalidade e o saber significativo: o ensino de ciências através de projetos. *Ensaio*, v. 2, n. 1, p. 88–105, 2000. 16
- NOVAK, J. D. *A Summary of Research in Science Education for 1972*. Columbus: ERIC Information Analysis Center, 1973. 12
- NOVAK, J. D. Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 27, n. 10, p. 937–949, 1990. [Http://doi.org/10.1002/tea.3660271003](http://doi.org/10.1002/tea.3660271003). 12
- NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. The theory underlying concept maps and how to construct and use them. Technical Report IHMC CmapTools, 2006. Disponível em <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>. Acesso em 15/2018. 11
- OSBORNE, R. Towards modifying childrens ideas about electric current. *Research in Science & Technological Education*, v. 1, n. 1, p. 73–82, 1983. [Http://doi.org/10.1080/0263514830010108](http://doi.org/10.1080/0263514830010108). 11
- PELLA, M. O.; ZIEGLER, R. E. The use of static and dynamic mechanical models in teaching aspects of the theoretical concept the particle nature of matter. The University of Wisconsin, Madison, 1967. 12
- POSNER, G. et al. Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, p. 211–227, 1982. 11
- POSNER, G. J.; GERTZOG, W. The clinical interview and the measurement of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 195–209, 1982. 12, 13, 25, 27
- RODRIGUES B. A., . B. A. T. O ensino de ciências por investigação: Reconstrução histórica. In: . Curitiba: XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2008. p. 1–12. 16

- ROSSER, W. G. V. What makes an electric current flow.. American Journal of Physics, v. 31, n. 11, p. 884–885, 1963. [Http://doi.org/10.1119/1.1969147](http://doi.org/10.1119/1.1969147). 20
- RUSSELL, B. R. Surface charges on conductors carrying steady currents. Citation: Am. J. Phys, v. 36, n. 6, 1968. [Http://doi.org/10.1119/1.1974963](http://doi.org/10.1119/1.1974963). 20
- SANTOS, C. A. dos; MOREIRA, M. A. Aplicação da análise de agrupamentos hierárquicos ao mapeamento cognitivo de conceitos físicos. Revista Brasileira de Física, v. 9, n. 3, p. 859–869, 1979. 10
- SANTOS, C. A. dos; MOREIRA, M. A. Aplicação da análise multidimensional ao mapeamento cognitivo de conceitos físicos. Revista Brasileira de Física, v. 9, n. 3, p. 849–858, 1979. 10
- SANTOS, C. A. dos; MOREIRA, M. A. Instrumentos de medida para o mapeamento cognitivo de conceitos físicos. Revista Brasileira de Física, v. 9, n. 3, p. 835–848, 1979. 10
- SEBASTIA, J. M. Cognitive mediators and interpretations of electric circuits. In: . Ithaca: Misconceptions Trust: The Proceedings of the Third Internacional Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, 1993. p. 1–12. 23
- SHAFFER, P. S.; MCDERMOTT, L. C. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. part ii: Design of instructional strategies. American Journal of Physics, v. 60, n. 11, 1992. [Http://doi.org/10.1119/1.16979](http://doi.org/10.1119/1.16979). 11
- SHIPSTONE, D. M. A study of childrens understanding of electricity in simple dc circuits. European Journal of Science Education, v. 6, n. 2, p. 185–198, 1984. 11
- SHIPSTONE, D. M. et al. A study of students understanding of electricity in five european countries. International Journal of Science Education, v. 10, n. 3, p. 303–316, 1988. 11, 25
- SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuito simples. Ciência e Cultura, v. 41, n. 11, p. 1129–1133, 1989. 11, 12
- SILVEIRA, F. L. d. Um teste para verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. In: FILHO, J. B. R. (Ed.). *Física no ensino médio: falhas e soluções*. Porto Alegre: Edipucrs, 2011. p. 61–67. 11
- SOLANO, F. et al. Persistencia de preconcepciones sobre los circuitos electricos de corriente continua. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n. 4, p. 460–470, 2002. 11
- STOCKLMAYER, S. M.; TREAGUST, D. F. Images of electricity: How do novices and experts model electric current? International Journal of Science Education, v. 18, n. 2, p. 163–178, 1996. [Http://doi.org/10.1080/0950069960180203](http://doi.org/10.1080/0950069960180203). 19
- VARNEY, R. N.; FISHER, L. H. Electric fields associated with stationary currents. American Journal of Physics, v. 52, n. 12, p. 1097–1099, 1984. 20
- VYGOTSKY, L. S. *Mind in society. The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press, 1978. 10

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1991. 10

WELTI, R. Las cargas superficiales y el flujo de energía en un circuito simple. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 4, p. 577–582, 2005. 20

A. ANEXO

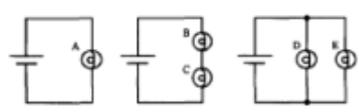
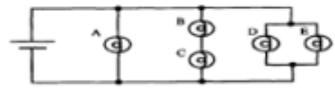
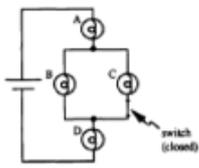
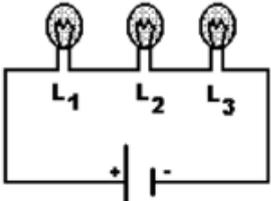
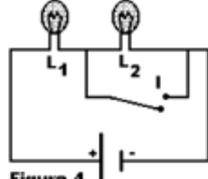
<p>01 – Observe as situações mostradas nos circuitos da figura abaixo e ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade.</p>  <p>a) $A=D=E>B=C$ b) $A=D=B=C=E$ c) $A>B=C>D=E$</p> <p>Figura A1 – Questão 1 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>	<p>02 – No circuito da figura abaixo ordene as lâmpadas de acordo com a luminosidade se a bateria for ideal.</p>  <p>a) $A=D=E>B=C$ b) $A=D=B=C=E$ c) $A>B=C>D=E$</p> <p>Figura A2 – Questão 2 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>
<p>03 – No circuito abaixo indique o brilho relativo as lâmpadas com a chave fechada.</p> <p>a) $A=B=C=D$ b) $A=D>B=C$ c) $A>B>C>D$</p>  <p>Figura A3 – Questão 3 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>	<p>04 – De acordo com o circuito da figura anterior o que acontecerá com o brilho da lâmpada B se a chave for aberta.</p> <p>a) B diminui o brilho b) B permanece com o mesmo brilho c) B aumenta o brilho</p> <p>Figura A4 – Questão 4 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>
<p>05 – No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:</p> <p>a) L_1 brilha mais que L_2 e esta mais que L_3 b) L_3 brilha mais que L_2 e esta mais que L_1 c) As três lâmpadas tem o mesmo brilho</p>  <p>Figura 1</p> <p>Figura A5 – Questão 5 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>	<p>06 – No circuito da figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:</p> <p>a) Aumenta o brilho de L_1. b) O brilho de L_1 permanece o mesmo. c) Diminui o brilho de L_1.</p>  <p>Figura 4</p> <p>Figura A6 – Questão 6 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>

Figura 5: Questões 1-6 do teste SMAMcD, para investigar concepções alternativas em circuitos elétricos simples.

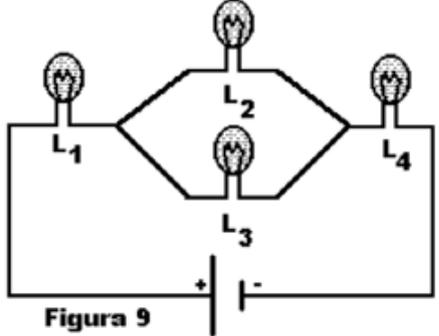
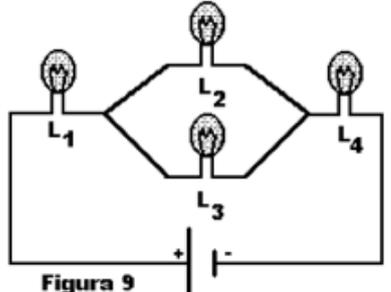
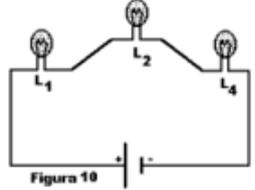
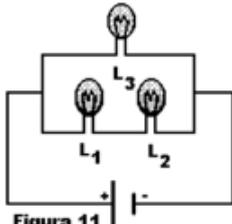
<p>07 – No circuito da figura 9 o brilho de L_1 é:</p> <p>a) Igual ao de L_4. b) Maior do que o de L_4. c) Menor do que o de L_4.</p>  <p>Figura 9</p> <p>Figura A7 – Questão 7 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>	<p>08 – No circuito da figura 9 o brilho de L_2 é:</p> <p>a) Igual ao de L_4. b) Maior do que o de L_4. c) Menor do que o de L_4.</p>  <p>Figura 9</p> <p>Figura A8 – Questão 8 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>
<p>09 – o circuito da figura 9 foi modificado pois se tirou a lâmpada L_3. O novo circuito é, então, o da figura 10.</p>  <p>Figura 10</p> <p>Quando se compara o brilho de L_1 nos circuitos 9 e 10 ele é:</p> <p>a) Maior no circuito 10. b) Menor no circuito 10. c) O mesmo nos dois.</p> <p>Figura A9 – Questão 9 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>	<p>10 – No circuito da figura 11:</p> <p>a) L_1 e L_2 têm o mesmo brilho que é menor do que o de L_3. b) L_1 brilha mais do que L_2 e do que L_3. c) L_1, L_2 e L_3 brilham igualmente</p>  <p>Figura 11</p> <p>Figura A10 – Questão 10 do teste <u>SMAMcD</u>.</p>

Figura 6: Questões 7-10 do teste SMAMcD, para investigar concepções alternativas em circuitos elétricos simples.