

## IDENTIFICANDO CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS E DIFICULDADES DOS ALUNOS SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS EM AVALIAÇÕES

### IDENTIFYING ALTERNATIVE FRAMEWORKS AND STUDENTS' DIFFICULTIES ABOUT ELECTRICAL CIRCUITS IN ASSESSMENTS

Tayna Mioni Nakamura<sup>1</sup>, Renato Pacheco Villar<sup>2</sup>, Maurício Urban Kleinke<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNICAMP / PECIM, taynanakamura@gmail.com

<sup>2</sup> UNICAMP / PECIM / Colégio Bandeirantes, renatopvillar@gmail.com

<sup>3</sup> UNICAMP / PECIM / DFA / IFGW, kleinke@ifi.unicamp.br

#### Resumo

As concepções alternativas podem ser entendidas como ideias diferentes daquelas compartilhados pelas ciências que as pessoas possuem para interpretar os mais diversos fenômenos. Tratam-se de ideias fortemente enraizadas nos sujeitos, que se configuram como um dos principais obstáculos para o ensino e a aprendizagem de conceitos nas aulas de ciências. Conhecer e compreender tais concepções é de suma importância para o trabalho do professor em sala de aula. Dentre os conteúdos programáticos do ensino de física temos a eletricidade, tema muito presente no cotidiano dos alunos, o que resulta numa grande quantidade de concepções alternativas sobre esse assunto. O objetivo deste trabalho é sistematizar as principais concepções alternativas sobre circuitos elétricos presentes na literatura, bem como algumas dificuldades dos alunos sobre esse tema, apresentando-as conforme abordadas por diferentes autores. A sistematização apresentada fornece uma ferramenta rápida para o professor tomar ciência, identificar e aplicar esse conhecimento em suas aulas e na elaboração de suas avaliações.

**Palavras-chave:** Concepções alternativas; Circuitos elétricos.

#### Abstract

Alternative frameworks can be understood as ideas that differ from those shared by the scientific community, used by individuals to interpret the most diverse phenomena. These ideas are strongly rooted in the individuals, which constitute one of the main obstacles for teaching and learning in science classes. Understanding such ideas is very important for the teacher's work in the classroom. Electricity, part of physics curriculum, is a common topic in students' daily lives, which results in many alternative frameworks about this subject. The objective of this paper is to organize and structure the main alternative frameworks about electrical circuits found in the literature, as well some students' common difficulties about this subject, introducing these ideas from the perspective of different authors. The systematization elaborated in this work provides a quick tool for teachers to learn, identify and apply this knowledge in their classes and when preparing their assessments.

**Keywords:** Alternative frameworks; Electrical circuits.

## Introdução

Uma das principais frentes de pesquisa em ensino de ciências nas últimas décadas do século XX foi o estudo das concepções alternativas dos alunos, bem como seu impacto no ensino de ciências. Tais concepções, de forma geral, podem ser entendidas como ideias não científicas que as pessoas possuem para interpretar os mais diversos fenômenos. Úteis e compartilhadas socialmente, as concepções alternativas não se tratam apenas de ideias desconexas, isoladas. Em muitos casos, elas se organizam em teorias aplicáveis a diferentes contextos, baseadas em princípios sobre o funcionamento do mundo cotidiano muito enraizadas nos sujeitos e resistentes à mudança, podendo permanecer no indivíduo mesmo após longos anos de instrução escolar, atuando como obstáculo na aprendizagem dos conceitos científicos (DRIVER et al., 1999; POZO; CRESPO, 2009).

Independente do modelo de evolução conceitual adotado pelo professor e do modo como utiliza as concepções alternativas em suas aulas, é recomendado que o docente tenha ciência das principais concepções alternativas e dificuldades dos estudantes para guiá-los na aprendizagem de física (POZO; CRESPO, 2009; MORTIMER, 2000). Entretanto, apesar do assunto ser bastante presente na literatura, reconhecemos que, ainda hoje, os avanços no ensino de física sugeridos por esses trabalhos enfrentam dificuldades no acesso às salas de aula. Sendo assim, neste trabalho, temos por objetivo compartilhar com a comunidade docente um levantamento das principais concepções alternativas sobre circuitos elétricos (CACE), assim como um conjunto de dificuldades comuns sobre circuitos elétricos (DCCE) que os alunos costumam apresentar. Anunciaremos essas ideias de forma direta e sistemática, conforme abordadas por diferentes autores, visando fornecer uma ferramenta rápida para o professor identificar e aplicar esse conhecimento em suas aulas e na elaboração de suas avaliações. Escolhemos trabalhar com o conteúdo circuitos elétricos, em específico, por ser um dos principais assuntos trabalhados tradicionalmente nas aulas de física, através do qual, em geral, os alunos são introduzidos ao universo da eletrodinâmica. Além disso, os circuitos são abordados recorrentemente nas principais avaliações de larga escala, como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Apesar de controverso, o uso das concepções alternativas é uma realidade em provas de larga escala como o ENEM. Brito (2015), por exemplo, condena seu uso no ENEM, argumentando que elas induzem desnecessariamente o aluno ao erro, atuando como “pegadinhas”. Já a matriz de referência do exame sugere que o candidato saiba “confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas” (INEP, 2009, p. 8), fazendo alusão às concepções alternativas. Nesse sentido, a escolha das CACE e DCCE a serem apresentadas neste artigo é norteadas por aquelas abordadas nos itens sobre circuitos elétricos do ENEM, nas provas aplicadas entre 2009 e 2018, segundo a identificação de três especialistas.

Utilizamos os trabalhos de Engelhardt e Beichner (2004) e Gravina e Buchweitz (1994) como os nossos referenciais principais sobre CACE e DCCE. Ambos elaboraram inventários sobre circuitos elétricos e trazem um sólido conjunto de concepções e dificuldades dos alunos identificado através dessas ferramentas. Ainda, apoiamos-nos nos trabalhos de Driver et al. (1994), Pozo e Crespo (2009) e McDermott e Shaffer (1992) para ampliar nossa compreensão sobre as CACE e DCCE abordadas nos inventários citados. Por fim, recorremos a Halliday, Resnick e

Walker (2009) e a Bravin et al. (2013) para completar dificuldades ausentes nas outras referências que apareciam nos itens considerados sobre circuitos elétricos do ENEM.

### Metodologia

Neste trabalho, trazemos uma coletânea das principais concepções alternativas e dificuldades dos alunos sobre circuitos elétricos resistivos de corrente contínua conforme abordadas por nossos referenciais, já apresentados acima e organizados por códigos no quadro 1. Não temos a pretensão de listar todas as CACE e DCCE conhecidas na literatura, mas buscamos incluir aqui todas aquelas apontadas como as mais comuns e relevantes.

Quadro 1 – Referenciais sobre CACE e DCCE adotados neste trabalho.

| Código | Referência                   | Código | Referência                        |
|--------|------------------------------|--------|-----------------------------------|
| A      | Engelhardt e Beichner (2004) | E      | McDermott e Shaffer (1992)        |
| B      | Gravina e Buchweitz (1994)   | F      | Halliday, Resnick e Walker (2009) |
| C      | Pozo e Crespo (2009)         | G      | Bravin et al. (2013)              |
| D      | Driver et al. (1994)         |        |                                   |

Fonte: elaborado pelos autores.

As concepções e dificuldades encontradas foram categorizadas e diferenciadas entre si por três juízes de forma a agrupar ideias semelhantes expressas por autores diferentes. O resultado desse levantamento foi a elaboração do quadro 2 reunindo as principais CACE e DCCE abordadas nos trabalhos investigados, descritas segundo a perspectiva de diferentes autores.

Por fim, olhar para os erros dos alunos em itens de avaliações e provas pode ser uma fonte de informação importante para identificar deficiências na aprendizagem de conteúdos e habilidades (MARCOM, 2019). Nesse sentido, trazemos a análise de uma questão sobre circuitos elétricos aplicada numa das provas do ENEM, a fim de ilustrar como as CACE e DCCE podem ser utilizadas na elaboração de distratores em avaliações para identificação das concepções alternativas e dificuldades dos alunos sobre um conteúdo específico.

### Resultados e Discussão

O quadro 2 traz as descrições e referências (conforme o quadro 1) das principais CACE e DCCE abordadas em nossos referenciais. Muitas dessas ideias estão relacionadas entre si e, além disso, um mesmo estudante tende a adotar um ou outro modelo alternativo dependendo do problema ao qual é exposto (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004). Sendo assim, buscamos agrupar as concepções e dificuldades principais, focadas em fundamentos básicos de circuitos e corrente elétrica, no início do quadro, seguidas daquelas com foco no resistor, no diagrama e na resolução quantitativa, respectivamente. Por fim, citamos algumas dificuldades sobre equipamentos específicos (fusíveis, voltímetros e amperímetros).

**Quadro 2 – Concepções alternativas sobre circuitos elétricos (CACE) e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos (DCCE)**

| CACE ou DCCE                                     | Descrições segundo diferentes referências <sup>1</sup>   |
|--|--|
| Confusão de conceitos e termos (DCCE)            | "[...] os alunos usam intercambiavelmente termos associados a circuitos, geralmente atribuindo as propriedades de corrente à tensão, resistência, energia ou potência." (A)  |
|  | "Aparecem dificuldades para distinguir e utilizar termos como 'diferença de potencial', 'voltagem', 'corrente', 'energia', 'potência', etc. Os termos 'corrente elétrica', 'eletricidade' e 'voltagem' são utilizados como sinônimos." (C)   |
|  | "[...] os alunos pensam em corrente como sinônimo de eletricidade e energia elétrica." (D)   |
|  | "Os alunos [se referem] a corrente, voltagem, energia e potência de maneira inadequada e, às vezes, de forma intercambiável." (E)  |
| Eletricidade (ou corrente) como um fluido (CACE) | "[...] os alunos veem esses diagramas [de circuito] como um sistema de tubos no qual flui um fluido que eles chamam de eletricidade." (A)  |
|  | "A 'eletricidade' é simplesmente um fluido que é necessário levar de um lugar para o outro." O circuito elétrico é um sistema de partilha e distribuição da "eletricidade", no qual os fios permitem transportá-la do gerador para os aparelhos em que é consumida. (C)                                |
| Circuito aberto aceitável (DCCE)                 | "Incapaz de identificar um circuito completo – circuito fechado." (A)  |
|  | "Falha em entender e aplicar o conceito de circuito completo." (E)   |
| Curto-circuito aceitável (DCCE)                  | Apesar de ser capaz de identificar um circuito completo / fechado, o aluno é incapaz de identificar aqueles em que há curto e/ou determinar que efeito um curto tem em um circuito. (A)  |
| Modelo unipolar (CACE)                           | "Basta ligar um elemento a um dos polos da bateria, que há de existir passagem de corrente elétrica." (B)  |
|  | "Quando se pede que [os alunos] desenhem as conexões de uma pilha e de uma lâmpada para que ligue, propõem modelos nos quais há somente um fio que une os dois dispositivos [...]." (C)  |
|  | "Os alunos consideram apenas um fio como ativo e, embora a maioria reconheça os requisitos práticos de um circuito completo, eles ainda pensam que o segundo fio não desempenha um papel ativo. Às vezes, é considerado um fio de segurança." (D)  |
| Modelo de correntes elétricas em choque (CACE)   | "Dos terminais da bateria saem cargas positivas e negativas, em sentidos opostos, e quando as mesmas chegam a um elemento, devido a atração entre elas, parte delas se neutralizam, aparecendo então, luz e/ou calor." (B)   |
|  | "Quando se pede que [os alunos] desenhem as conexões de uma pilha e de uma lâmpada para que ligue, propõem modelos nos quais há [...] dois fios, indicando que a corrente viaja da pilha para a lâmpada pelos dois fios ao mesmo tempo." (C)   |
|  | "Os alunos pensam na corrente fluindo dos dois terminais da bateria para a lâmpada. Às vezes, eles explicam a luz em termos do 'choque' das duas correntes." (D)   |
| Bateria como fonte de corrente constante (CACE)  | "A corrente elétrica sai do terminal da bateria (polo positivo ou polo negativo) com um valor constante, ou seja, a bateria é um reservatório de corrente elétrica." (B)   |
|  | "A bateria fornece a mesma quantidade de corrente para cada circuito, independentemente da disposição do circuito" (A)   |
|  | "As pilhas proporcionam uma corrente constante, independente do circuito a que estejam conectadas." (C)  |
|  | "[...] os alunos geralmente pensam na bateria como um estoque de eletricidade ou energia. Eles a veem como algo que fornece uma corrente constante em um circuito fechado, em vez de manter uma tensão constante ou diferença de potencial." (D)   |
|  | "Talvez a dificuldade mais difundida e persistente que os alunos tenham com os circuitos de corrente contínua seja a crença de que a bateria é uma fonte de corrente constante [...]. Eles frequentemente negligenciam o papel crítico desempenhado pela resistência na determinação da corrente." (E) |
| Modelo sequencial (CACE)                         | "A informação sobre os elementos do circuito só é 'sentida' pela corrente elétrica quando a mesma chega a estes elementos, podendo-se modificar ou não." (B)   |
|  | "Somente alterações antes de um elemento afetarão esse elemento." (A)  |
|  | "[...] os alunos não aceitam que o circuito seja um sistema de interação no qual qualquer mudança afeta globalmente todo o circuito. Eles tendem a analisar localmente e em separado cada uma das partes do circuito [...]." (C)   |
|  | "[...] algo armazenado na bateria viaja pelo circuito, encontrando fios e componentes em sequência." (D)   |

<sup>1</sup> Quando os originais se encontravam em inglês, os textos foram traduzidos e adaptados pelos autores.

| CACE ou DCCE   | Descrições segundo diferentes referências <sup>1</sup>  |
|--|---|
|  | “Quando uma mudança é feita em um circuito, os alunos geralmente concentram a atenção apenas no ponto em que a mudança ocorre, sem reconhecer que [...] ela pode resultar em mudanças em outros pontos. Há uma tendência a pensar localmente ou sequencialmente, em vez de se raciocinar de forma holística.” (E)   |
| Corrente Consumida (CACE)                                | “A corrente elétrica não é conservada, parte dela é consumida ou transformada em energia quando atravessa um resistor (ou lâmpada).” (B)  |
|  | “O valor da corrente diminui à medida que ela atravessa os elementos do circuito até retornar à bateria, onde não há mais corrente restante.” (A)   |
|  | “[...] a corrente vai se gastando ou debilitando segundo atravessa os diferentes elementos que compõem o circuito, de maneira que volta para a pilha menos corrente do que a fornecida inicialmente.” (C)   |
|  | “[...] a corrente é vista como ‘consumida’ pela lâmpada e, portanto, há menos no fio ‘voltando’ para a bateria. Alguns alunos esperam que uma segunda lâmpada seja menos brilhante que a primeira quando duas lâmpadas estão no circuito [...]” (D)   |
|  | “[...] os alunos] acham que a corrente é constantemente produzida pela bateria e ‘consumida’ pelos elementos em um circuito. [...] Para resolver problemas quantitativos, esses alunos podem assumir que a corrente é a mesma em todos os pontos de um circuito ou ramo quando os elementos estão conectados em série. No entanto, descobrimos que, para muitos estudantes, a noção de que a corrente é conservada permanece uma abstração que eles não podem aplicar a questões qualitativas.” (E) |
| Corrente divide-se igualmente num nó (CACE)              | “Em um nó a corrente elétrica divide-se igualmente, independente dos elementos que estejam ligados”. (B)  |
|  | “A corrente divide-se igualmente em todas as junções, independentemente dos resistores em cada ramificação.” (A)  |
| Corrente elétrica muito veloz (CACE)                     | Os elétrons de condução que compõem a corrente elétrica movem-se próximo à velocidade da luz, por isso a lâmpada acende no momento em que se liga o interruptor. (F)  |
| Voltagem como consequência da corrente (CACE)            | “A diferença de potencial é considerada uma consequência da corrente elétrica e não sua causa, de forma que, se $i = 0$ , então $V = 0$ .” (B)  |
|  | “Voltagem vista como uma propriedade da corrente. A corrente é a causa da voltagem. A voltagem e a corrente sempre ocorrem juntas” ou “a corrente é a causa do campo elétrico no interior dos fios do circuito.” (A)  |
|  | “[Os alunos] tendem a interpretar a voltagem ou a diferença de potencial como sendo uma propriedade da corrente ou uma consequência desta, em vez de considerar a corrente elétrica como sendo uma consequência da diferença de potencial entre dois pontos de um condutor.” (C)  |
|  | “A corrente é geralmente introduzida aos alunos como o conceito principal e eles tendem a pensar na voltagem como uma propriedade da corrente, em vez de como uma pré-condição para a corrente fluir.” (D)  |
| Lâmpadas idênticas sempre brilham iguais (CACE)          | “Lâmpadas idênticas sempre brilham igualmente. Surge da observação de lâmpadas em casa, e para justificar, o aluno relaciona o brilho apenas com a resistência, cria cargas em nós ou então, distribui a corrente elétrica igualmente para todas as lâmpadas.” O brilho dependeria exclusivamente da potência nominal da lâmpada. (B)   |
| Sobreposição de resistores (DCCE)                        | “A resistência equivalente não depende do tipo de ligação, ela é sempre diretamente proporcional ao número de resistores.” (B)  |
|  | “Se um resistor reduz a corrente em certa magnitude, então dois resistores reduzem a corrente pelo dobro, independentemente da disposição do resistor.” (A)   |
|  | “[...] tendência em focar no número de elementos do circuito e não na sua configuração.” (E)  |
| Resistência equivalente como elemento do circuito (CACE) | “O aluno igualou a resistência equivalente de um circuito a um resistor individual.” (A)  |
|  | “[...] os alunos frequentemente parecem não distinguir entre a resistência de um único elemento e a resistência equivalente de uma associação que contém esse elemento”. (E)  |
| Interpretação de representações gráficas (DCCE)          | “Os alunos enfrentam dificuldades para interpretar as representações gráficas dos circuitos. Não são capazes de associar os circuitos reais com suas representações gráficas [...]” (C)   |
|  | “[...] os alunos geralmente acham difícil reconhecer os circuitos numa situação prática de equipamentos reais. [...] às vezes não consideram idênticos vários circuitos que, apesar de idênticos, foram rotacionados para ter um arranjo espacial diferente.” (D)   |
|  | “Os alunos geralmente falham em reconhecer que todos os diagramas que indicam as mesmas conexões elétricas representam circuitos reais equivalentes, que são eletricamente idênticos um ao outro.” (E)  |

| CACE ou DCCE  | Descrições segundo diferentes referências <sup>1</sup>   |
|---|--|
| Associação de resistores baseada na topologia (DCCE)  | “Todos os resistores alinhados em série estão em série, independentemente de haver um nó entre eles ou não. Todos os resistores alinhados geometricamente em paralelo estão em paralelo, mesmo que a bateria esteja contida em um dos ramos.” (A)  |
|   | “O termo série frequentemente evoca a ideia de sequencialmente, em vez de um tipo específico de conexão. O termo paralelo geralmente mantém uma interpretação geométrica em vez de elétrica.” (E)  |
| Contatos da lâmpada incorretos (DCCE)                 | “Incapaz de identificar os dois contatos em uma lâmpada.” (A)  |
|   | “[...] falha em reconhecer que, para uma lâmpada fazer parte de um circuito completo, seus dois terminais devem estar conectados externamente aos diferentes terminais da bateria e internamente entre si, através do filamento.” (E)  |
| Sobreposição de baterias (DCCE)                       | Em circuitos com múltiplos geradores, “se com uma bateria a lâmpada possui certo brilho, com duas baterias, independentemente do arranjo, a lâmpada brilhará duas vezes mais.” (A)   |
| Aplicação incorreta de equações (DCCE)                | “Aplicação incorreta de uma regra que governa os circuitos. Por exemplo, usou a equação para resistor em série quando o circuito mostrava resistores em paralelo.” (A)   |
|   | “A corrente elétrica (i) é inversamente proporcional à resistência elétrica (R) independente da diferença de potencial (V) aplicada.” (B)  |
| Resolução algorítmica sem respaldo conceitual (DCCE)  | “[...] os alunos são capazes de utilizá-las [as relações quantitativas no estudo de circuitos elétricos] praticamente sem dificuldades quando se trata de fazer cálculos, de modo mecânico e algorítmico, mas terão problemas na hora de interpretar as relações quantitativas entre as diferentes variáveis envolvidas.” (C)  |
|   | “Na falta de um modelo conceitual, [...] os estudantes recorreram a fórmulas, confiaram na intuição ou tentaram fazer as duas coisas. Muitos estudantes imediatamente tentaram usar a lei de Ohm, mas não conseguiram aplicá-la adequadamente. Alguns, que podem ter tido dificuldade com a álgebra, tentaram resolver o problema atribuindo arbitrariamente valores numéricos às variáveis, geralmente escolhendo valores inconsistentes para a corrente, a diferença potencial e a resistência.” (E) |
| Fusível com sobrecarga não rompe o circuito (DCCE)    | Os alunos não reconhecem a funcionalidade e a importância dos fusíveis para proteção do circuito elétrico. Não entendem que ele rompe o circuito em caso de sobrecarga. (G)  |
| Voltímetro e amperímetro não afetam o circuito (DCCE) | “Muitos estudantes não pareciam considerar o amperímetro e o voltímetro como instrumentos que deveriam ser conectados de forma que não afetassem a corrente ou diferença de potencial a ser medida.” (E)   |

Fonte: elaborado pelos autores com base nas obras referenciadas no quadro.

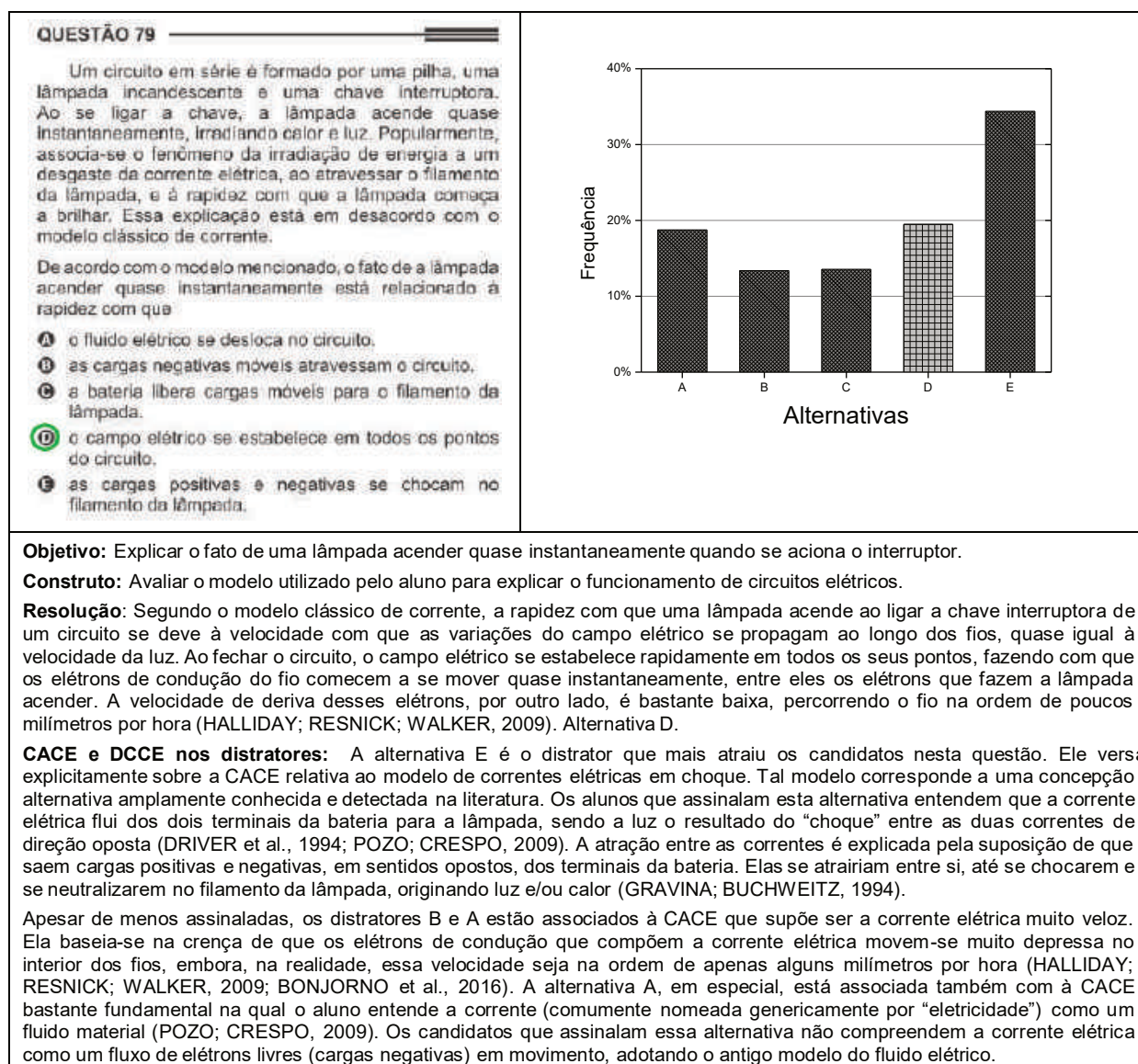
Observa-se que algumas CACE e DCCE, como “modelo sequencial”, “voltagem como consequência da corrente” e “corrente consumida”, são discutidas por diversos autores, enquanto outras aparecem apenas em uma das referências. Essas abordadas por diversos autores, provavelmente, são aquelas mais comuns que podemos encontrar com maior frequência entre os estudantes.

Julgamos importante incluir no quadro as diversas formas como as concepções e dificuldades são apresentadas, pois ter contato com diferentes leituras sobre as mesmas ideias pode auxiliar o professor a identificá-las nas mais diversas situações.

Por fim, trazemos um exemplo para ilustrar como as concepções alternativas e as dificuldades comuns dos alunos podem aparecer em testes, sejam avaliações formativas ou somativas, nos fornecendo informações sobre as dificuldades dos alunos frente a um conteúdo específico. Para isso, no quadro 3, analisamos as respostas dos alunos concluintes do Ensino Médio dadas ao item 79 da prova azul aplicada no ENEM de 2013.



Quadro 3 – Análise do item 79, caderno azul, ENEM 2013.



Fonte: Os autores. Gráfico elaborado pelos autores a partir dos microdados do ENEM, disponibilizados pelo INEP, disponível em <<http://portal.inep.gov.br/microdados>>, acesso jan/2020.

Como podemos observar, quando as concepções alternativas estão presentes entre os distratores de um item, elas tendem a atrair as repostas dos alunos que compartilham daquelas ideias. Com isso, se o item for bem construído, é possível identificar possíveis dificuldades e modelos alternativos compartilhados pelos alunos sobre conteúdos específicos trabalhados nas aulas de ciências, neste caso, circuitos elétricos. Se feito no decorrer ou final dos processos de ensino e aprendizagem escolares, um item desse tipo pode mostrar ao professor possíveis deficiências na aprendizagem dos alunos que precisam ser melhor trabalhadas.

## Conclusão

Conhecer as concepções alternativas e conseguir identificá-los nas respostas dos alunos em avaliações e testes, seja em sala de aula ou em provas de larga escala, como o ENEM, permite que os professores do Ensino Médio as trabalhem com seus alunos durante as aulas, numa perspectiva de identificar as dificuldades e

modelos alternativos dos alunos, retroalimentando o ensino e favorecendo a prática da avaliação formativa dentro de sala de aula (MARCOM, 2019).

Além disso, é importante que o professor tenha um panorama das concepções alternativas e dificuldades mais comuns observadas entre estudantes, para que possam realizar um adequado planejamento dos processos de ensino e aprendizagem em sala de aula. Neste sentido, reunimos de forma sistemática, segundo a visão de diferentes autores, as principais concepções alternativas e dificuldades sobre circuitos elétricos presentes na literatura, servindo ao professor como um compilado das principais ideias dos alunos sobre circuitos elétricos.

### Referências

- BRAVIN, H. C. et al. Fusíveis e disjuntores: tão presentes e ao mesmo tempo tão mal compreendidos. In: ENPEC IX, *Atas... Águas de Lindóia*: ABRAPEC, 2013.
- BRITO, B. R. *As concepções alternativas em exames de larga escala: uma análise das questões de biologia do ENEM*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática — UNICAMP, IFGW, Campinas, 2015.
- DRIVER, R. et al. Construindo conhecimento científico na sala de aula. *Química nova na escola*, São Paulo, v. 9, n. 5, p. 31–40, maio 1999.
- DRIVER, R. et al. *Making Sense of Secondary Science*: Research into children's ideas. 1. ed. Londres: Routledge, 1994.
- ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 72, n. 1, p. 98–115, 2004.
- GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade. *Revista brasileira de ensino de física*, São Paulo, v. 16, n. 1/4, p. 110–119, 1994.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo*. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Bassi. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- INEP. Matriz de referências para o ENEM 2009. Ministério da educação (MEC). Brasília, 2009.
- MARCOM, G. S. *O ENEM, indicadores formativos e o ensino de física*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, 2019.
- MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. Research as a guide for curriculum developmen: An example from introductory electricity. part I: Investigation of student understanding. *American journal of physics*, American Association of Physics Teachers, v. 60, n. 11, p. 994–1003, 1992.
- MORTIMER, E. F. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Tradução Naila Freitas. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.