



Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Física "Gleb Wataghin"

Tayna Mioni Nakamura

Concepções alternativas nas questões sobre circuitos elétricos do  
ENEM

Campinas  
2020

**Tayna Mioni Nakamura**

**Concepções alternativas nas questões sobre circuitos elétricos  
do ENEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática – PECIM, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestra em Ensino de Ciências e Matemática, na área de Ensino de Ciências e Matemática.

**Orientador: Prof. Dr. Maurício Urban Kleinke**

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA TAYNA MIONI NAKAMURA, E ORIENTADA PELO PROF. DR. PROF. DR. MAURÍCIO URBAN KLEINKE.

Campinas  
2020

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Física Gleb Wataghin  
Lucimeire de Oliveira Silva da Rocha - CRB 8/9174

N145c Nakamura, Tayna Mioni, 1995-  
Concepções alternativas nas questões sobre circuitos elétricos do ENEM /  
Tayna Mioni Nakamura. – Campinas, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Maurício Urban Kleinke.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de  
Física Gleb Wataghin.

1. Exame Nacional do Ensino Médio (Brasil). 2. Concepções alternativas.  
3. Circuitos elétricos. I. Kleinke, Maurício Urban, 1958-. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Instituto de Física Gleb Wataghin. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Alternative frameworks in ENEM's questions about electrical circuits

**Palavras-chave em inglês:**

National Secondary Education Examination (Brazil)

Alternative conceptions

Electric circuits

**Área de concentração:** Ensino de Ciências e Matemática

**Titulação:** Mestra em Ensino de Ciências e Matemática

**Banca examinadora:**

Maurício Urban Kleinke [Orientador]

Anne Louise Scarinci Peres

Jorge Megid Neto

**Data de defesa:** 03-02-2020

**Programa de Pós-Graduação:** Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-5249-823X>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/0250847981342384>

# FOLHA DE APROVAÇÃO

## COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Maurício Urban Kleinke  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anne Louise Scarinci  
Prof. Dr. Jorge Megid Neto

A Ata de Defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa de Pós-Graduação.

CAMPINAS  
2020

# Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, processo de número 88882.435442/2019-01.

Agradeço ao meu orientador, Kleinke, pelos ensinamentos, conselhos, apoio, confiança, paciência e compreensão. Obrigada por acreditar em mim e me ajudar a amadurecer na vida acadêmica.

À banca examinadora desta dissertação, que tanto contribuiu com reflexões e apontando as correções necessárias deste trabalho.

A todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática que, cada um a seu modo, contribuíram na minha formação e com esta pesquisa.

Aos colegas da pós-graduação que contribuíram com debates e, em especial, ao Renato Villar, que me auxiliou nas dúvidas sobre psicométrica e com parte do tratamento dos microdados do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Ao companheiros de pensão por me motivarem em momentos difíceis, em especial, ao Félix, por todo o apoio, cuidado, correções de texto e ajuda na análise dos itens.

A todos que toparam resolver e discutir os itens do ENEM, mesmo sem domínio do modelo científico, me ajudando a identificar as concepções alternativas envolvidas.

Ao Diogo, pelo companheirismo e apoio ao longo de todo o desenvolvimento desta pesquisa, pelas correções de texto e formato, pela ajuda na filtragem dos dados utilizados na seção 1.5 e por ter me apresentado a classe `abntex2`, convencendo-me a redigir esta dissertação em LaTeX.

Aos meus pais, por me darem as oportunidades que me trouxeram até aqui e as bases que me sustentam.

Ao Theo, pelas brincadeiras de lutinha aos finais de semana. Seus chutes me impulsionam para a frente.

E a todos que de alguma forma participaram ao longo da elaboração deste trabalho.

Obrigada.

# Resumo

A investigação das ideias dos alunos, dentre elas as concepções alternativas (CA), é uma das frentes de pesquisa em ensino de ciências que mais evoluiu nas últimas décadas, havendo uma grande quantidade de trabalhos estudando-as e mapeando-as. Entretanto, também é bastante conhecida a forte resistência à mudança das CA nos processos escolares de aprendizagem. Sendo o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) a maior avaliação de larga escala brasileira a respeito da aprendizagem dos alunos concluintes do Ensino Médio, questionamos se, após quase meio século de discussões sobre as concepções alternativas e dificuldades dos alunos, tais concluintes ainda assinalam alternativas de resposta induzidas por essas ideias nos itens sobre circuitos elétricos do ENEM presentes nas provas aplicadas entre 2009 e 2018? Além disso, também procuramos compreender como as concepções alternativas sobre circuitos elétricos (CACE) e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos (DCCE) atuam, em função da natureza dos itens, na seleção dos candidatos a terem acesso ao Ensino Superior e na avaliação do domínio dos concluintes do Ensino Médio sobre circuitos. Para isso, realizamos uma pesquisa de natureza quali-quantitativa, na qual utilizamos índices estatísticos da Teoria Clássica de Testes, elaborados a partir dos microdados das aplicações do ENEM, e nos apoiamos em referenciais de CACE e DCCE. Os dados foram analisados tomando por referência três grupos de candidatos definidos em função da escolaridade de ambos os pais. Os resultados sugerem que concepções alternativas e dificuldades comuns em circuitos estão presentes nas respostas de alunos de todos os estratos sociais, denunciando uma deficiência no ensino e na aprendizagem de circuitos elétricos na educação básica como um todo. Entretanto, concluintes cujos pais cursaram apenas até o Ensino Fundamental ou Médio demonstraram uma dificuldade muito maior em conceitos básicos se comparados aos alunos cujos pais cursaram Ensino Superior. No que tange à natureza dos itens, as questões de resolução conceitual demonstram muito potencial para avaliar as CACE e DCCE dos estudantes. Já as de resolução algébrica, se bem construídas, revelaram-se úteis na identificação de uma série de CACE e DCCE quando envolvem diagramas de circuitos; entretanto, os itens puramente algébricos, voltados à avaliação de habilidades com aplicação e manipulação de equações, mostraram-se reforçar a manutenção da desigualdade social na seleção dos candidatos, enquanto propiciam poucas informações a respeito do domínio dos alunos sobre o conteúdo de circuitos. Se admitirmos uma preferência do ENEM em elaborar as provas com itens de dificuldade elevada, então itens de resolução conceitual com distratores pautados em fortes concepções alternativas ou conhecidas dificuldades dos alunos podem atuar no sentido de selecionar os candidatos com maior domínio sobre o conteúdo, ao mesmo tempo que podem melhor avaliar o entendimento dos concluintes do Ensino Médio a respeito de circuitos elétricos.

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

# Abstract

The investigation about students ideas, including alternative frameworks (AF), is one of the most developed research areas on science education in recent decades, with a large amount of studies investigating and mapping them. However, the strong resistance to change AF in school learning processes is also very known in literature. Being the Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) the largest Brazilian standardized test being used to investigate high school graduates learning, we want to study whether, after nearly half of a century of discussions about alternative frameworks and students common difficulties, do such students still answer ENEM's questions about electrical circuits, applied between 2009 and 2018, induced by these ideas? Furthermore, we additionally investigated how the use of such alternative frameworks about electrical circuits (AFEC) and common difficulties about electrical circuits (CDEC) act, according to the nature of the items, selecting candidates to access higher education and getting information about high school graduates understanding of circuits. For that, we conducted a qualitative and quantitative research, using statistical indexes of the Classical Test Theory, elaborated from ENEM's applications microdata, and basing on the literature that discuss AFEC and CDEC. We investigated three groups of candidates defined according to the education level of both parents. The results suggest that alternative frameworks and common difficulties are present in students' answer from all social strata, denouncing a deficiency in teaching and learning of electrical circuits in Brazilian basic education as a whole. However, students whose parents only attended elementary or high school showed a much greater difficulty in circuit's basic concepts compared to those whose parents attended university. Regarding the nature of the items, conceptual resolution questions demonstrate a high potential for assessing students' AFEC and CDEC. Algebraic resolution questions, if well constructed, proved useful in identifying some AFEC and CDEC when involving circuit diagrams; however, purely algebraic items, aimed at assessing skills about the application and manipulation of equations, have been shown to reinforce the maintenance of social inequality in candidates' selection, while providing little information about students' understanding of electric circuits. If we admit a preference of ENEM to elaborate the tests with high difficulty questions (even if psychometrists recommend otherwise), then questions with conceptual resolution whose distractors are based on strong alternative frameworks and known students common difficulties can act in order to select the candidates with greater dominance over content while, at the same time, can better assess high school graduates' understanding of electrical circuits.

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

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Dissertações e teses da área de Ensino de Ciências sobre concepções alternativas (ou termos semelhantes) localizadas no <b>Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC)</b> . . . . .	32
Figura 2 – Artigos e livros que abordam concepções alternativas no ensino de ciências publicados entre 1995 e 2019, localizados no <b>Portal de Periódicos da Capes</b> . . . . .	33
Figura 3 – Trabalhos da área de Ensino de Ciências que contêm no título o termo “concepções alternativas”, ou terminologias semelhantes, publicados entre 1980 e 2019, localizados no <b>Google Acadêmico</b> . . . . .	34
Figura 4 – Modelos alternativos e científico para o comportamento da corrente na associação de uma pilha com uma lâmpada. . . . .	42
Figura 5 – Exemplos de itens presentes em inventários sobre circuitos elétricos. . . . .	63
Figura 6 – Desempenho dos candidatos do ENEM em função de indicadores socioeconômicos. . . . .	68
Figura 7 – Desempenho dos candidatos do ENEM em função do capital econômico (CE) e capital cultural (CC), prova 2009. . . . .	70
Figura 8 – Exemplo de apresentação dos dados quantitativos dos itens. . . . .	85
Figura 9 – Diagrama com a categorização dos itens sobre circuitos elétricos das provas do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018. . . . .	89
Figura 10 – Exemplos de itens que compõem as quatro categorias de análise. . . . .	90
Figura 11 – Índice de discriminação (ID) em função do índice de facilidade (IF) para os itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018. . . . .	95
Figura 12 – Índice de concentração (IC) em função do índice de facilidade (IF) para os itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018 e grupos com diferentes escolaridade de ambos os país. . . . .	97
Figura 13 – ENEM 2009, prova azul, item 45. . . . .	110
Figura 14 – Imagem auxiliar para resolução do item 09-45. . . . .	111
Figura 15 – ENEM 2013, prova azul, item 72. . . . .	113
Figura 16 – ENEM 2013, prova azul, item 75. . . . .	117
Figura 17 – ENEM 2013, prova azul, item 79. . . . .	120
Figura 18 – ENEM 2014, prova azul, item 57. . . . .	123
Figura 19 – Imagem auxiliar para resolução do item 14-57. . . . .	124
Figura 20 – ENEM 2018, prova amarela, item 106. . . . .	127
Figura 21 – Imagem auxiliar para resolução do item 18-106. . . . .	128
Figura 22 – ENEM 2010, prova azul, item 48. . . . .	146
Figura 23 – ENEM 2010, prova azul, item 70. . . . .	148

Figura 24 – ENEM 2011, prova azul, item 60. . . . .	150
Figura 25 – ENEM 2011, prova azul, item 70. . . . .	152
Figura 26 – ENEM 2012, prova azul, item 73. . . . .	154
Figura 27 – ENEM 2013, prova azul, item 83. . . . .	156
Figura 28 – ENEM 2015, prova azul, item 68. . . . .	158
Figura 29 – ENEM 2016, prova azul, item 59. . . . .	160
Figura 30 – ENEM 2016, prova azul, item 74. . . . .	162
Figura 31 – ENEM 2017, prova amarela, item 108. . . . .	164
Figura 32 – ENEM 2017, prova amarela, item 111. . . . .	166
Figura 33 – ENEM 2017, prova amarela, item 130. . . . .	168
Figura 34 – ENEM 2018, prova amarela, item 109. . . . .	170

# Lista de quadros

Quadro 1 – Auxiliar para busca por uma CACE ou DCCE específica do Quadro 2	41
Quadro 2 – Concepções alternativas sobre circuitos elétricos (CACE) e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos (DCCE)	46
Quadro 3 – Itens sobre circuitos elétricos das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018.	76
Quadro 4 – Problemas na elaboração dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018.	92
Quadro 5 – CACE e DCCE exploradas pelos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018	99
Quadro 6 – CACE e DCCE nos distratores mais assinalados dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018	104
Quadro 7 – Erros não decorrentes de CACE ou DCCE nos distratores principais dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018	107
Quadro 8 – Parâmetros para categorização dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018.	144
Quadro 9 – Itens sobre circuitos elétricos das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018.	145
Quadro 10 – Resumo da análise do item 10-48.	147
Quadro 11 – Resumo da análise do item 10-70.	149
Quadro 12 – Resumo da análise do item 11-60.	151
Quadro 13 – Resumo da análise do item 11-70.	153
Quadro 14 – Resumo da análise do item 12-73.	155
Quadro 15 – Resumo da análise do item 13-83.	157
Quadro 16 – Resumo da análise do item 15-68.	159
Quadro 17 – Resumo da análise do item 16-59.	161
Quadro 18 – Resumo da análise do item 16-74.	163
Quadro 19 – Resumo da análise do item 17-108.	165
Quadro 20 – Resumo da análise do item 17-111.	167
Quadro 21 – Resumo da análise do item 17-130.	169
Quadro 22 – Resumo da análise do item 18-109.	171

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Quantidade de indivíduos do recorte amostral analisado (N) para as provas de diferentes anos. . . . .	78
Tabela 2 – Índices de Facilidade, Concentração e Discriminação dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018. . . . .	93

# Lista de abreviaturas e siglas

AF	Alternative frameworks
AFEC	Alternative frameworks about electrical circuits
CA	Concepções alternativas
CACE	Concepções alternativas sobre circuitos elétricos
CEDOC	Centro de Documentação em Ensino de Ciências
CDEC	Common difficulties about electrical circuits
DCCE	Dificuldades comuns sobre circuitos elétricos
DIRECT	Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
IC	Índice de concentração
ID	Índice de discriminação
IF	Índice de facilidade
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
SISU	Sistema de Seleção Unificada
TCT	Teoria Clássica dos Testes
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

# Sumário

	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>1</b>	<b>CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS (CA)</b>	<b>21</b>
1.1	Introdução às concepções alternativas	21
1.2	A origem das concepções alternativas	23
1.3	A natureza das concepções alternativas	25
1.4	As concepções alternativas em diferentes metas da educação científica	28
1.5	A pesquisa sobre concepções alternativas no Brasil	31
<b>2</b>	<b>CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS E DIFICULDADES COMUNS SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS (CACE E DCCE)</b>	<b>36</b>
2.1	Introdução às CACE, DCCE e nossos referenciais	36
2.2	CACE e DCCE no âmbito brasileiro: primeiras publicações	38
2.3	CACE e DCCE: visão geral	40
<b>3</b>	<b>O EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO (ENEM)</b>	<b>58</b>
3.1	Breve apresentação ao ENEM	58
3.2	Construção dos itens do ENEM e nosso interesse no erro dos alunos	60
3.2.1	Paralelo entre itens do ENEM e itens dos inventários de concepções alternativas	62
3.3	Avaliação e ensino	64
3.4	Concepções alternativas e ENEM	66
3.5	Desempenho no ENEM e nível socioeconômico	68
3.6	Circuitos elétricos nos PCN e ENEM	72
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>74</b>
4.1	Seleção dos itens sobre circuitos elétricos nas provas do ENEM	74
4.2	Tratamento dos microdados das aplicações do ENEM	75
4.2.1	Organização dos cadernos de prova	76
4.2.2	Recorte populacional sobre os candidatos do ENEM	77
4.2.2.1	Recorte populacional com base na escolaridade de ambos os pais dos candidatos	77
4.3	Resolução dos itens pelos pesquisadores	79
4.4	Análise dos itens	80
4.4.1	Análise qualitativa	81
4.4.2	Análise quantitativa	82
4.4.2.1	Índice de facilidade	82

4.4.2.2	Índice de discriminação . . . . .	83
4.4.2.3	Índice de concentração . . . . .	83
4.4.2.4	Distribuição das respostas nas alternativas . . . . .	84
4.4.3	Análise do erro . . . . .	85
<b>4.5</b>	<b>Análise global . . . . .</b>	<b>87</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>88</b>
<b>5.1</b>	<b>Categorização dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018 . . . . .</b>	<b>88</b>
<b>5.2</b>	<b>Um olhar sobre os índices quantitativos dos itens . . . . .</b>	<b>92</b>
<b>5.3</b>	<b>CACE e DCCE contempladas nos itens do ENEM . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>5.4</b>	<b>Os distratores mais assinalados pelos alunos . . . . .</b>	<b>102</b>
5.4.1	CACE e DCCE atrativas aos alunos . . . . .	103
5.4.2	Outros raciocínios atrativos aos alunos . . . . .	107
<b>5.5</b>	<b>Itens do ENEM, CACE e DCCE: seis exemplos marcantes . . . . .</b>	<b>108</b>
5.5.1	ENEM 2009, prova azul, item 45 . . . . .	110
5.5.2	ENEM 2013, prova azul, item 72 . . . . .	113
5.5.3	ENEM 2013, prova azul, item 75 . . . . .	117
5.5.4	ENEM 2013, prova azul, item 79 . . . . .	120
5.5.5	ENEM 2014, prova azul, item 57 . . . . .	123
5.5.6	ENEM 2018, prova amarela, item 106 . . . . .	127
	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>130</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICES . . . . .</b>	<b>143</b>
	<b>APÊNDICE A – QUADRO AUXILIAR DA ANÁLISE QUALITATIVA</b>	<b>144</b>
	<b>APÊNDICE B – ITENS SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS DO ENEM 2009 A 2018: ANÁLISE DOS DISTRADORES . . . . .</b>	<b>145</b>
<b>B.1</b>	<b>ENEM 2010, prova azul, item 48 . . . . .</b>	<b>146</b>
<b>B.2</b>	<b>ENEM 2010, prova azul, item 70 . . . . .</b>	<b>148</b>
<b>B.3</b>	<b>ENEM 2011, prova azul, item 60 . . . . .</b>	<b>150</b>
<b>B.4</b>	<b>ENEM 2011, prova azul, item 70 . . . . .</b>	<b>152</b>
<b>B.5</b>	<b>ENEM 2012, prova azul, item 73 . . . . .</b>	<b>154</b>
<b>B.6</b>	<b>ENEM 2013, prova azul, item 83 . . . . .</b>	<b>156</b>
<b>B.7</b>	<b>ENEM 2015, prova azul, item 68 . . . . .</b>	<b>158</b>

<b>B.8</b>	<b>ENEM 2016, prova azul, item 59</b>	<b>160</b>
<b>B.9</b>	<b>ENEM 2016, prova azul, item 74</b>	<b>162</b>
<b>B.10</b>	<b>ENEM 2017, prova amarela, item 108</b>	<b>164</b>
<b>B.11</b>	<b>ENEM 2017, prova amarela, item 111</b>	<b>166</b>
<b>B.12</b>	<b>ENEM 2017, prova amarela, item 130</b>	<b>168</b>
<b>B.13</b>	<b>ENEM 2018, prova amarela, item 109</b>	<b>170</b>

# Introdução

Uma das frentes de pesquisa em ensino de ciências que mais evoluiu nas últimas décadas do século XX foi o estudo das ideias dos alunos sobre diferentes conteúdos científicos, dentre elas as concepções alternativas (CA), bem como seu impacto no ensino de ciências. Nesse contexto, para permitir a discussão sobre as CA dos estudantes se fazia necessário sua detecção, sendo utilizados para isso distintos instrumentos de pesquisa, tais como entrevistas e testes de papel e lápis. Assim, começavam a surgir conjuntos de testes de múltipla escolha que foram desenvolvidos com o intuito de detectar de forma rápida, precisa e com comparabilidade a presença ou não desses conceitos em diferentes grupos de alunos. Esses testes estruturados para aferir a presença de CA são conhecidos como inventários de conceitos. Um dos mais conhecidos é o Inventário dos Conceitos de Força (Force Concept Inventory), que propõe uma série de itens de múltipla escolha nos quais as alternativas de resposta são associadas ao pensamento científico (alternativa correta) e a visões alternativas da ciência (nos distratores) ([HESTENES; WELLS; SWACKHAMER, 1992](#)).

No caso específico de se analisar as concepções alternativas sobre circuitos elétricos (CACE) dos alunos, temos o desenvolvimento de um inventário brasileiro apresentado por [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#), produzido no contexto de um trabalho que pretendia identificar as CA dos estudantes sobre eletricidade para posterior preparação e aplicação de estratégias de ensino, seguidas de uma análise sobre a aprendizagem dos alunos. Um fato curioso sobre esse artigo é que se trata de um trabalho publicado quase uma década antes de um dos mais importantes inventários relativos a circuitos de corrente contínua, conhecido como Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT), de [Engelhardt e Beichner \(2004\)](#). Entretanto, apesar do caráter pioneiro no cenário nacional, pouquíssimas são as referências à pesquisa de [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#). Provavelmente, a questão da publicação em português foi uma das dificuldades enfrentadas para ser reconhecida como um dos trabalhos precursores da área e das ideias ali contidas no que concerne a circuitos elétricos.

Se por um lado houve um massivo número de trabalhos relacionados ao estudo e mapeamento das concepções alternativas nas últimas décadas, por outro, também está bastante presente nessa literatura a dificuldade relacionada à assimilação de concepções científicas por conta da forte resistência à mudança das concepções alternativas ([POZO; CRESPO, 2009](#)). Ao aproximar o mundo cotidiano do mundo científico, nos deparamos com o fato de que as pessoas explicam e interagem com os fenômenos ao seu redor, principalmente, utilizando as suas próprias concepções e descrições.

Desse panorama, deriva a proposta de pesquisa deste trabalho. Sendo o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) a maior avaliação de larga escala brasileira a respeito da aprendizagem dos alunos concluintes do Ensino Médio, desejamos investigar se, após quase meio século de discussões sobre as concepções alternativas, tais alunos ainda assinalam alternativas de resposta induzidas por CACE nos itens sobre circuitos elétricos do ENEM. Ainda, além das CACE, consideramos também algumas das principais dificuldades comuns sobre circuitos elétricos (DCCE) que os alunos costumam apresentar na literatura, uma vez que elas são recorrentemente abordadas em referenciais que discutem concepções alternativas. Para auxiliar nessa análise, elencamos as CACE e DCCE detectadas nos trabalhos de [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#) e [Engelhardt e Beichner \(2004\)](#), apoiando-nos também em [Pozo e Crespo \(2009\)](#), [Driver et al. \(1994\)](#) e [McDermott e Shaffer \(1992\)](#).

O ENEM foi escolhido para esta investigação por se tratar de uma importante prova realizada em todo o Brasil por alunos concluintes do Ensino Médio, possibilitando um esclarecimento da questão de trabalho no amplo panorama nacional. O formato múltipla escolha de seus itens apresenta, com frequência, alguns distratores associados a concepções alternativas e dificuldades comuns dos alunos, de forma similar aos inventários apresentados anteriormente. Já o interesse específico pelas questões sobre circuitos elétricos decorreu da motivação de trabalhar com o estudo realizado por [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#) e o inventário DIRECT, de [Engelhardt e Beichner \(2004\)](#).

Em síntese, nosso problema de pesquisa se configura em: **Os alunos concluintes do Ensino Médio assinalam alternativas de resposta induzidas por CACE e DCCE nos itens sobre circuitos elétricos do ENEM presentes nas provas aplicadas entre 2009 e 2018?**

A pesquisa tem por objetivos:

- Analisar se os itens sobre circuitos elétricos do ENEM podem ser utilizados para a identificação de concepções alternativas e dificuldades dos estudantes, tal como é feito nos inventários;
- Identificar quais são as concepções alternativas e dificuldades envolvidas nas respostas dos estudantes aos itens de circuitos elétricos das provas do ENEM;
- Investigar quais itens, qualitativos ou quantitativos, nos revelam mais informações a respeito do domínio, das concepções alternativas e das dificuldades dos alunos sobre o conteúdo de circuitos elétricos;
- Refletir sobre a pertinência de incluir itens com concepções alternativas e dificuldades comuns dos alunos no ENEM, tendo em vista os objetivos do exame em avaliar e selecionar.

Como podemos notar nos objetivos anunciados, além das discussões na área de concepções alternativas, dialogaremos também com pesquisas recentes que trabalham com os erros dos alunos nos itens de física do ENEM – em especial com os trabalhos de [Marcom \(2019\)](#) e [Spazziani \(2019\)](#), nossos colegas de grupo, que apontam a necessidade atual de reforçar o aspecto avaliativo do exame. Em sua criação, na década de 90, o ENEM apresentava como principal objetivo avaliar o desempenho escolar dos estudantes ao final da educação básica. Entretanto, com o passar dos anos e em especial após 2009, ele se tornou o maior vestibular nacional, selecionando os candidatos a terem acesso a grande parte das vagas nas Instituições de Ensino Superior Públicas. Desde então o exame vem apresentando provas mais conteudistas, com um formato mais preocupado em selecionar, de forma que a avaliação do Ensino Médio ficou em segundo plano.

Apesar de concordarmos com teóricos da avaliação escolar ([PERRENOUD, 1999](#)) que exames externos como o ENEM moldam e distorcem a atividade em sala de aula, podendo trazer um vasto conjunto de aspectos negativos e destrutivos às formas inovadoras de ensino, reconhecemos a necessidade de selecionar os candidatos que terão acesso ao Ensino Superior. Sendo assim, não criticamos o fato do ENEM selecionar, mas questionamos como ele faz isso – isso é, quem o ENEM está selecionando com os itens de circuitos elétricos. Ainda, dado o alcance do exame em todo o território nacional e o gasto público associado a ele, seria um desperdício continuar a utilizar o ENEM apenas na seleção de candidatos se ele tem potencial para atuar além disso. Assim como [Marcom \(2019\)](#) e [Spazziani \(2019\)](#), queremos procurar caminhos para reaproximar o exame de seu objetivo avaliador do Ensino Médio, e vemos o uso de concepções alternativas na construção dos itens como um possível caminho para isso.

Sendo assim, neste trabalho, buscamos não apenas identificar se os alunos são induzidos por CACE ao responder os itens do ENEM, mas **também procuramos compreender como o uso de concepções alternativas e a construção dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM atuam na seleção dos candidatos e na avaliação dos estudantes concluintes do Ensino Médio.**

Para isso, realizamos uma pesquisa de natureza quali-quantitativa, na qual utilizamos índices estatísticos para análise de itens da Teoria Clássica de Testes ([PASQUALI, 2011](#); [ALAGUMALAI](#); [CURTIS](#); [HUNGI, 2005](#); [PRIMI, 2012](#); [BAO](#); [REDISH, 2001](#)) e nos apoiamos nos referenciais de concepções alternativas e dificuldades dos alunos em circuitos elétricos ([GRAVINA](#); [BUCHWEITZ, 1994](#); [ENGELHARDT](#); [BEICHNER, 2004](#); [POZO](#); [CRESPO, 2009](#); [DRIVER et al., 1994](#); [MCDERMOTT](#); [SHAFFER, 1992](#)) para avaliar os itens sobre esse tema presentes nas provas do ENEM entre 2009 e 2018. Ainda, em alguns momentos, apoiamos-nos em princípios da análise de conteúdo ([BARDIN, 2002](#); [FRANCO, 2005](#)) para a preparação do material a ser investigado, visando um maior rigor no processo de análise.

Os índices estatísticos foram elaborados a partir dos microdados das aplicações do ENEM disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), de domínio público. Nosso principal dado estatístico é a distribuição das respostas dos alunos entre as alternativas de cada item. Por meio dela, podemos identificar quais os distratores (alternativas erradas) mais assinalados pelos alunos e buscar compreender se eles foram induzidos por concepções alternativas ou dificuldades comuns sobre circuitos elétricos.

Assim como nos trabalhos com inventários sobre concepções alternativas, assumimos que milhares de alunos serem atraídos por um mesmo distrator indica a existência ali de algum raciocínio comum a muitos deles. Se alguma CACE ou DCCE induzir resposta a esse distrator, então muito provavelmente os alunos assinalam-o por possuírem a concepção alternativa ou dificuldade comum ali contemplada, uma vez que estamos nos apoiando em referenciais cujas CACE e DCCE são amplamente conhecidas e exaustivamente detectadas em alunos do Ensino Médio. Expandindo esse raciocínio para todos os itens sobre circuitos elétricos do ENEM aplicados entre 2009 e 2018, podemos inferir algumas das principais dificuldades dos alunos frente ao conteúdo de circuitos elétricos.

Além disso, sabemos que o desempenho no exame está fortemente correlacionado com o perfil socioeconômico da família do candidato (KLEINKE, 2017; NASCIMENTO, 2019). Reconhecida a desigualdade social reproduzida nos resultados do ENEM, nesta pesquisa trabalhamos com grupos de candidatos cujos pais possuem diferentes níveis de escolaridade – um indicador de capital econômico e cultural (BOURDIEU; PASSERON, 1992) – visando compreender as dificuldades de cada um deles sobre o conteúdo de circuitos elétricos.

Os capítulos 1, 2 e 3 desta dissertação versam sobre os nossos referenciais teóricos. No capítulo 1 realizamos uma revisão bibliográfica sobre concepções alternativas, discutindo suas origens, natureza e como as diferentes formas de entendê-las derivam em metas distintas da educação científica.

O capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica sobre as concepções alternativas em circuitos elétricos, incluindo também dificuldades comuns sobre circuitos elétricos que os alunos costumam ter. Apresentamos cada um dos nossos referenciais adotados a respeito desses temas e elaboramos um quadro com as descrições das principais CACE e DCCE discutidas nos trabalhos selecionados.

Já o capítulo 3 reúne diferentes discussões sobre o ENEM abordadas na literatura. Inicialmente trazemos uma breve apresentação do exame, percorrendo sucintamente sobre sua história e os objetivos por trás de sua aplicação. Em seguida, discutimos a construção dos itens do ENEM e refletimos sobre como ela é determinante para a detecção das dificuldades dos alunos que os induziram ao erro, tal como fazem os inventários de CA. Uma breve revisão bibliográfica sobre avaliação e ensino também é incluída no capítulo,

para situar as reflexões levantadas pelos trabalhos dos colegas [Marcom \(2019\)](#) e [Spazziani \(2019\)](#) acerca da possibilidade de aproximar o ENEM de uma avaliação formativa, questionando como a construção dos itens é fundamental para esse fim. Ainda, discutimos a correlação entre o desempenho no exame e o perfil socioeconômico do candidato, esclarecendo a importância de se considerar indicadores socioeconômicos na análise dos resultados. Por fim, realizamos uma curta revisão bibliográfica sobre outros trabalhos que investigam CA no ENEM, além de apresentarmos como o conteúdo de circuitos elétricos aparece nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN) e na Matriz de Referência do ENEM.

Os percursos metodológicos desta pesquisa são apresentados no capítulo 4, no qual descrevemos cada uma das nossas etapas de trabalho e os nossos referenciais para a análise. Explicamos a seleção dos 19 itens sobre circuitos elétricos que formam nosso *corpus* de análise, o tratamento dos microdados das aplicações do ENEM, quais os critérios utilizados para a definição da amostra analisada, como analisamos cada item individualmente e o como analisamos o conjunto deles.

Já o capítulo 5 traz os nossos resultados, acompanhados de discussões. Os itens do *corpus* de análise foram categorizados em função da sua natureza e da abordagem feita do conteúdo circuitos elétricos. Num primeiro momento analisamos a construção dos itens, o desempenho dos alunos nos mesmos e as CACE e DCCE abordadas nas questões para as diferentes categorias. Posteriormente, identificamos as principais CACE e DCCE utilizadas pelos alunos concluintes do Ensino Médio ao responder os itens do ENEM. Tais CACE e DCCE indicam grandes dificuldades dos estudantes frente a esse conteúdo, denunciando deficiências nos processos de ensino e aprendizagem de circuitos da educação básica. Por último, incluímos no corpo da dissertação os dados estatísticos e as análises individuais de seis itens, a título de exemplificar como chegamos nos resultados discutidos ao longo do capítulo. Os dados a respeito dos outros treze itens foram incluídos nos apêndices. Para finalizar, traremos as discussões finais e nossas conclusões.

# 1 Concepções alternativas (CA)

## 1.1 Introdução às concepções alternativas

O ensino e a aprendizagem de conteúdos conceituais estão entre as principais metas da educação científica e situam-se como eixo central da grande maioria dos currículos de ciências da natureza, tanto em propostas tradicionais de ensino, como também em boa parte daquelas ditas inovadoras. Entretanto, mesmo com todo o foco que recebem, muito pouco dos conteúdos conceituais são de fato compreendidos pelos alunos. A principal causa para que isso ocorra é, de acordo com [Pozo e Crespo \(2009\)](#), a forte presença nos alunos de concepções alternativas aos conceitos científicos.

Tais concepções, de forma geral, podem ser entendidas como ideias diferentes daquelas compartilhados pelas ciências que as pessoas possuem para interpretar os mais diversos fenômenos. Segundo [Driver et al. \(1999\)](#),

[...] os jovens possuem vários esquemas de conhecimento utilizados para interpretar os fenômenos com que se deparam no seu dia-a-dia. Esses esquemas são fortemente apoiados pela experiência pessoal e pela socialização em uma visão de senso comum. (p. 34)

A título de exemplo, podemos citar a ideia muito comum entre crianças, jovens e adultos de que é necessária uma força constante para manter um objeto em movimento uniforme. Isso é, considera-se a força como associada à velocidade de um corpo e não à mudança na condição de seu movimento, sua aceleração, como diz a física newtoniana. Conhecimentos dessa natureza, apesar de estarem em desacordo com os aceitos pelas ciências, são úteis no cotidiano, no qual precisa-se empurrar continuamente um objeto pesado para que ele permaneça em movimento. Úteis e compartilhadas socialmente, tratam-se de concepções bastante enraizadas nos sujeitos e resistentes à mudança, em muitos casos podendo permanecer no indivíduo mesmo após longos anos de instrução escolar, atuando como um dos maiores obstáculos na aprendizagem dos conceitos científicos ([DRIVER et al., 1999](#); [POZO; CRESPO, 2009](#)).

O estudo das concepções alternativas dos estudantes sobre ciências da natureza possui uma longa história. [Driver e Easley \(1978\)](#) afirmam que ele possivelmente se originou com os trabalhos iniciais de Piaget sobre as ideias de mundo das crianças, por volta de 1930. Na área de Ensino de Ciências, seu desenvolvimento se deu principalmente a partir da década de 70, crescendo de forma explosiva nos anos seguintes, inclusive no Brasil. O texto dos autores referenciados acima, intitulado “Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science studies”, é considerado um

marco na criação do programa de pesquisa sobre concepções alternativas dos estudantes, que dominou as investigações sobre Ensino de Ciências nos anos 80. Tal assunto continuou a interessar pesquisadores mesmo após décadas de investigações na área, de modo que ainda era muito estudado no início do século XXI (DRIVER et al., 1999; CACHAPUZ et al., 2005).

Uma das razões desse crescimento explosivo, que justifica a grande importância das pesquisas nessa linha, foi o fato de que, ao questionar o ensino e a aprendizagem de conceitos nas disciplinas científicas ainda na década de 70,

[...] a investigação sobre as concepções alternativas colocou em questão a eficácia do ensino por transmissão de conhecimentos previamente elaborados, e contribuiu de uma forma mais geral para levantar dúvidas sobre as visões simplistas da aprendizagem e do ensino das ciências, como a ideia docente de que ensinar é uma atividade simples para a qual basta apenas conhecer a matéria e ter alguma experiência. (CACHAPUZ et al., 2005, p. 201)

De fato, o que os estudos nessa área nos revelam hoje é a presença de verdadeiras teorias implícitas sobre o funcionamento da natureza que os alunos trazem consigo para as aulas de ciências. Tanto o professor como o currículo devem ter uma clara noção de como abordá-las e trabalhá-las em sala de aula, caso contrário a aprendizagem pode ser seriamente comprometida. Ou seja, para ensinar não basta dominar o conteúdo, é preciso ter conhecimentos de outras naturezas, entre eles os que dizem respeito às concepções alternativas dos estudantes.

Fruto dessa vasta pesquisa, hoje temos um material abundante sobre as concepções que os alunos utilizam para interpretar os mais diversos fenômenos e conceitos estudados nas diferentes áreas das ciências da natureza. Há inúmeros trabalhos catalogando-as, descrevendo-as e interpretando-as, assim como diversas técnicas para avaliá-las e trabalhá-las em sala de aula. Entretanto, a compreensão sobre concepções alternativas varia em alguns pontos de um autor para o outro, e há, até mesmo, uma falta de consenso sobre a terminologia utilizada para caracterizar os conhecimentos informais dos alunos: concepções alternativas, ideais ou concepções prévias, ciência intuitiva, concepções errôneas, pré-concepções, concepções espontâneas, concepções do senso comum, entre outros. Apesar de alguns autores as utilizarem como sinônimos, essas denominações não são intercambiáveis entre si. Cada qual se refere a uma forma de compreender as concepções alternativas e seu papel no ensino e na aprendizagem das ciências. Algumas dessas terminologias serão discutidas ao longo deste capítulo, mas, por hora, assim como faz Pozo e Crespo (2009), utilizaremos genericamente os termos “concepções alternativas” e “conhecimentos prévios” como sinônimos. “Concepções alternativas” (às quais também nos referiremos por CA) como aquelas que diferem das concepções científicas, e “conhecimentos prévios” como aqueles que os alunos já possuem antes da aprendizagem dos conceitos científicos.

Alinhados com as ideias de Driver (1978, 1994 e 1999), esses autores serão os principais referenciais para nosso entendimento sobre os conhecimentos prévios dos alunos e as discussões apresentadas adiante, neste capítulo. Para eles, apesar da multiplicidade de interpretações sobre as concepções alternativas, em geral pode-se assumir que são

[...] muito persistentes (elas mantêm-se mesmo após muitos anos de instrução), generalizadas (são compartilhadas por pessoas de diversas culturas, idades e níveis educacionais), de caráter mais implícito do que explícito (os alunos as utilizam, mas muitas vezes são incapazes de verbalizá-las), [e] relativamente coerentes (uma vez que o aluno as utiliza para enfrentar situações diversas [...]). (POZO; CRESPO, 2009, p. 88)

Contudo, apesar dessa descrição global, deve-se ter em mente que nem todos os conhecimentos prévios correspondem às características anunciadas na mesma medida. Algumas concepções alternativas podem, até mesmo, não apresentar a maior parte dessas características.

## 1.2 A origem das concepções alternativas

As concepções alternativas das pessoas possuem origem diversificada, Pozo e Crespo (2009) destacam três origens distintas. Para eles, a primeira e mais sistemática fonte de origem é a sensorial. Há um valor adaptativo em uma espécie saber prever e controlar os acontecimentos do mundo, de modo que, desde muito cedo, sem necessidade de nenhuma instrução formal e praticamente sem interferência cultural, as crianças já extraem conhecimento sobre o funcionamento dos fenômenos da natureza por meio de processos sensoriais e perceptivos. Elas captam regularidades da natureza e, a partir delas, criam regras sobre seu funcionamento. Para isso, baseiam-se essencialmente no uso de regras de inferência causal, ou seja, buscam relacionar um efeito com determinada causa, o que as permite aumentar a capacidade que possuem de previsão e controle sobre esses efeitos. Um exemplo de concepção alternativa dessa origem, compartilhada por crianças de diferentes países, línguas e sistemas educacionais, é aquela citada anteriormente, que diz ser necessária uma força constante para manter um objeto em movimento constante. Apesar de diferir fundamentalmente do que expressa a física newtoniana, ela cabe perfeitamente às experiências do cotidiano, nas quais, em um mundo repleto de atrito, é necessário empurrar um objeto pesado ou pedalar uma bicicleta se deseja que eles se mantenham em movimento. De forma geral, mesmo com um escasso poder explicativo do ponto de vista da ciência, “no que tange às experiências do dia-a-dia, as ideias informais são, na maioria das vezes, perfeitamente adequadas para interpretar e orientar as ações” (DRIVER et al., 1999, p. 35).

Daí derivam algumas terminologias para os conhecimentos prévios dos alunos, como “pré-concepções”, “concepções espontâneas” ou “intuitivas”. Esses termos indicam

conhecimentos que os alunos adquirem naturalmente de forma sensorial, apoiando-se em experiências pessoais. Dão a entender que são algo acidental, relevando o fato de possuírem uma natureza sistemática. Eles não englobam outros fatores que também compõem a origem de muitas dessas ideias, como a influência da cultura no entendimento que o sujeito tem sobre certos fenômenos naturais.

Ao considerar a origem cultural, admite-se que a fonte de certas concepções alternativas situa-se no meio cultural e social dos alunos, de forma que, quando chegam à sala de aula, já possuem uma série de crenças socialmente induzidas sobre inúmeros fatos ou fenômenos. Nas palavras de [Driver et al. \(1994, p. 3, tradução nossa\)](#)<sup>1</sup>, “aprender sobre o mundo não ocorre num vácuo social. As crianças têm a sua disposição, através da linguagem e da cultura, maneiras de pensar e imaginar.” Dessa forma, frases como “ligue o ventilador, pois está muito calor” moldam ideias do mundo físico através da linguagem. Assim, os alunos estendem a noção cotidiana de calor como sinônimo de temperatura elevada às aulas de ciências, nas quais o termo deveria ser associado à transferência de energia térmica. De forma semelhante, a mídia também colabora para a criação e propagação de concepções alternativas, seja por conta de tentativas de divulgação científica mal assimiladas pelo sujeito, ou por causa de um conteúdo supostamente científico que veicula ideias em desacordo com a ciência, ou, até mesmo, devido a conteúdos sem nenhuma intenção de educar, como aqueles voltados para o entretenimento. Exemplo desse último é a difundida noção de que o som é capaz de se propagar no vácuo, fomentada por programas audiovisuais que veiculam guerras no espaço repletas de explosões barulhentas, tais como os filmes da franquia “Star Wars”.

Dessa noção de que os conhecimentos prévios dos alunos vão para além de apenas visões pessoais de mundo, mas também são reflexo de uma visão comum compartilhada pela linguagem, que vem a terminologia “concepções de senso comum”. “Senso comum”, na visão de [Driver et al. \(1999\)](#), trata-se de “uma forma socialmente construída de descrever e explicar o mundo” (p.35). Dessa forma, reconhece-se que existem coisas em comum entre as concepções alternativas de diferentes indivíduos, em parte porque os membros de uma mesma cultura compartilham essas ideias na forma de falar e se referir a alguns fenômenos, mas também porque a forma como as pessoas percebem os fenômenos naturais é limitada pela própria realidade.

Por fim, uma última origem para as concepções alternativas dos alunos que [Pozo e Crespo \(2009\)](#) destacam é a escolar. A apresentação deformada ou simplificada de certos conceitos científicos durante as próprias aulas de ciências, ou mesmo a presença de erros conceituais em livros didáticos, podem levar o aluno a uma compreensão equivocada. Ainda, com muita frequência, a forma como os conhecimentos científicos são ensinados,

---

<sup>1</sup> texto original: “ [...] learning about the world does not take place in a social vacuum. Children have available to them through language and culture ways of thinking and imaging.”([DRIVER et al., 1994, p. 3](#))

sem diferenciação entre eles e os conhecimentos alternativos dos estudantes, resulta numa assimilação confusa dos conteúdos escolares, que tendem a se embaralhar com os conhecimentos prévios. Ou seja, a não consideração das concepções alternativas dos alunos durante o processo de ensino e aprendizagem, com muita frequência, leva os estudantes a compreensões equivocadas dos conhecimentos científicos, o que origina novas concepções alternativas.

Reconhecidas essas diferentes origens dos conhecimentos prévios dos alunos, é possível compreender por que eles são tão difíceis de serem modificados. São ideias fortemente enraizadas nos sujeitos por conta do seu caráter adaptativo e funcional no mundo cotidiano, acrescidas de um forte valor cultural, compondo um senso comum compartilhado socialmente. Ainda, ao contrário do que muitos pensam, [Pozo e Crespo \(2009\)](#) argumentam que 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 consolidados no sujeito, que diferem fundamentalmente daqueles que norteiam o conhecimento científico. Modificar essas teorias e esses princípios seriam as grandes dificuldades do ensino e da aprendizagem de conceitos científicos.

### 1.3 A natureza das concepções alternativas

As concepções cotidianas dos alunos e as concepções científicas são de naturezas fundamentalmente distintas. Nesta seção, buscaremos explicitar essa diferença numa tentativa de compreender um pouco melhor os princípios nos quais se apoiam os conhecimentos prévios dos estudantes, o que nos auxiliará a entender as concepções alternativa mais comuns sobre circuitos elétricos no capítulo seguinte.

No que diz respeito à natureza do conhecimento prévio dos alunos, é preciso salientar que, para eles, a realidade tende a se limitar àquilo que veem – um mundo de objetos e pessoas. Assim, por exemplo, é comum que crianças pequenas não percebam o ar como matéria, afinal, não conseguem vê-lo. Se reconhecem sua existência (através da sensação de uma brisa, ou do inflar de uma bexiga), com frequência não o consideram como substância, mas como algo com propriedades etéreas, sem massa ou peso ([DRIVER et al., 1999](#)).

Quando esse raciocínio se depara com “entidades” do mundo científico apresentadas durante as aulas de ciências – como elétrons, campos e correntes elétricas – tende a interpretá-las também como objetos que existem e povoam o mundo real. Entretanto, essa é uma visão que conflita com natureza do conhecimento científico. Nas palavras de [Driver et al.](#),

[...] o conhecimento científico é, ao mesmo tempo, simbólico por natureza

e socialmente negociado. Os objetos da ciência não são fenômenos da natureza, mas construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a natureza. [...] O conhecimento científico em muitos domínios, seja nas explicações do comportamento de circuitos elétricos, no fluxo de energia através de ecossistemas ou na rapidez das reações químicas, consiste de entidades definidas formalmente e de relações que se supõe existirem entre elas.” (p. 32)

Ou seja, o saber científico é socialmente construído e descreve a realidade por meio de modelos que não são parte dessa realidade de fato. Sendo assim, a tendência realista de compreender o mundo das concepções alternativas – que interpreta átomos, elétrons, ou correntes elétricas como algo que povoa o mundo real – vai na direção oposta ao que coloca a natureza do conhecimento científico. Entretanto, apesar da incompatibilidade, trata-se de uma tendência bastante dominante e difícil de superar. É possível encontrá-la até mesmo entre cientistas e professores da área, que, por vezes, acreditam ser a função das ciências descobrir a estrutura e o funcionamento da natureza, em vez de construir modelos para interpretá-la (POZO; CRESPO, 2009).

Na citação anterior, Driver et al. (1999) destacam também a busca das ciências por relações que se supõe haver entre as diferentes “entidades” por elas definidas – por exemplo, as relações entre a força aplicada sobre um corpo, sua massa e a aceleração. De fato, na atividade científica os fenômenos são compreendidos a partir de um conjunto de relações complexas de influência mútua que fazem parte de um sistema. No horizonte, objetiva-se a construção de um quadro geral e coerente que descreve o mundo a partir de poucos modelos de ampla generalidade e escopo, como a mecânica newtoniana.

Isso difere fundamentalmente da forma como os alunos tendem a perceber os eventos com base nas suas concepções prévias. Em geral, eles assumem os fenômenos de forma desconexa entre si, interpretando-os em termos de estados sucessivos e isolados – um corpo em repouso e um corpo em movimento –, o que não é suficiente para explicar a transição de um estado para o outro – um corpo em repouso que põe-se em movimento. Ou seja, quando compreendidos à luz de concepções alternativas, os fenômenos tendem a ser entendidos como situações isoladas, ao passo que o conhecimento científico considera-os como sistemas complexos em que diferentes variáveis se relacionam entre si ao longo de todo o processo de duração do fenômeno.

Pozo e Crespo (2009) citam três principais diferenças entre as estruturas conceituais que fundamentam as concepções alternativas e científicas. No geral, os princípios nos quais se baseiam as primeiras são muito mais simples que os das segundas e, em boa medida, eles são opostos entre si. Essas três diferenças são:

- a) **causalidade linear vs. interação de sistemas** - ao explicar fenômenos cotidianos, os alunos tentem a recorrer a esquemas de causalidade simples, nos quais a relação causa e efeito é linear e em um único sentido. Entretanto,

a maior parte das teorias científicas exige compreender os fenômenos como uma interação de sistemas, em que causa e efeito não ocorrem em um único sentido, mas formam uma relação recíproca, em que os sistemas interagem e modificam-se mutuamente. Ainda, há casos em que as teorias científicas compreendem que a relação não envolve apenas uma, mas várias causas, que se coordenam para produzir um efeito;

- b) **mudança e transformação vs. conservação e equilíbrio** - a tendência do pensamento cotidiano é a de que os alunos centrem-se mais no que se transforma, na mudança, e não no que se conserva. Isso tem relação com a visão alternativa exposta acima em que os efeitos ocorrem num único sentido, focando-se assim na mudança (a ação), e esquecendo-se os efeitos recíprocos (a reação) que garante a conservação. Contudo, a maior parte dos conceitos científicos envolve a noção de conservação, tratando-se muitas vezes de conservações não observáveis, que requerem uma abstração conceitual para compreendê-las. Ainda, as teorias científicas organizam-se em torno de equilíbrios cíclicos, sem início nem fim (como o equilíbrio térmico, por exemplo), enquanto que os alunos tendem a interpretar as situações como uma cadeia de acontecimentos com um início/agente e um fim/efeito (um cobertor “dá” calor para um corpo);
- c) **relações qualitativas vs. esquemas de quantificação** - no cotidiano tendemos a estabelecer relações qualitativas entre os fatos. Entretanto, a atividade científica caracteriza-se pelo uso de operações quantitativas precisas que visam determinar não somente se há relação entre dois ou mais fatores, mas também em que quantidade essa relação existe. Usa-se de forma combinada três esquemas de quantificação que, além de não intuitivos, não são fáceis de dominar: a proporção, a probabilidade e a correlação.

Quando essas diferenças não são reconhecidas e as concepções alternativas encaradas como de mesma natureza das científicas, o ensino não assume como objetivo mudar ou transcender os conhecimentos prévios. Neste caso, aprender ciência seria apenas uma atividade cumulativa, em que ensinar significa transmitir conhecimentos da ciência a alunos já preparados cognitivamente para compreendê-los. Essa é a perspectiva adotada por boa parte dos currículos vigentes, inclusive naqueles que pretendem “inovar” colocando o aluno na posição de um pequeno cientista, agindo e pensando como os profissionais dessa área. Entretanto, por conta das divergências fundamentais entre a natureza dos conhecimentos prévios e científicos, para que o aluno seja capaz de compreender as concepções das ciências, quem dirá pensar como um cientista, “[...] é necessário ajudá-los a construir novas estruturas mentais que não fazem parte do repertório cognitivo natural do ser humano, mas que são um produto histórico e cultural [...]” (POZO; CRESPO,

2009, p. 124). Consequentemente, quando essas diferenças não são contempladas no processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos conceituais de ciências, o aluno assimila o conhecimento científico com base nas estruturas e princípios de seus conhecimentos prévios, o que provavelmente resultará num entendimento equivocado dos conceitos, originando novas concepções alternativas, agora de origem escolar.

Daí a importância de se considerar essas concepções durante o ensino de ciências, de trabalhá-las em sala de aula, de diferenciar sua natureza e os princípios que as sustentam em relação aos mesmos do conhecimento científico. Não abordaremos aqui os diversos enfoques didáticos para realizar esse trabalho – para isso, recomendamos o capítulo 8 da obra de [Pozo e Crespo \(2009\)](#) –, mas gostaríamos de discutir brevemente como diferentes visões sobre a relação entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os científicos ensinados na escola derivam em diferentes formas de compreender o papel das concepções alternativas no processo de ensino e aprendizagem.

## 1.4 As concepções alternativas em diferentes metas da educação científica

Uma forma de considerar a relação entre conhecimentos prévios e científicos que predominou por longos anos no início no desenvolvimento das pesquisas sobre concepções alternativas no ensino de ciências foi a de incompatibilidade entre esses dois saberes. Assim, para que o aluno aprendesse as teorias e modelos científicos, acreditava-se que era preciso uma mudança radical na sua forma de interpretar a natureza. Nesse contexto, uma ideia bastante difundida foi o modelo de mudança conceitual por conflito cognitivo, na qual os conhecimentos prévios dos estudantes deveriam ser problematizados a fim de causar um conflito cognitivo, mostrando ao aluno que sua teoria era errônea e, por isso, deveria substituí-la pela científica, aprendendo-a ([MORTIMER, 1995](#)). Nesses estudos o termo “concepções errôneas” (ou no inglês “misconceptions”, o qual deriva da expressão “mistake conceptions”) era amplamente empregado no sentido de serem conhecimentos errados e que deviam ser erradicados e substituídos pelos científicos. Com o tempo, tal modelo sofreu fortes críticas e essa terminologia caiu em desuso, sendo uma das causas para isso a forte resistência à mudança que as concepções alternativas apresentavam, de forma que mesmo após anos de instrução escolar elas ainda permaneciam no sujeito, mostrando-se quase impossíveis de serem substituídas totalmente.

Numa perspectiva mais atual, admite-se a independência entre os conhecimentos alternativos e científicos, devendo-se trabalhá-los em sala de aula, mas sem necessidade de substituição ao final. Para [Driver et al. \(1999\)](#),

[...] tornar-se socializado nas práticas discursivas da comunidade científica não significa, no entanto, abandonar o raciocínio do senso comum. Os

seres humanos participam de múltiplas comunidades de discurso paralelas, cada uma com práticas e objetivos específicos. (p. 36)

Assim, não há porque o aluno ter de abandonar um conhecimento perfeitamente cabível para interpretar muitos fenômenos do cotidiano para aprender ciências. O que é necessário, nesse caso, é saber usar um conhecimento ou outro segundo o contexto em que se encontra, conforme qual for o mais adequado. Trata-se da coexistência dos dois saberes no mesmo sujeito.

Entretanto, essa visão abre campo para o seguinte questionamento: uma vez que se assume serem as concepções alternativas cotidianas eficientes para descrever a maioria dos fenômenos do dia a dia, então para que ensinar ciências a todos os alunos, já que as concepções científicas servem apenas para fazer ciência? Para não cair nessa relativização absoluta de contextos, [Pozo e Crespo \(2009\)](#) propõem considerar-se uma diferenciação e integração hierárquica entre os diferentes tipos de conhecimento. Com isso, mudança conceitual e ativação do conhecimento com base no contexto não são práticas incompatíveis, mas complementares. Isso porque consideram que a nova teoria só poderá ser compreendida na medida em que ela se diferencie conceitualmente da anterior, caso contrário haverá confusão entre as duas e uma compreensão equivocada por parte do aluno; entretanto, ele não precisa abandonar suas concepções alternativas ao final da aprendizagem.

Em proximidade com essa visão, [Mortimer \(1995\)](#) propõe um modelo para análise da evolução conceitual em sala de aula baseado na noção de perfil conceitual, desenvolvida a partir ideia de perfil epistemológico de [Bachelard \(1978\)](#). Tal modelo sugere que as pessoas utilizam diferentes formas de pensar sobre um determinado conceito dependendo do contexto em que se encontram e que não há necessidade de substituição ou superação dos conhecimentos prévios e alternativos para que se aprenda os conceitos científicos. [Mortimer](#) propõe que, diante de um determinado conceito, cada indivíduo apresenta um perfil conceitual particular, dividido em zonas que delimitam diferentes “maneiras de ver” o mundo. Tais zonas seriam comuns aos sujeitos que compartilham uma mesma cultura, entretanto, o quão presente cada uma delas é no pensamento do indivíduo depende muito de sua experiência pessoal, sua vivência.

Por exemplo, o perfil conceitual de um indivíduo da nossa cultura sobre o conceito de massa tem a primeira zona caracterizada pela visão realista ingênua que atribui massa somente àquilo que é pesado, um pensamento pautado em concepções alternativas bastante conhecidas. Já a segunda zona refere-se a um emprego empírico desse conceito, associado à determinação da massa de forma precisa e objetiva, ligada à utilização da balança. A terceira zona, por sua vez, caracteriza-se pela visão da mecânica clássica newtoniana, na qual se define massa por um corpo de noções, o quociente da força pela aceleração, e não por uma experiência imediata ou direta. A compreensão relativística

caracteriza a quarta zona, na qual a noção simples de massa dá lugar a outra mais complexa, dependente da velocidade do corpo. Por fim, a quinta zona refere-se à visão mais recente e contemporânea de massa fruto da mecânica de Dirac (MORTIMER, 2000). Cada sujeito, de acordo com sua experiência pessoal, vai ter uma zona ou outra mais desenvolvida e presente no dia a dia. Entretanto, assim como um físico não abandona ou substitui seu entendimento de mecânica clássica ao aprender a relativística, um estudante da educação básica não abandona ou substitui suas concepções alternativas ao aprender os conceitos básicos da mecânica clássica nas aulas de física. Na realidade, mesmo um físico ou químico profissional ainda apresentaram em seus perfis conceituais um pouco da componente realista ingênua derivada de concepções alternativas. Sobre isso, o modelo de perfil conceitual considera que “[...] não podemos reduzir ou elevar a plausibilidade ou a fecundidade de alguma concepção, mas apenas mostrar em que domínio ela pode ser considerada plausível e fecunda. Ninguém pode sobreviver sem senso comum”<sup>2</sup> (MORTIMER, 1995, p 276).

Sendo assim, segundo esse modelo, aprender ciência não se resume a adquirir conhecimentos de uma zona específica do perfil conceitual referente às noções científicas. Para isso, deve-se também se tornar consciente das diferentes zonas do seu próprio perfil, o que inclui tanto as noções do senso comum quanto as da ciência, de modo que o aluno tenha consciências dos limites da aplicabilidade de suas concepções alternativas, sem precisar abrir mão delas (MORTIMER, 1995).

Adotamos neste trabalho essa última visão. Assim, entendemos que as concepções alternativas não são facilmente substituídas – e nem precisam ser, já que são úteis em muitas situações cotidianas e compartilhadas socialmente –, mas é preciso que o aluno aprenda os conhecimentos científicos escolares e saiba usá-los em contextos que os requerem. Dessa forma, por exemplo, ao lidar com a instalação elétrica de sua própria casa, esperamos que o sujeito saiba evitar um curto circuito, um choque elétrico ou a queima de aparelhos por instalação inadequada, mesmo que eventualmente ainda utilize concepções alternativas em momentos nos quais elas são úteis na vida cotidiana e não atrapalhem a relação do aluno com os fenômenos.

Sendo assim, uma vez que as ciências impactam profundamente nosso modo de vida contemporâneo e o ensino e a aprendizagem de conceitos estão entre as principais metas da educação científica – sendo, de fato, a principal meta na maioria dos currículos atuais – é natural que o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) investigue o domínio dos alunos sobre as concepções científicas. Em diversos momentos o exame chega até mesmo a confrontá-las com possíveis concepções alternativas que o sujeito possa possuir, o que nos abre caminhos para uma investigação acerca das preferências ou não por CA que os alunos expressam num contexto que, entre outros objetivos, pretende avaliar seu

<sup>2</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] we cannot lower or raise the plausibility or the fruitfulness of some conception, but only show in what domain it can be considered as plausible and fruitful. No one can survive without common sense.”

domínio sobre as concepções científicas.

## 1.5 A pesquisa sobre concepções alternativas no Brasil

Conforme foi dito no início deste capítulo, a pesquisa sobre concepções alternativas no ensino de ciências se desenvolveu principalmente a partir da década de 70 no cenário mundial, crescendo de forma explosiva nos anos seguintes, inclusive no Brasil. Da década de 80 em diante o tema sempre esteve presente no cenário nacional, havendo inúmeros trabalhos publicados que investigam os conhecimentos prévios dos alunos, seja tentando identificá-los, compreendê-los ou mesmo utilizando-os para alcançar algum objetivo maior. Através de simples buscas online por pesquisas acadêmicas nacionais conseguimos rapidamente encontrar concepções catalogadas das mais diversas áreas das ciências, além de várias sugestões de como utilizá-las nos processos de ensino e aprendizagem. Reflexo da relevância do tema, em 2002 os PCN+ do Ensino Médio já chamavam atenção para o assunto na seção em que abordam estratégias para ação no Ensino de Física (BRASIL, 2002).

Com tantos trabalhos já feitos sobre o assunto, sentimos a necessidade de compreender se ainda há espaço para novas pesquisas sobre concepções alternativas antes de avançarmos com esta dissertação. Seria esse um tema ainda em debate nos dias atuais? Ou já estaria saturado e obsoleto? Para refletir sobre essas questões, realizamos um levantamento simplificado da quantidade de publicações que abordam CA ao longo dos anos utilizando importantes portais e sistemas de busca de trabalhos acadêmicos nacionais. Nosso objetivo aqui não é realizar uma revisão bibliográfica, muito menos um levantamento com critérios rigorosos de seleção das obras tal como fazem as pesquisas do tipo estado da arte. Queremos apenas verificar se as concepções alternativas ainda parecem estar em discussão nos dias atuais. Assim, avisamos de antemão que nossos resultados não filtram apenas os trabalhos com foco principal em mapear ou modificar concepções alternativas, mas incluem também aqueles nos quais elas aparecem dentro de uma investigação com outros fins. Por conta da quantidade de trabalhos encontrados, considerando não ser esse um levantamento central para o escopo desta pesquisa, julgamos inviável a leitura minuciosa dos resumos de todas as publicações para avaliar se concepções alternativas era um tema central nos trabalhos ou não. Dessa forma, pode haver casos nos quais as CA foram citadas apenas passageiramente no resumo das teses e dissertações ou no corpo dos artigos.

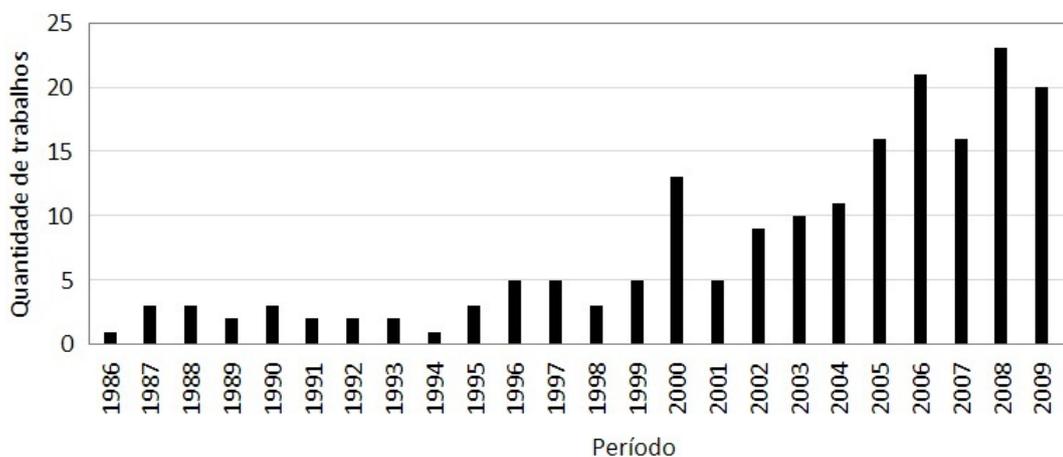
Para compreender melhor a relevância do tema no final do século XX, recorreremos ao Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC)<sup>3</sup>, coordenado pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Formação de Professores da Área de Ciências (FORMAR-Ciências),

<sup>3</sup> Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC): <<https://www.fe.unicamp.br/cedoc/teses/>>

da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Trata-se de uma plataforma que reúne resumos de mais de 3700 pesquisas educacionais brasileiras na área de Ciências, em especial aquelas traduzidas sob a forma de teses e dissertações. Seu banco de teses possui uma ampla cobertura entre a década de 70 e início dos anos 2000, embora tenha deixado de ser atualizado com frequência em meados de 2010.

No CEDOC buscamos por trabalhos que contivessem no título ou no resumo os termos “concepções alternativas”, ou “conhecimentos prévios”, ou “concepções prévias” ou “concepções espontâneas” (os quatro com retorno de resultados significativo entre todos os termos semelhantes às CA utilizados nas ferramentas de busca desta seção), lembrando que as teses cadastradas na plataforma já são da área Ensino de Ciências. Como a plataforma não permite a pesquisa simultânea por todos esses termos, realizamos buscas individuais para cada um deles, cruzamos os resultados e eliminamos os títulos repetidos. Ao total encontramos 202 teses e dissertações que abordam as CA, sendo a mais antiga datada de 1986. A distribuição desses trabalhos em função do tempo para o período de 1986 a 2009 encontra-se na Figura 1.

Figura 1 – Dissertações e teses da área de Ensino de Ciências sobre concepções alternativas (ou termos semelhantes) localizadas no **Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC)**.



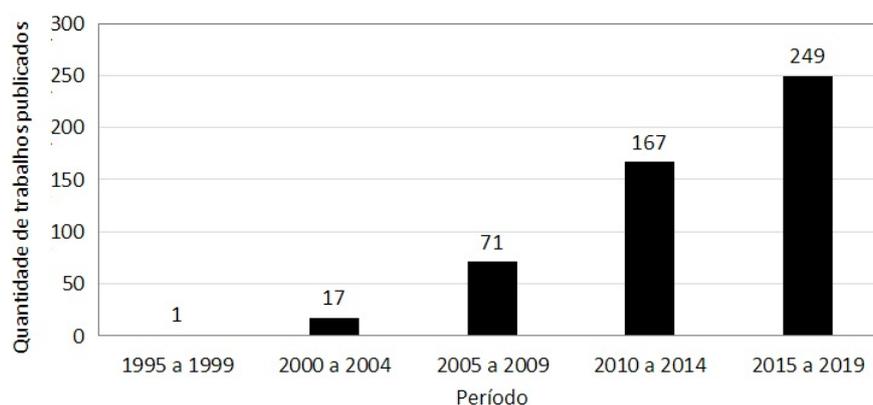
Fonte: Produzida pela autora, dados do Centro de Documentação em Ensino de Ciências (CEDOC), da Faculdade de Educação da Unicamp.

Como podemos observar, há no final do século XX uma taxa anual constante de trabalhos sobre CA, numa média de três publicações por ano. A partir do ano 2000, entretanto, houve uma crescente de pesquisas abordando concepções alternativas, alcançando a média de 20 trabalhos por ano ao longo de 2006 a 2009. Esses dados sugerem um grande desenvolvimento dessa área de pesquisa no Brasil no início dos anos 2000.

Visando uma elucidação a respeito da última década, buscamos no Portal de

Periódicos da Capes<sup>4</sup> artigos e livros que trouxessem simultaneamente os termos “concepções alternativas” (ou alguma das terminologias semelhantes: “concepções errôneas”, “conhecimentos prévios”, “concepções prévias”, “conceitos prévios”, “concepções espontâneas”, “conceitos intuitivos” ou “concepções intuitivas”) e “ciências” (ou “física”). Essa combinação de termos foi possível utilizando operadores booleanos, compreendidos pelo sistema. Ao exigir que os termos “ciências” ou “física” estivessem presentes, filtramos majoritariamente publicações na área de Ensino de Ciências. Localizamos um total de 505 trabalhos datados de 1995 a 2019, sendo 1998 o ano da publicação mais antiga encontrada. A Figura 2 traz a relação de trabalhos em função dos anos. Como se observa, a quantidade de livros e artigos sobre CA registrados na plataforma é crescente, tendo seu pico nos dias atuais. Entretanto, o Portal de Periódicos não retornou muitos resultados anteriores ao lançamento oficial da plataforma, em 2000.

Figura 2 – Artigos e livros que abordam concepções alternativas no ensino de ciências publicados entre 1995 e 2019, localizados no **Portal de Periódicos da Capes**.



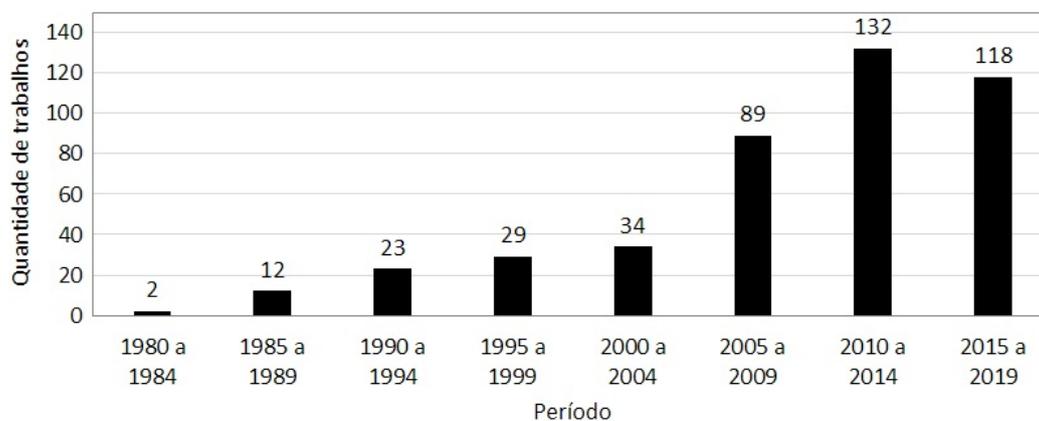
Fonte: Produzida pela autora, dados do Portal de Periódicos da Capes.

Tanto o CEDOC como o Portal de Periódicos da Capes nos sugere que as concepções alternativas ainda são amplamente abordadas nas pesquisas atualmente. Entretanto, por conta da limitação do nosso método de busca, é possível que muitos trabalhos encontrados apenas citem passageiramente as CA em seu resumo (no caso de dissertações e teses) ou no corpo do texto (no caso dos artigos e livros), não as tendo como foco principal. Para contornar esse problema, recorreremos à ferramenta de busca Google Acadêmico, procurando por trabalhos em português que trouxessem o termo “concepções alternativas” (ou algum de seus semelhantes já citados) no título. Como o Google Acadêmico retorna milhares de publicações ao buscar por “concepções alternativas”, acreditamos que era a ferramenta adequada para filtrarmos apenas aquelas que trouxessem os termos de nosso interesse no título (um indicador que o foco das pesquisas era de fato concepções alternativas), mantendo ainda um número razoável de resultados para análise.

<sup>4</sup> Portal de Periódicos da Capes: <<http://www-periodicos-capes-gov-br.ez88.periodicos.capes.gov.br/>>

Por limitação da ferramenta, neste caso não conseguimos restringir automaticidade os resultados apenas para as áreas de Física ou Ensino de Ciências. Para realizar essa tarefa, utilizamos o software *Publish or Perish*<sup>5</sup> para exportar os 594 resultados originais da pesquisa num arquivo de extensão .csv, em formato de planilha. Com isso, pudemos retirar os títulos duplicados e, posteriormente, desconsiderar os trabalhos que não se encaixavam no escopo “Ensino de Ciências” por meio de uma leitura individual título a título. Ao final do tratamento dos dados, restaram 439 trabalhos, que encontram-se distribuídos em função do tempo no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Trabalhos da área de Ensino de Ciências que contêm no título o termo “concepções alternativas”, ou terminologias semelhantes, publicados entre 1980 e 2019, localizados no **Google Acadêmico**.



Fonte: Produzida pela autora, dados provenientes da ferramenta de busca Google Acadêmico.

Como podemos notar, os resultados indicam que, de fato, as pesquisas com foco nas concepções alternativas estiveram em crescente expansão até os últimos anos. O pico aparece para o período de 2010 a 2014, sendo que os dados sugerem uma leve queda na popularidade do assunto recentemente, mas ainda significativamente mais em alta do que era das décadas anteriores.

Ao unir os resultados obtidos a partir dos três sistemas de busca, podemos inferir que as pesquisas em CA começaram a se desenvolver no Brasil na segunda metade da década de 80, ganhando um maior destaque nos anos 90 e início dos anos 2000. A partir de então, as pesquisas de pós-graduação acadêmica na área continuaram crescendo, alcançando um patamar estável por volta de 2010 que se mantêm até hoje, havendo um grande número de trabalhos dos últimos 10 anos.

Após este breve levantamento, acreditamos que concepções alternativas ainda seja um tema de pesquisa relevante nos dias atuais, mesmo após décadas sendo estudado.

<sup>5</sup> Desenvolvido por Anne-Wil Harzing e disponível em <<https://harzing.com/resources/publish-or-perish>>.

Talvez para professores que atuam na academia de longa data possa parecer um assunto obsoleto e esgotado, pois acompanham discussões sobre isso a quase meio século. Entretanto, para jovens pesquisadores, em suas pesquisas de mestrado e doutorado, e professores pesquisadores atuantes no ensino básico e médio, esse não parece ser um assunto superado. Caso contrário, se fosse, não teríamos tantos trabalhos sobre o tema ainda nos dias atuais. Mesmo que boa parte das concepções alternativas já estejam catalogadas e mesmo os PCN+ (BRASIL, 2002) já tenham recomendado atenção a elas nos processos de ensino e aprendizagem, a impressão que se tem é que o ensino de ciências nas salas de aulas avança em passos lentos, e as concepções alternativas, apesar de discutidas na academia a décadas, ainda não adentraram de fato no cotidiano escolar, assim como também não foram esgotadas as possibilidades de investigá-las.

## 2 Concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos (CACE e DCCE)

### 2.1 Introdução às CACE, DCCE e nossos referenciais

O estudo dos fenômenos elétricos é uma importante área da Física, necessária para compreender o funcionamento de qualquer equipamento eletrônico dentre os tantos que nos cercam em nosso cotidiano. Dada a importância desse conteúdo para uma formação científica que propicie aos jovens ferramentas para pensar e agir no mundo real, o eletromagnetismo é um dos principais eixos dos currículos de ciências. Dentro do eletromagnetismo, um tema que recebe muito destaque é o estudo de circuitos elétricos resistivos de corrente contínua. Tratam-se de circuitos simples, compostos por elementos resistivos e alimentados por uma fonte de tensão de corrente contínua, tal como pilhas ou baterias. Em geral, é através desse conteúdo que se introduz os alunos ao universo da eletrodinâmica, isso é, das cargas em movimento – as famosas correntes elétricas. Nesse momento são apresentadas importantes grandezas físicas que povoam nosso dia a dia no que diz respeito a equipamentos elétricos, tal como voltagem, potência e corrente.

Uma vez que nossa vida contemporânea é repleta de aparelhos elétricos, eletricidade acaba sendo um tema familiar para os estudantes do ensino fundamental e médio. Como consequência, os alunos costumam possuir numerosas ideias para interpretar os fenômenos elétricos ao seu redor, ideias essas que diferem fundamentalmente daquelas que se pretende transmitir por meio do ensino de ciências (POZO; CRESPO, 2009). Tratam-se das tão discutidas concepções alternativas.

As concepções alternativas em circuitos elétricos (que abreviaremos por CACE) foram amplamente estudadas e catalogadas na literatura, de forma que, hoje, temos acesso a uma vasta coleção de concepções que povoam os pensamentos dos alunos. Nesta dissertação temos como nossos principais referenciais sobre CACE os trabalhos de Engelhardt e Beichner (2004) e Gravina e Buchweitz (1994). Engelhardt e Beichner (2004) elaboraram um dos mais importantes inventários (testes de lápis e papel constituídos de alguns itens de múltipla escolha) da atualidade para detecção de concepções alternativas em circuitos de corrente contínua, conhecido como Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT). Junto ao inventário, os autores trazem no texto um sólido conjunto de CACE identificadas por eles através do instrumento que desenvolveram. Já Gravina e Buchweitz (1994) realizaram um dos primeiros trabalhos nacionais sobre

esse tema, produzindo um inventário brasileiro num momento em que esse campo de pesquisa ainda estava no início de seu desenvolvimento em nosso país. Eles também trazem um conjunto de concepções alternativas sobre circuitos, identificadas no contexto de um trabalho que pretendia utilizar esse conhecimento prévio dos alunos na preparação e aplicação de estratégias de ensino, seguidas de uma análise sobre a aprendizagem dos estudantes.

Além de concepções alternativas, os inventários apontam também algumas das principais dificuldades comuns sobre circuitos elétricos (as quais abreviaremos por DCCE) que os alunos costumam apresentar. Apesar de nosso foco ser, num primeiro momento, as CACE, nem sempre concepções alternativas e dificuldades de outras naturezas são diferenciadas entre si nas nossas referências, sendo por vezes tratadas despreocupadamente como sinônimos, tal como ocorre em [Engelhardt e Beichner \(2004\)](#). Entretanto, entendemos que concepções alternativas tratam-se de ideias de natureza distinta à de outras dificuldades comuns. As primeiras (neste caso as CACE), como discutimos no capítulo anterior, tratam-se de modelos alternativos aos da ciência que os alunos utilizam para interpretar a natureza, ideias essas que se organizam em verdadeiras teorias implícitas, nas quais há um conceito que conflita com o científico durante o processo de aprendizagem ([POZO; CRESPO, 2009](#); [MORTIMER, 2000](#)). Por outro lado, há tantas outras dificuldades comuns dos alunos (as quais estamos nos referindo por DCCE), de origens distintas e bastante presentes nas nossas referências, que não pudemos deixar de considerá-las neste trabalho. Sejam elas fruto da falta de um modelo, mesmo que alternativo, para interpretar o fenômeno, uma confusão de termos científicos, uma dificuldade de interpretar diagramas ou símbolos próprios da linguagem científica, uma aplicação incorreta de equações, entre outras razões. Para marcar essa diferença apontada utilizaremos nesta dissertação ambos os termos, CACE e DCCE, quando nos referirmos ao conjunto total de ideias alternativas dos alunos apontadas pelos nossos referenciais. Algumas dessas ideias serão concepções alternativas, outras dificuldades comuns de natureza distinta, mas nem sempre as diferenciaremos explicitamente umas das outras, dado que mesmo nossos referenciais não o fazem com frequência.

Utilizamos ainda os trabalhos de [Pozo e Crespo \(2009\)](#), [Driver et al. \(1994\)](#) e [McDermott e Shaffer \(1992\)](#) para apoiar e ampliar nossa compreensão sobre as CACE e DCCE abordadas nos inventários citados. Todos os três são importantes e reconhecidos referenciais no que diz respeito às concepções alternativas, o último ao entendimento dos alunos sobre eletricidade, em particular. [McDermott e Shaffer \(1992\)](#) apresentam um amplo conjunto de conhecimentos prévios e dificuldades que os alunos possuem sobre circuitos elétricos, identificado ao longo de anos de pesquisa pelo “*Physics Education Group*”, da Universidade de Washington. Já [Driver et al. \(1994\)](#) e [Pozo e Crespo \(2009\)](#) apresentam uma revisão de CACE e DCCE da literatura.

É importante dizer que, como referência de concepções científicas sobre circuitos elétricos, adotamos os livros didáticos de [Halliday, Resnick e Walker \(2009\)](#) e [Bonjorno et al. \(2016\)](#). O primeiro é uma clássica referência utilizada em muitos cursos introdutórios de Física do ensino superior. Já o segundo foi escolhido estrategicamente por ser da coleção de livros didáticos de Física mais adotada nas escolas públicas brasileiras dentre as aprovadas nas duas últimas avaliações do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), realizado pelo Ministério da Educação (MEC). Com isso, pretende-se aproximar o nosso olhar da forma que o conteúdo circuitos elétricos é abordado no ensino médio. Não é nosso objetivo apresentar aqui a interpretação científica sobre circuitos elétricos de corrente contínua. Para esse fim, recomendamos esses dois referenciais. Nos limitaremos a citar o modelo científico apenas para efeito de comparação com as concepções alternativas.

Antes de trazermos para este trabalho as concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos de fato, gostaríamos de justificar brevemente o porque escolhemos como um dos nossos referenciais principais o trabalho de [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#), uma publicação com pouca tradição e poucas citações quando comparada às demais referências adotadas. Para isso, vamos nos voltar por um instante ao cenário nacional.

## 2.2 CACE e DCCE no âmbito brasileiro: primeiras publicações

Como apontamos na seção 1.5, a pesquisa nacional sobre concepções alternativas teve início na década de 80, mas só foi ganhar mais espaço dentro da academia na segunda metade da década seguinte. Até o ano de 1994 havia pouquíssimas publicações sobre o assunto, mas, entre elas, encontramos algumas que tinham em foco as concepções alternativas sobre circuitos elétricos. [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#) é um desses trabalhos, que em 1994 trazia um inventário sobre CACE e um conjunto de concepções identificadas.

Antes dele, conseguimos encontrar apenas mais quatro pesquisas que discutissem o tema. A primeira (que também é o trabalho brasileiro mais antigo sobre concepções alternativas em geral que encontramos) data de 1985, de [Dominguez \(1985\)](#). Trata-se de uma dissertação de mestrado na qual, através de entrevistas clínicas, buscou-se detectar as concepções alternativas de estudantes relativas a campo, potencial elétrico, intensidade de corrente e diferença de potencial em circuitos elétricos simples. É notável que tal pesquisa tenha sido realizada no Brasil num momento em que as concepções alternativas vinham sendo identificadas e catalogadas mundo afora. Infelizmente, não encontramos esse trabalho disponível em plataformas online para acessarmos as CACE identificadas pela autora. Tivemos contato apenas com o resumo da pesquisa disponibilizado no CEDOC e breves referências feitas nos textos de [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#) e [Rinaldi \(1989\)](#).

Dos anos posteriores encontramos os artigos de [Vieira et al. \(1986\)](#), [Silveira, Moreira e Axt \(1989\)](#) e a dissertação de [Rinaldi \(1989\)](#). O primeiro investigou concepções

alternativas sobre o comportamento da corrente elétrica num circuito. O segundo relata a elaboração de um inventário para identificação de concepções alternativas de estudantes em circuito elétrico, com foco na elaboração e validação do instrumento, não nas CACE em si. Já [Rinaldi \(1989\)](#) verifica a influência do ensino formal nas concepções alternativas em eletricidade básica. Para isso, foi elaborado e aplicado um questionário pelo qual foram identificadas concepções alternativas em circuitos de alunos dos três graus de escolaridade. Infelizmente, não encontramos acesso online a essa dissertação no período de definição dos nossos referenciais teóricos. Somente mais tarde soubemos da existência de uma cópia física desse trabalho na biblioteca da Faculdade de Educação da UNICAMP, disponibilizada pelo CEDOC. Lamentamos não ter acessado a íntegra do trabalho de [Rinaldi \(1989\)](#) no período em que definíamos nossos referenciais teóricos em CACE. O autor identifica e discute um conjunto sólido de concepções alternativas e dificuldades comuns em circuitos elétricos no qual poderíamos ter nos baseado para análise dos itens do ENEM, tal como fizemos com [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#). Inclusive, há a discussão de uma CACE bastante interessante que não encontramos explícita nos nossos outros referenciais chamada por [Rinaldi](#) de “modelo dos Watts”, segundo a qual os alunos acreditam que a intensidade luminosa das lâmpadas depende exclusivamente de sua potência nominal (marcada na lâmpada), e não da sua disposição na associação de elementos do circuito.

É curioso que, com exceção de [Rinaldi \(1989\)](#), todos os demais trabalhos possuem autoria de pesquisadores ligados à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os resultados sugerem a presença de um grupo ativo de pesquisa em Ensino de Física já no final do século passado.

Esses cinco trabalhos comentados nesta seção têm caráter pioneiro no âmbito nacional, discutindo e identificando CACE num momento em que esse assunto estava sendo amplamente debatido no cenário internacional. Entretanto, todos eles parecem ser pouco conhecidos e referenciados, havendo pouquíssimas citações de cada um. Provavelmente, a questão da publicação em português foi uma das dificuldades enfrentadas para esses trabalhos serem reconhecidos junto a precursores da área e das ideias ali contidas.

Tendo em vista esse contexto, muito nos gratificou termos encontrado o trabalho de [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#). Dentre os que tivemos acesso ao texto completo no período de definição do nosso referencial teórico, era o único que trazia um bom conjunto de CACE e o banco de itens utilizados para identificá-las. As concepções apontadas, inclusive, em muito concordam com aquelas mencionadas por importantes referenciais internacionais, como poderemos ver na seção seguinte. Sendo assim, pelo seu caráter pioneiro no cenário nacional e pela qualidade do trabalho, decidimos adotá-lo como um dos principais referenciais desta pesquisa.

## 2.3 CACE e DCCE: visão geral

Nesta seção traremos uma visão geral sobre as concepções alternativas e dificuldades comuns em circuitos elétricos e, ao final, apresentaremos no Quadro 2 cada concepção e dificuldade individualmente, conforme abordada por nossos referenciais. Não temos a pretensão de listar todas as CACE e DCCE nesse quadro, mas buscamos incluir todas aquelas apontadas em nossos referenciais como as mais comuns e relevantes. A fim de organização, visto a quantidade de CACE e DCCE listadas no quadro, utilizaremos o recurso de hiperlink ao longo da versão digital desta dissertação. Dessa forma, o(a) leitor(a) poderá clicar em determinada concepção alternativa ou dificuldade comum sobre circuito quando ela aparecer no texto e ser direcionado(a)<sup>1</sup> para sua localização no Quadro 2. Ainda, no intuito de facilitar a busca de uma concepção ou dificuldade específica, o Quadro 1 traz os rótulos com hiperlinks de todas as CACE e DCCE incluídas no Quadro 2 e discutidas ao longo do texto.

Tal como vimos no Capítulo 1, as concepções alternativas originam-se no cotidiano, em experiências sensoriais ou sociais, ou ainda podem ser decorrentes de assimilações equivocadas dos conceitos científicos ensinados na escola. As concepções alternativas sobre circuitos elétricos simples de corrente contínua bem seguem essa descrição. Boa parte delas tem base na observação da realidade cotidiana e dá conta de guiar os alunos em suas atividades diárias básicas, como ligar um aparelho eletrônico na tomada para que funcione ou utilizar esses mesmos aparelhos. Além dessas, há ainda outras tantas CACE que originam-se no ambiente escolar, após o aluno tomar um primeiro contato com conceitos científicos.

Em geral, os conhecimentos prévios sobre circuitos podem ser resumidos em algumas ideias bastante simples, que muito giram em torno da difusa noção de “eletricidade”. Conforme descrevem [Pozo e Crespo \(2009\)](#), na ideia cotidiana, “o que faz com que um aparelho funcione é a ‘eletricidade’ que se consome ou se gasta nele, as pilhas e tomadas elétricas são fontes ou armazenadores de eletricidade e, portanto, é necessário transportar essa eletricidade até o aparelho” (p. 224). Na maioria das vezes, [essa eletricidade é considerada uma substância material, um fluido](#), algo que se armazena, se gasta e é necessário transportar de um lugar para o outro. Para armazená-la, temos as baterias e pilhas, sendo as tomadas entendidas como fontes quase inesgotáveis de eletricidade. Já para transportá-la utilizamos os fios, que ligam os aparelhos às fontes. Ainda, quando gasta, podemos repô-la trocando as pilhas ou carregando as baterias, por exemplo. Trata-se de uma substancialização do conceito “eletricidade”, de forma que os alunos consideram-na como uma espécie de combustível.

---

<sup>1</sup> Para retornar facilmente ao local do texto em que se estava antes de clicar no hiperlink pode-se utilizar o comando “**Alt**” + “←”, compreendido por alguns leitores de arquivo .pdf do sistema operacional “Windows” (dentre eles o “Adobe Reader”, o “Sumatra PDF” e o “PDF-XChange Viewer”).

Quadro 1 – Auxiliar para busca por uma CACE ou DCCE específica do Quadro 2, ao final desta seção. CACE e DCCE organizadas conforme aparição no Quadro 2 e assunto principal abordado, embora não se trate de uma categorização.

Assunto	Rótulos com hiperlinks das CACE e DCCE do Quadro 2		
<b>Aspectos gerais, corrente</b>	Confusão de conceitos e termos	Eletricidade (ou corrente) como um fluido	Circuito aberto aceitável
	Curto-circuito aceitável	Modelo unipolar	Modelo de correntes elétricas em choque
	Modelo rota direta	Bateria como fonte de corrente constante	Modelo sequencial
	Corrente consumida	Corrente num fio interrompido	Corrente divide-se igualmente num nó
	Corrente elétrica muito veloz	Voltagem como consequência da corrente	Resistência como consequência da corrente
	Campo elétrico como consequência da corrente	Campo elétrico nulo no condutor	
<b>Resistência</b>	Resistência não inerente ao resistor	Lâmpadas idênticas sempre brilham iguais	Sobreposição de resistores
	Resistência equivalente = resistência de um resistor individual	Resistor fornece “corrente-energia”	
<b>Topologia</b>	Diagramas diferentes implicam em conexões elétricas diferentes	Associação de resistores baseada na topologia	Contatos da lâmpada incorretos
<b>Equações</b>	Aplicação incorreta de equações	Uso inadequado de $U = R/i$	Resolução algorítmica sem respaldo conceitual
<b>Múltiplas baterias</b>	Sobreposição de baterias	Voltagem = resistência equivalente	Voltagem = capacitância equivalente
<b>Equipamentos</b>	Fusível com sobrecarga não rompe o circuito	Voltímetro e amperímetro não afetam o circuito	

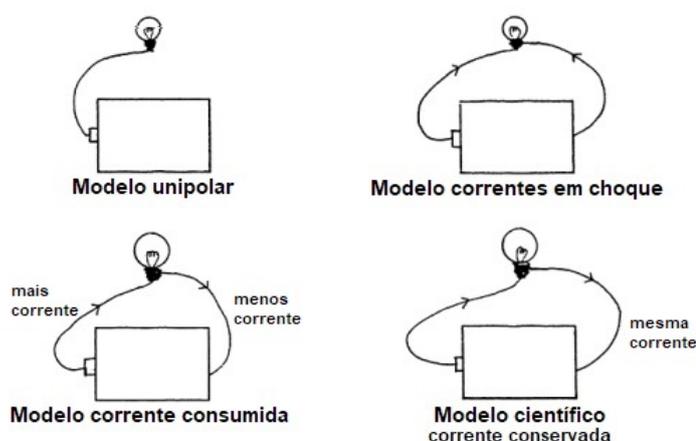
Fonte: Produzido pela autora.

Quando termos da linguagem científica são expostos aos alunos, como “corrente” e “voltagem”, eles tendem a não assimilá-los corretamente, confundindo-os e utilizando-os muitas vezes como sinônimo da tal “eletricidade”, ou “energia”. Assim, em seus primeiros contatos com pilhas, fios e lâmpadas nas aulas sobre circuitos, o raciocínio que os alunos apresentam para explicar a lâmpada acender, em geral, pode ser resumido por um modelo de consumidor e fonte: a bateria fornece alguma coisa para a lâmpada consumir, seja qual for o nome atribuído a essa “coisa” (“eletricidade”, “corrente”, “vontagem”, entre outros) (DRIVER et al., 1994). Daí nasce a ideia que talvez seja a concepção alternativa mais difundida e persistente sobre circuitos, a crença de que a *bateria seja uma fonte constante de corrente elétrica* (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992).

Todo esse raciocínio fornece respaldo para que alguns alunos, em especial

quando mais jovens e sem instrução científica, acreditem que basta um único fio para ligar uma lâmpada a uma pilha<sup>2</sup>, como um equipamento elétrico que deve ser conectado à tomada. Isso seria o suficiente para o “alguma coisa” que há na bateria chegar à lâmpada e lá ser consumido, mesmo que se trate de um circuito aberto. Trata-se da concepção alternativa que Gravina e Buchweitz (1994) e Driver et al. (1994) chamam de **modelo unipolar**, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Modelos alternativos e científico para o comportamento da corrente na associação de uma pilha com uma lâmpada.



Fonte: Driver et al. (1994).

Outro modelo, que segue uma lógica semelhante, é o chamado **modelo de correntes elétricas em choque**, também ilustrado na mesma figura. Nele, os alunos pensam na corrente fluindo de ambos os terminais da bateria. Quando as correntes se encontram e se chocam na lâmpada, produzem luz e calor.

É preciso introduzir as crianças à noção de que é necessário um circuito fechado para que uma diferença de potencial seja estabelecida e a corrente possa circular. No marco dos conhecimentos prévios é comum um **circuito aberto ser aceitável**, uma vez que mesmo ele poderia permitir o “fluido” corrente chegar ao resistor/lâmpada. Seria como uma mangueira com água, que, mesmo sem ser um loop fechado, leva o líquido de um lugar ao outro.

Entretanto, ainda que os alunos aceitem a necessidade de um circuito fechado, tendem a ignorar o fato de que qualquer mudança afeta globalmente todo o sistema. Por exemplo, numa associação de lâmpadas em série a uma bateria, ao se adicionar uma nova lâmpada no circuito todos os elementos do sistema são afetados pela mudança, uma vez

<sup>2</sup> Há uma situação especial na qual um circuito desse tipo de fato funciona, que é quando conecta-se um dos contatos da lâmpada direto num dos polos da pilha, bastando um único fio para conectar o outro contato da lâmpada ao outro polo da pilha e fechar o circuito.

que essa lâmpada altera a distribuição da tensão sobre todo o circuito. Em vez disso, os alunos tendem a pensar em cada parte do circuito separadamente, de forma local, não como um sistema de interação – uma característica recorrente das CA, como apontado na seção 1.3 (POZO; CRESPO, 2009). Assim como na mangueira ou num sistema de tubos com água, eles supõem que a corrente vá afetando os elementos do circuito conforme os alcança, de maneira *sequencial*, sendo *consumida pelos aparelhos que encontra*. Trata-se do terceiro modelo ilustrado na Figura 4 (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004).

Como consequência desse *modelo sequencial*, os alunos podem acreditar na noção já mencionada de que *a corrente pode fluir por um fio interrompido*, ou que ela sempre *se divide igualmente numa ramificação/nó*, uma vez que não consideram as associações de resistores adiante em cada ramo (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994).

Todas essas concepções alternativas e dificuldades citadas até aqui têm respaldo no foco excessivo que se dá à corrente elétrica na introdução de eletrodinâmica e na falta de assimilação do conceito diferença de potencial (também chamado de tensão ou voltagem, um conceito extremamente complexo de se compreender para alunos do ensino médio). Driver et al. (1994) chamam a atenção para a recomendação de se introduzir a voltagem como propriedade da bateria logo no início das aulas sobre circuitos, sendo a diferença de potencial uma pré-condição para que a corrente flua no circuito. Em geral introduz-se primeiro a noção de corrente elétrica e muito se foca nela, reforçando nos alunos as CA de que a *bateria é uma fonte de corrente* e, portanto, a *voltagem é uma consequência da corrente*, não o contrário, como deveria.

Note que as CACE comentadas não consideram a conservação de energia e de carga dentro de um circuito, princípios fundamentais da Física, mas que exigem uma abstração e reformulação conceitual profunda por parte do aluno. Isso porque a conservação se diferencia fundamentalmente de princípios em que se baseiam as concepções alternativas, mais focados no que é alterado e não no que permanece. Segundo a interpretação científica, para que uma corrente flua por um elemento (uma lâmpada, por exemplo) levando energia da bateria a ele, é necessário que uma diferença de potencial seja estabelecida num circuito fechado. Os elétrons livres do fio condutor só se movem porque existe uma diferença de potencial entre eles, criada e mantida pela bateria, e o *loop* fechado permite um movimento cíclico e contínuo desse elétrons. As cargas percorrem todo o trajeto sem que haja perda ou ganho de material (uma vez que há conservação de matéria), transferindo apenas energia da fonte para os aparelhos. Ou seja, a carga se conserva, o que implica que a corrente se conserva. Portanto, a mesma corrente que deixa a bateria retorna para ela após passar por todos os elementos do trajeto fechado. Ainda, ao se considerar o sistema bateria e aparelhos elétricos ligados a ela, a energia também se conserva. Esse é o último modelo ilustrado na Figura 4 (POZO; CRESPO, 2009; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Para além dos problemas com corrente e circuito, os alunos apresentam também

diversas concepções alternativas e dificuldades comuns no que diz respeito ao conceito de resistência e à associação de resistores. Assim como fazem com a voltagem, alguns compreendem a **resistência como uma consequência da corrente**, e não como uma propriedade do formato e material do resistor, como diz a ciência. Também, é comum que façam um raciocínio de **sobreposição de resistores** ao lidar com uma associação deles, de forma que a corrente diminui sempre proporcionalmente ao número de resistores, independente se estão dispostos em série ou em paralelo.

A interpretação sobre a associação de resistores encontra problemas também com as dificuldades dos alunos para interpretar os diagramas de circuitos elétricos. Muitos estudantes assumem se a associação é em série ou em paralelo com base na disposição dos elementos no diagrama (**topologia**), e não nas ligações elétricas, como deveria ser feito. As dificuldades com a leitura e interpretação dos elementos gráficos também levam os alunos a assumirem como **diferentes dois circuitos eletricamente equivalentes**, embora tenham diagramas distintos. Ainda, é de se considerar o **desconhecimento sobre os contatos de uma lâmpada** que alguns jovens apresentam, não sabendo como ligá-la de forma adequada num circuito para que se tenha um *loop* fechado. Acreditam, por exemplo, que a lâmpada possui apenas um contato na sua extremidade inferior (ENGELHARDT; BEICHNER, 2004).

Por fim, vamos falar brevemente das dificuldades com as questões quantitativas. Segundo Pozo e Crespo (2009), na leitura do aluno, tendo como base suas concepções alternativas, os conceitos científicos de corrente, resistência, diferença de potencial, etc. são extremamente difíceis de se compreender, muitos desses tratados quase como sinônimos do conceito intuitivo mais geral “eletricidade”. Essa dificuldade conceitual, somada ao fato que a maioria dos livros didáticos tradicionais fomentam um tratamento quase que puramente numérico, resulta num cenário no qual os alunos adquirem pouca compreensão do que verdadeiramente são circuitos elétricos. Então, ao serem confrontados com problemas sobre esse tema, os estudantes tendem a partir para uma tentativa de resolução algorítmica, fazendo muitos **cálculos puramente mecânicos**, sem de fato compreender os fenômenos que regem os circuitos e a relação entre as diferentes variáveis envolvidas. Ou seja, nas palavras dos autores, “o sucesso nos cálculos em exercícios numéricos não garante a compreensão das leis quantitativas dos circuitos elétricos” (p. 231).

Engelhardt e Beichner (2004) também identificaram uma preferência e maior confiança dos alunos na aplicação de fórmulas para resolução de problemas, mesmo que **apliquem equações incorretas** em alguns momentos. Já Gravina e Buchweitz (1994) relataram que a provável não assimilação correta dos conceitos levou os alunos de sua pesquisa a utilizarem apenas operacionalmente e de forma **inadequada a equação  $V = R/i$** , apresentada durante as aulas. McDermott e Shaffer (1992), que também sustentam a afirmação citada no parágrafo anterior, acrescentam ainda que, com base em suas

investigações com estudantes do ensino médio e superior, “[...] alunos que conseguem resolver problemas quantitativos padrões geralmente não conseguem responder a questões qualitativas simples baseadas nos mesmos conceitos físicos.”<sup>3</sup> (p. 995). Ou seja, as maiores dificuldades dos estudantes residem nos conceitos básicos e na relação entre eles, mesmo quando treinados para a resolução quantitativa. Sendo assim, questões aparentemente bastante simples, conceituais e qualitativas, são adequadas e suficientes para que os alunos mobilizem suas concepções alternativas e dificuldades gerais.

Enfim, ao longo das próximas páginas, o Quadro 2 traz as descrições e referências de todas as concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos citadas nesta seção, além de algumas mais que deixamos de detalhar no texto para focar nas principais. Incluímos todas as CACE e DCCE dos referenciais que adotamos como principais (Gravina e Buchweitz (1994) e Engelhardt e Beichner (2004)) e adicionamos mais algumas que consideramos pertinentes, discutidas pelos nossos referenciais de apoio (Pozo e Crespo (2009), Driver et al. (1994) e McDermott e Shaffer (1992)). Dentre essas últimas destacamos a dificuldade sobre **voltímetros e amperímetros**, necessária para a análise de alguns itens do ENEM, mas discutida apenas por McDermott e Shaffer (1992). Também por conta do ENEM, precisamos buscar uma referência que tratasse de **fusíveis** (encontrada em Bravin et al. (2013)), tema que aparece eventualmente no exame, mas não é contemplado por nenhum dos autores já citados.

Muitas dessas concepções e dificuldades estão relacionadas entre si, de forma que não conseguimos organizá-las de forma objetiva e categórica no Quadro 2. Mesmo que haja uma preferência por modelos mais simples, como o **unipolar**, por crianças mais jovens (DRIVER et al., 1994), ou por resoluções mais quantitativas para alunos que passaram por alguma instrução científica, também não encontramos uma “ordem específica” das concepções e dificuldades segundo o nível de aprendizagem do aluno que pudéssemos nos basear para a organização. 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 corrente e circuito aberto, no início do quadro, seguidas daquelas com foco no resistor, no diagrama e na resolução quantitativa, respectivamente. Em seguida citamos algumas CACE e DCCE sobre circuitos com múltiplos geradores, abordadas por Engelhardt e Beichner (2004), finalizando o quadro com as dificuldades em equipamentos específicos (os fusíveis, voltímetros e amperímetros).

---

<sup>3</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original “[...] students who can solve standard quantitative problems often cannot answer simple qualitative questions based on the same physical concepts.”

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

<b>CACE e DCCE</b>	<b>Autores</b>	<b>Descrição</b>
<b>Confusão de conceitos e termos</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“[...] os alunos usam intercambiavelmente termos associados a circuitos, geralmente atribuindo as propriedades de corrente à tensão, resistência, energia ou potência.” <sup>4</sup> (p. 98)
	Pozo e Crespo (2009)	“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. ” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“[...] os alunos pensam em corrente como sinônimo de eletricidade e energia elétrica.” <sup>5</sup> (p. 111)
	McDermott e Shaffer (1992)	“Os alunos [...] se referem] a corrente, voltagem, energia e potência de maneira inadequada e, às vezes, de forma intercambiável.” <sup>6</sup> (p. 104)
<b>Eletricidade (ou corrente) como um fluido</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“[...] os alunos veem esses diagramas [de circuito] como um sistema de tubos no qual flui um fluido que eles chamam de eletricidade.” <sup>7</sup> (p. 98)
	Pozo e Crespo (2009)	“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. (p. 227)
<b>Circuito aberto aceitável</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“Incapaz de identificar um circuito completo – circuito fechado.” <sup>8</sup> (p. 104)

*Continua na próxima página*

<sup>4</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] students interchangeably use terms associated with circuits, often assigning the properties of current either to voltage, resistance, energy, or power.”

<sup>5</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] pupils think of current as synonymous with electricity and electrical energy.”

<sup>6</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “the students [...] refer] to current, voltage, energy, and power inappropriately and sometimes interchangeably.”

<sup>7</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] students view these [circuit] diagrams as a system of pipes within which flows a fluid that they refer as electricity.”

<sup>8</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Unable to identify a complete circuit – closed loop.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
	McDermott e Shaffer (1992)	“Falha em entender e aplicar o conceito de circuito completo.” <sup>9</sup> (p. 996)
<b>Curto-circuito aceitável</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	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.
<b>Modelo unipolar</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“Basta ligar um elemento a um dos polos da bateria, que há de existir passagem de corrente elétrica.” (p. 115)
	Pozo e Crespo (2009)	“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 [...]” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“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.” <sup>10</sup> (p. 107)
<b>Modelo de correntes elétricas em choque</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“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.” (p. 115)
	Pozo e Crespo (2009)	“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.” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“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.” <sup>11</sup> (p. 109)

*Continua na próxima página*

<sup>9</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Failure to understand and apply the concept of a complete circuit.”

<sup>10</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Pupils regard only one wire as active and, whilst most come to recognise the practical requirement for a complete circuit, they nevertheless think that the second wire doesn’t play an active part. It is sometimes regarded as a safety wire.”

<sup>11</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Pupils think of current flowing from both terminals

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
<b>Modelo rota direta</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“A bateria é a única fonte de carga, portanto apenas os elementos em contato direto com a bateria acenderão.” <sup>12</sup> (p. 104)
<b>Bateria como fonte de corrente constante</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“A corrente elétrica sai do terminal da bateria (pólo positivo ou pólo negativo) com um valor contante, ou seja, a bateria é um reservatório de corrente elétrica.” (p. 115)
	Engelhardt e Beichner (2004)	“A bateria fornece a mesma quantidade de corrente para cada circuito, independentemente da disposição do circuito” <sup>13</sup> (p. 104)
	Pozo e Crespo (2009)	“As pilhas proporcionam uma corrente constante, independente do circuito a que estejam conectadas.” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“[...] 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.” <sup>14</sup> (p. 111)
	McDermott e Shaffer (1992)	“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 (ou seja, a corrente através de uma bateria sempre tem o mesmo valor). Eles frequentemente negligenciam o papel crítico desempenhado pela resistência na determinação da corrente.” <sup>15</sup> (p. 997)

*Continua na próxima página*

of the battery to the bulb. They sometimes explain the light in terms of the ‘clash’ of the two currents.”

<sup>12</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Battery is the only source of charge so only those elements with a direct contact to the battery will light.”

<sup>13</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Battery supplies same amount of current to each circuit regardless of the circuit arrangement”

<sup>14</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] pupils generally think of the battery as a store of electricity or energy. They see it as delivering a constant current in a closed circuit, rather than maintaining a constant voltage or potential difference.”

<sup>15</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Perhaps the most pervasive and persistent difficulty that students have with dc circuits is the belief that the battery is a constant current source (i.e., the current through a battery always has the same value). They often overlook the critical role played by the resistance in determining the current.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
<b>Modelo sequencial</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“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.” (p. 114)
	Engelhardt e Beichner (2004)	“Somente alterações antes de um elemento afetarão esse elemento.” <sup>16</sup> (p. 104)
	Pozo e Crespo (2009)	“[...] 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 [...]” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“[...] algo armazenado na bateria viaja pelo circuito, encontrando fios e componentes em sequência.” <sup>17</sup> (p. 109)
	McDermott e Shaffer (1992)	“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.” <sup>18</sup> (p. 1001)
<b>Corrente consumida</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“A corrente elétrica não é conservada, parte dela é consumida ou transformada em energia quando atravessa um resistor (ou lâmpada).” (p. 115)
	Engelhardt e Beichner (2004)	“O valor da corrente diminui à medida que ela atravessa os elementos do circuito até retornar à bateria, onde não há mais corrente restante.” <sup>19</sup> (p. 104)

*Continua na próxima página*

<sup>16</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Only changes before an element will affect that element.”

<sup>17</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] something from the battery travels around the circuit, meeting wires and components in sequence.”

<sup>18</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “When a change is made in a circuit, students often focus attention only at the point where the change occurs, not recognizing that [...] it] may result in changes at other points. There is a tendency to think locally or sequentially, rather than to reason holistically. ”

<sup>19</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Current value decreases as you move through circuit elements until you return to the battery where there is no more current left.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
	Pozo e Crespo (2009)	“[...] 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.” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“[...] 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 [...]” <sup>20</sup> (p. 109)
	McDermott e Shaffer (1992)	“[...] 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.” <sup>21</sup> (p. 997)
<b>Corrente num fio interrompido</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	Como consequência direta do <b>modelo sequencial</b> , “em um fio interrompido há passagem de corrente elétrica” (p. 115).
<b>Corrente divide-se igualmente num nó</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	Como consequência direta do <b>modelo sequencial</b> , “em um nó a corrente elétrica divide-se igualmente, independente dos elementos que estejam ligados em paralelo” (p. 115).
	Engelhardt e Beichner (2004)	“A corrente divide-se igualmente em todas as junções, independentemente dos resistores em cada ramificação.” <sup>22</sup> (p. 104)

*Continua na próxima página*

<sup>20</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] current is seen as “used up” by the bulb and so there is less in the wire “going back” to the battery. Some pupils expect a second bulb to be less bright than the first when two bulbs are in the circuit [...].”

<sup>21</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[... os alunos] think of current as constantly being produced by the battery and “used up” by the elements in a circuit. [...] To solve quantitative problems, these students may assume that the current is the same at all points in a circuit or branch when elements are connected in series. However, we have found that for many students the statement that current is conserved remains an abstraction that they cannot apply to qualitative questions.”

<sup>22</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Current splits evenly at every junction regardless of the resistance of each branch.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
<b>Corrente elétrica muito veloz</b>	Halliday, Resnick e Walker (2009)	Os elétrons de condução que compõem a corrente elétrica movem-se muito depressa no interior dos fios, por isso a lâmpada acende no momento em que se liga o interruptor. Na realidade essa velocidade é muito baixa, na ordem de milímetros por hora.
<b>Voltagem como consequência da corrente</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“A diferença de potencial é considerada uma consequência da corrente elétrica e não sua causa, de forma que, se $i = 0$ , então $V = 0$ .” (p. 115)
	Engelhardt e Beichner (2004)	“Voltagem vista como uma propriedade da corrente. A corrente é a causa da voltagem. A voltagem e a corrente sempre ocorrem juntas.” <sup>23</sup> (p. 104)
	Pozo e Crespo (2009)	“[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.” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“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.” <sup>24</sup> (p. 111)
<b>Resistência como consequência da corrente</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“Resistência vista como sendo causada pela corrente. Um resistor resiste à corrente, de modo que a corrente deve fluir por ele para que haja alguma resistência.” <sup>25</sup> (p. 104). Por consequência, a <b>resistência não é inerente à forma e ao material do resistor</b> .

*Continua na próxima página*

<sup>23</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Voltage viewed as a property of current. Current is the cause of the voltage. Voltage and current always occur together.”

<sup>24</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Current is usually introduced to pupils as the primary concept and they tend to think of voltage as a property of the current rather than as a precondition for a current to flow.”

<sup>25</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Resistance viewed as being caused by the current. A resistor resists the current so a current must flow for there to be any resistance.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

<b>CACE e DCCE</b>	<b>Autores</b>	<b>Descrição</b>
<b>Campo elétrico como consequência da corrente</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“A corrente é a causa do campo elétrico no interior dos fios do circuito.” <sup>26</sup> (p. 104)
<b>Campo elétrico nulo no condutor</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“O campo elétrico dentro de um condutor é sempre zero.” <sup>27</sup> (p. 104)
<b>Resistência não inerente ao resistor</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	“[...] os alunos não entenderam que um resistor (incluindo lâmpadas) tem uma resistência inerente com base em sua forma e no material do qual é feito.” <sup>28</sup> (p. 105)
<b>Lâmpadas idênticas sempre brilham iguais</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“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.” (p. 115) O brilho dependeria exclusivamente da potência nominal da lâmpada.
<b>Sobreposição de resistores</b>	Gravina e Buchweitz (1994)	“A resistência equivalente não depende do tipo de ligação, ela é sempre diretamente proporcional ao número de resistores.” (p. 115)
	Engelhardt e Beichner (2004)	“Se um resistor reduz a corrente em certa magnitude, então dois resistores reduzem a corrente pelo dobro, independentemente da disposição do resistor.” <sup>29</sup> (p. 104)
	McDermott e Shaffer (1992)	“[...] tendência em focar no número de elementos do circuito e não na sua configuração.” <sup>30</sup> (p. 998)

*Continua na próxima página*

<sup>26</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Current is the cause for the electric field inside the wires of the circuit.”

<sup>27</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Electric field inside a conductor is always zero.”

<sup>28</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] students did not understand that a resistor (including light bulbs) has an inherent resistance based on its shape and the material from which it is made.”

<sup>29</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “1 resistor reduces the current by x2 resistors reduce the current by 2x regardless of the resistor’s arrangement.”

<sup>30</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] tendency to focus on the number of circuit elements rather than on the configuration.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
Resistência equivalente = resistência de um resistor individual	Engelhardt e Beichner (2004)	“ O aluno igualou a resistência equivalente de um circuito a um resistor individual.” <sup>31</sup> (p. 104)
	McDermott e Shaffer (1992)	“[...] os alunos frequentemente parecem não distinguir entre a resistência de um único elemento e a resistência equivalente de uma associação que contém esse elemento” <sup>32</sup> (p. 999). Não consideram a resistência equivalente apenas como uma abstração útil para encontrar a corrente total, ou a diferença de potencial em uma ramificação, mas acabam utilizando-a para calcular a potência dissipada em um único resistor, por exemplo.
Resistor fornece “corrente-energia”	Gravina e Buchweitz (1994)	“ Um resistor é um dispositivo capaz de fornecer “corrente-energia”, assim, quando a corrente elétrica atravessa um resistor, aumenta de valor. O aluno que tem esta concepção também considera que uma lâmpada não tem resistência. ” (p. 115)
Diagramas diferentes implicam em conexões elétricas diferentes	Pozo e Crespo (2009)	“Os alunos enfrentam dificuldades para interpretar as representações gráficas dos circuitos. Não são capazes de associar os circuitos reais com suas representações gráficas [...]. Se no diagrama for mudada a posição de algum dos elementos auxiliares, ainda que representem situações fisicamente idênticas, interpretam que se obtêm circuitos diferentes.” (p. 223)
	Driver et al. (1994)	“[...] 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.” <sup>33</sup> (p. 113)

*Continua na próxima página*

<sup>31</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Student equated the equivalent resistance of a circuit with an individual resistor.”

<sup>32</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] students often do not seem to distinguish between the resistance of a single element and the equivalent resistance of a network containing this element.”

<sup>33</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] pupils often find it hard to recognise the circuits in the practical situation of real equipment. [...] they sometimes do not regard as identical several circuits, which, though identical, have been rotated so as to have a different spatial arrangement.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
	McDermott e Shaffer (1992)	“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.” <sup>34</sup> (p. 999)
Associação de resistores baseada na topologia	Engelhardt e Beichner (2004)	“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.” <sup>35</sup> (p. 104)
	McDermott e Shaffer (1992)	“O termo <i>série</i> frequentemente evoca a ideia de sequencialmente, em vez de um tipo específico de conexão. O termo <i>paralelo</i> geralmente mantém uma interpretação geométrica em vez de elétrica.” <sup>36</sup> (p. 999)
Contatos da lâmpada incorretos	Engelhardt e Beichner (2004)	“Incapaz de identificar os dois contatos em uma lâmpada.” <sup>37</sup> (p. 104)
	McDermott e Shaffer (1992)	“[...] 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.” <sup>38</sup> (p. 996)
Aplicação incorreta de equações	Engelhardt e Beichner (2004)	“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.” <sup>39</sup> (p. 104)

*Continua na próxima página*

<sup>34</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Students often fail to recognize that all diagrams that indicate the same electrical connections represent equivalent real circuits that are electrically identical to one another.”

<sup>35</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “All resistors lined up in series are in series whether there is a junction or not. All resistors lined up geometrically in parallel are in parallel even if a battery is contained within a branch.”

<sup>36</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “The term *series* often evokes the idea of sequentially, rather than a specific type of connection. The term *parallel* often retains a geometrical rather than electrical interpretation.”

<sup>37</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Original: “Unable to identify the two contacts on the light bulb.”

<sup>38</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “[...] failure to recognize the for a bulb to be part of a complete circuit, its two terminals must be connected externally to different terminals of the battery and internally to each other through the filament.”

<sup>39</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Misapplied a rule governing circuits. For example, used the equation for resistor in series when the circuit showed resistors in parallel.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
Uso inadequado de $U = R/i$	Gravina e Buchweitz (1994)	“A corrente elétrica ( $i$ ) é inversamente proporcional à resistência elétrica ( $R$ ) independente da diferença de potencial ( $V$ ) aplicada. O aluno memoriza a equação $V = Ri$ , e como o conceito de diferença de potencial não foi sequer assimilado, raciocina em termos de $R$ e $i$ apenas.” (p. 114)
Resolução algorítmica sem respaldo conceitual	Pozo e Crespo (2009)	“[...] 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.” (p. 231)
	McDermott e Shaffer (1992)	“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.” <sup>40</sup> (p. 1001)
Sobreposição de baterias	Engelhardt e Beichner (2004)	“Se com uma bateria a lâmpada possui certo brilho, com duas baterias, independentemente do arranjo, a lâmpada brilhará duas vezes mais.” <sup>41</sup> (p. 104)
Voltagem = resistência equivalente	Engelhardt e Beichner (2004)	“Numa associação de baterias tem-se a “voltagem calculada utilizando equações para resistência equivalente.” <sup>42</sup> (p. 104)

*Continua na próxima página*

<sup>40</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Lacking a conceptual model [...], the students resorted to formulas, relied on intuition, or attempted to do both. Many students immediately tried to use Ohm’s law but could not apply it properly. Some, who may have had difficulty with the algebra, tried to solve the problem by arbitrarily assigning numerical values to the variables, often choosing inconsistent values for the current, potential difference and resistance.”

<sup>41</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “1 battery – bulb shines x bright 2 batteries, regardless of arrangement – bulb shines 2x bright.”

<sup>42</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Voltage calculated using equations for equivalent resistance.”

Quadro 2 – Continuação da página anterior

CACE e DCCE	Autores	Descrição
<b>Voltagem = capacitância equivalente</b>	Engelhardt e Beichner (2004)	Numa associação de baterias tem-se a “voltagem calculada utilizando equações para capacitância equivalente.” <sup>43</sup> (p. 104)
<b>Fusível com sobrecarga não rompe o circuito</b>	Bravin et al. (2013)	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.
<b>Voltímetro e amperímetro não afetam o circuito</b>	McDermott e Shaffer (1992)	“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.” <sup>44</sup> (p. 1001)

Fontes: elaborado pela autora com base nas obras referenciadas no quadro.

Algumas ideias dos alunos abordadas nesse quadro são conhecidas concepções alternativas, como é o caso, por exemplo, do “[modelo unipolar](#)”, o “[modelo de correntes elétricas em choque](#)”, a ideia de que a “[bateria é uma fonte de corrente constante](#)”, ou o “[modelo sequencial](#)”. Já outras, diferentemente das concepções, não se referem diretamente a um modelo alternativo ao científico que o aluno adota para interpretar os fenômenos de circuitos, as quais estamos nos referindo pelo termo mais geral “dificuldades”. É o caso, por exemplo, das DCCE “[confusão de conceitos e termos](#)”, “[contatos da lâmpada incorretos](#)” e “[aplicação incorreta de equações](#)”. Tratam-se de dificuldades derivadas de outras circunstâncias que não a existência de uma concepção alternativa. Entretanto, há ainda algumas ideias dos alunos citadas no quadro difíceis de rotular entre CACE e DCCE, conforme nossa definição. “[Circuito aberto aceitável](#)” e “[curto-circuito aceitável](#)”, por exemplo, devem-se a uma lacuna do aluno, sendo esse incapaz de reconhecer um circuito aberto ou um curto, ou são motivados por alguma concepção alternativa mais fundamental não explícita em nossos referenciais? Já “[resistência equivalente = resistência de um resistor individual](#)”, por exemplo, seria fruto de um erro derivado da aplicação equivocada de uma técnica de resolução de exercícios sobre circuitos, ou haveria uma concepção alternativa mais profunda e não explícita motivando esse erro? Como nossos

<sup>43</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Voltage calculated using equations for equivalent capacitance.”

<sup>44</sup> Traduzido e adaptado pela autora. Texto original: “Many students did not seem to regard the ammeter and voltmeter as instruments that should be connected so that they do not affect the current or potential difference to be measured.”

referenciais não abordam essas questões, às vezes considerando todas as ideias expressas como concepções alternativas de forma indiscriminada, é difícil para nós julgarmos se algumas delas são CACE ou se são DCCE. Para isso necessitaríamos de uma investigação específica para este aspecto, fora do escopo deste trabalho, envolvendo entrevistas de alunos que apresentam essas ideias para investigar qual o cerne por trás delas. Sendo assim, optamos por não rotular todas as CACE e DCCE segundo uma ou outra nomenclatura, mas assim nomeá-las apenas quando comentarmos sobre concepções ou dificuldades específicas ao longo do texto nos casos em que temos conhecimento dessa classificação. Em caso de dúvida, optaremos por utilizar o termo DCCE, isso é, dificuldades comuns, mais geral e que não deixam de abranger as concepções alternativas.

Essas concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos identificadas no quadro 2 serão o nosso aporte teórico para análise dos itens do ENEM, a ser descrita no capítulo 4. Até o momento, reunimos nossos referenciais e discussões a respeito das CA e CACE. Entretanto, falta-nos ainda abordar a outra dimensão do nosso trabalho, a qual apresenta sua própria especificidade e vasta bibliografia a respeito: o Exame Nacional do Ensino Médio.

## 3 O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM)

### 3.1 Breve apresentação ao ENEM

O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) foi criado na década de 90, sob responsabilidade do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Educação (MEC). Sua implementação tornou-se viável a partir das mudanças introduzidas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de 1996. Em 1998 ocorreu a primeira aplicação do exame. Nesse contexto, a avaliação vinha como uma ferramenta estratégica para orientar as políticas públicas de educação. Por meio dos resultados de sua aplicação, pretendia-se consolidar uma importante referência para a discussão sobre as deficiências apresentadas pelo ensino médio, bem como sobre as mudanças que se faziam necessárias para que os objetivos da LDB fossem alcançados (BRASIL, 1998; BRASIL, 2000).

Com participação voluntária e sem grandes recompensas aos alunos, o ENEM visava avaliar as competências e habilidades fundamentais ao exercício pleno da cidadania dos estudantes ao término da educação básica. Entretanto, desde sua criação, já se almejava tornar o exame uma alternativa ao vestibular tradicional para ingresso no ensino superior. Nas palavras de Paulo Renato Souza, ministro da Educação na época, em entrevista dada em fevereiro de 1997,

[...] nós vamos ter uma paulatina substituição do vestibular por outras formas de ingresso, e nós queremos fazer o exame de segundo grau como um possível critério de ingresso na universidade dependendo da vontade da universidade e dependendo da vontade do aluno de se submeter a esse exame. (ENEM..., 2018, min 8:10)

Assim, desde o início, entendemos que dois grandes objetivos sempre estiveram presentes no ENEM. O primeiro diz respeito à **avaliação** do desempenho escolar dos estudantes ao final da educação básica, seja para que o aluno tenha uma autoavaliação individual, ou para direcionar políticas públicas e aperfeiçoar os currículos do ensino médio. O segundo diz respeito à **seleção**. Desde a primeira edição, a nota do exame sempre foi utilizada na seleção de indivíduos para acesso a algumas instituições de ensino superior, e com o passar dos anos essa característica ganhou cada vez mais notoriedade. É nesse cenário que, ainda em 1998, o INEP atribuía como objetivo principal do ENEM “avaliar o desempenho global de cada um dos participantes, oferecendo parâmetros para o prosseguimento dos estudos ou para o ingresso no mercado de trabalho” (BRASIL, 1998, p. 5).

Em 2009, com a criação do Sistema de Seleção Unificada (Sisu)<sup>1</sup>, o ENEM mudou seu formato para “se transformar no grande vestibular nacional” (ENEM... , 2018, min 13:33), nas palavras de Maria Inês Fini, idealizadora do ENEM e ex-presidente do INEP. De fato, de lá para cá o exame se consolidou como a segunda maior prova de acesso ao ensino superior do mundo, com milhões de participantes anualmente, atrás apenas do Gaokao, o vestibular chinês (PALHARES, 2018). Hoje, os resultados do ENEM são utilizados como mecanismo único, alternativo ou complementar para o acesso à educação superior em diversas universidades públicas, especialmente a ofertada pelas instituições federais. Eles também são utilizados para selecionar pessoas para programas governamentais de financiamento ou apoio ao estudante do ensino superior privado<sup>2</sup>, além de servir como instrumento de seleção para ingresso em diferentes setores do mundo do trabalho (ENEM... , 2018; BRASIL, 2019; BRASIL, 2009).

Com as mudanças de 2009 o ENEM passou a ser aplicado em dois dias, dispondo de uma redação e 180 questões objetivas de múltipla escolha, 45 para cada área do conhecimento<sup>3</sup>. Também, começou a utilizar a Teoria de Resposta ao Item (TRI) para o cálculo da nota dos participantes e ganhou uma nova Matriz de Referência, que dispõe as competências e habilidades que orientam a construção do exame, um recorte curricular que se pressupõe comum a todos os candidatos (BRASIL, 2019a; BRASIL, 2015; BRASIL, 2009).

Os objetivos do ENEM não mudaram muito entre os que foram anunciados em 1998 e 2009, mas distinguem-se consideravelmente dos anunciados atualmente (BRASIL, 2019). É notável que, desde as mudanças de 2009, o exame apresentou provas mais conteudistas, com um formato mais preocupado em selecionar alunos para o ensino superior e com menor enfoque na avaliação do ensino médio para exercício da cidadania (MARCOS, 2019). Um indicativo disso, externo à prova, é o interrompimento das publicações dos Relatórios Pedagógicos do ENEM, que traziam dados sobre os participantes do exame, o desempenho médio dos candidatos segundo alguns recortes, exemplos de itens comentados, entre outros dados. As publicações ocorriam anualmente desde a criação do exame, mas teve sua última edição referente às provas de 2011 e 2012.

Nesta dissertação buscamos fazer uma leitura do ENEM no sentido de reaproximá-lo de seu papel avaliador do ensino médio nacional, investigando os erros dos alunos ao responder os itens sobre circuitos elétricos das Provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias aplicadas entre os anos de 2009 a 2018. Para esse fim, ironicamente, nos é vantajoso que o exame tenha atuado como uma importante porta de acesso à universi-

<sup>1</sup> O Sisu é o sistema informatizado do Ministério da Educação por meio do qual instituições públicas de ensino superior oferecem vagas a candidatos participantes do ENEM.

<sup>2</sup> Tal como o Programa Universidade para Todos (Prouni) e o Fundo de Financiamento Estudantil (Fies).

<sup>3</sup> Linguagens, Códigos e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Ciências Humanas e suas Tecnologias.

dade nesse período, uma vez que esse motivo leva os alunos a se dedicarem às provas, empreendendo esforços para resolução dos itens. Isso nos permite uma melhor avaliação da situação educacional, visto que se não houvesse um sistema de recompensas dificilmente os alunos desprenderiam todo cuidado que lhes é possível com o exame. O mesmo motivo que levou a um menor enfoque na avaliação do ensino médio é o que nos permite realizar um estudo mais representativo do cenário nacional.

Sendo assim, não vemos de forma pejorativa o ENEM ter se tornado o grande vestibular nacional. Mesmo porque reconhecemos que o exame, junto às políticas de ações afirmativas que o acompanham, seja muito importante no movimento de “democratização”<sup>4</sup> do acesso ao ensino superior. Ele permite que alunos do Brasil inteiro realizem as provas em locais o mais próximo possível de suas casas, com condições de aplicação semelhantes nos diferentes lugares, mas garantindo atendimento específico e especializado a diversas populações necessitadas, isenção da taxa de inscrição para alunos de baixa renda, com possibilidade de concorrer a vagas em diversas instituições de ensino superior por todo o território nacional. Entretanto, enxergamos a necessidade de recuperar a dimensão avaliativa do ensino médio que o exame possuía com maior avidez na sua primeira década de existência. Discorreremos um pouco melhor sobre essa possibilidade na seção 3.3.

Por último, gostaríamos apenas de pontuar que, atualmente, o ENEM se prepara para passar por uma nova reformulação, a “terceira onda” do ENEM. Uma nova matriz curricular está sendo desenhada para o exame a fim de seguir as orientações da Reforma Nacional do Ensino Médio e da Base Nacional Comum Curricular (PALHARES, 2018).

## 3.2 Construção dos itens do ENEM e nosso interesse no erro dos alunos

Os itens (termo técnico para se referir às questões das provas) que compõem o exame são construídos com base na Matriz de Referência do ENEM (BRASIL, 2009). Idealmente, cada um deles

[...] expõe o participante a um contexto reflexivo, centrado em uma situação-problema, e instiga-o a tomar decisões, o que requer um trabalho intelectual capaz de mobilizar seus recursos cognitivos e operações mentais, incorporando situações vivenciadas e valorizadas no contexto em que se originam para aproximar os temas escolares da realidade extraescolar. (BRASIL, 2015, p. 79)

Essa citação põe em destaque uma característica muito presente nos itens do ENEM: a contextualização. De forma geral, o ENEM evita perguntar diretamente um conteúdo

<sup>4</sup> usamos o termo “democratização” com ressalvas, em função de aspectos que discutiremos na seção 3.5.

escolar ao participante, preferindo inseri-lo num contexto extraescolar e apresentá-lo na forma de uma situação-problema. As questões, objetivas e de múltipla escolha, devem seguir como padrão a seguinte estrutura: inicia-se com o texto-base, que motiva ou compõe a situação-problema; em seguida vem o enunciado, que apresenta uma instrução clara e objetiva sobre a tarefa cognitiva a ser realizada pelo participante; e por último as alternativas, que são possibilidades de respostas, havendo uma alternativa correta e quatro distratores (termo técnico para as alternativas incorretas) (BRASIL, 2015). Entre 2009 e 2017 era calculado que o candidato tivesse, em média, três minutos para resolução de cada item. Desde 2018, este tempo aumentou para três minutos e vinte segundos.

Os distratores devem ser plausíveis, isto é, devem parecer corretos para aqueles participantes do teste que não desenvolveram a habilidade em questão, retratando hipóteses de raciocínio utilizadas na busca da solução da situação-problema apresentada. Assim, recomenda-se a inclusão de erros comuns observados em situação de ensino e aprendizagem escolares (BRASIL, 2010), de forma que as alternativas de respostas tendem a ser elaboradas com base em cálculos incorretos, em concepções alternativas, na resolução parcial do problema, ou mesmo atraindo os alunos que respondem ao acaso por padrões entre os distratores, por exemplo.

Há na literatura diversos trabalhos que se dedicam a analisar os itens de física do ENEM. Alguns criticam erros conceituais e de má construção, como Silveira, Barbosa e Silva (2015), que atribuem muitos desses problemas à “necessidade exacerbada de contextualização das questões” (p. 1101-5). Outros procuram categorizar os itens do ENEM para uma melhor visão das provas quanto às habilidades e aos conteúdos abordados, ao formato das questões, às dimensões do conhecimento e aos processos cognitivos abordados, etc. (GONÇALVES JR; BARROSO, 2014; HERNANDES; MARTINS, 2013; SILVA; MARTINS, 2014).

A nós interessam principalmente aqueles trabalhos que buscam compreender os erros dos alunos ao resolverem os itens de física das provas do ENEM. Ou seja, que se debruçam sobre os distratores dos itens. Dentre eles podemos citar Marcom (2015), Marcom e Kleinke (2016), Marcom (2019) e Spazziani (2019). Ao olhar para os erros dos candidatos, esses autores defendem que é possível reconhecer ali algumas linhas de raciocínio alternativas dos alunos e alguns problemas profundos de aprendizagem. Ainda, a exposição desses problemas poderia auxiliar os professores a direcionar suas atividades em sala de aula, possibilitando uma melhoria no ensino de física. Nas palavras de Marcom e Kleinke (2016),

[...] considerando que os distratores nas questões do Enem representam possíveis raciocínios errôneos em sua resolução; logo a escolha dessas alternativas erradas pelos alunos sugere que esses mesmos raciocínios errôneos também possam ser perceptíveis nas salas de aula do Ensino Médio. A análise das questões nos permite obter informação sobre as

dificuldades dos alunos, e mais do que isso, alguns indícios sobre a forma como os alunos aplicam seu ferramental de conhecimentos sobre Física nas questões do Enem. (p. 77)

Nesta dissertação, ao investigamos as concepções alternativas e dificuldades comuns dos alunos nos itens de circuitos elétricos do ENEM, adotaremos essa mesma visão, buscando inferir o raciocínio utilizado pelos candidatos ao assinalar os principais distratores de cada item. O uso de concepções alternativas na resolução dos itens de física foi uma dificuldade dos alunos significativa encontrada pela análise de [Marcom e Kleinke \(2016\)](#). Outras dificuldades encontradas foram: a não utilização correta das unidades de medidas, a presença de formas simbólicas, raciocínios intuitivos na resolução dos problemas e a análise incorreta de imagens presentes na situação proposta.

### 3.2.1 Paralelo entre itens do ENEM e itens dos inventários de concepções alternativas

Neste trabalho supomos um paralelo entre os modelos de itens propostos nos inventários de [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#) e [Engelhardt e Beichner \(2004\)](#) – nossos principais referenciais sobre concepções alternativas em circuitos elétricos – com os modelos de itens do ENEM, de forma que esses últimos também possibilitem a detecção de algumas concepções alternativas e dificuldades dos alunos, tal como ocorre nos dois primeiros. Para fundamentar essa suposição, vamos discorrer brevemente sobre as semelhanças entre os itens encontrados nessas três fontes.

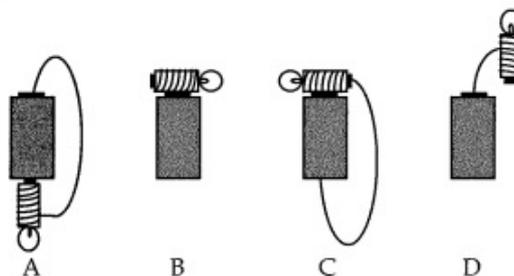
A pesquisa apresentada por [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#) trouxe em uma de suas etapas a criação de um inventário sobre eletricidade para identificação das concepções alternativas dos estudantes. Era formado por 24 itens de múltipla escolha, construídos de forma que as alternativas de resposta de cada um devessem conter a concepção científica (opção correta) e alguma concepção alternativa conhecida ou que se suspeitava existir. Já [Engelhardt e Beichner \(2004\)](#) buscaram elaborar um inventário que pudesse ser aplicado em diversas situações para avaliar CACE e DCCE. Há duas versões, ambas contendo 29 itens de múltipla escolha envolvendo circuitos elétricos, baterias, lâmpadas, resistores e chaves. As perguntas formuladas são objetivas e diretas, envolvendo distratores associados a concepções alternativas ou dificuldades comuns que os alunos apresentam, de forma semelhante ao inventário proposto por [Gravina e Buchweitz \(1994\)](#). A título de exemplo, trazemos na figura 5 três itens que integram o inventário de [Engelhardt e Beichner \(2004\)](#).

Trata-se de uma formulação de itens que segue lógica semelhante à utilizada pelo ENEM no que diz respeito aos distratores. As três fontes preveem concepções alternativas ou dificuldades comuns entre as possibilidades de respostas de algumas questões. Se compararmos os itens da figura com as questões 70 da prova azul de 2011 e 74 da prova

Figura 5 – Exemplos de itens presentes em inventários sobre circuitos elétricos.

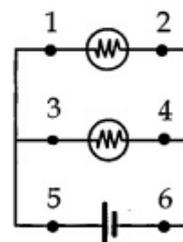
9) Which circuit(s) will light the bulb?

- (A) A
- (B) C
- (C) D
- (D) A and C
- (E) B and D

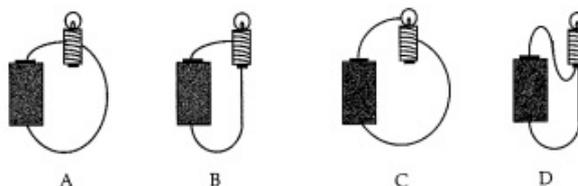


17) Rank the currents at points 1, 2, 3, 4, 5, and 6 from highest to lowest.

- (A) 5, 1, 3, 2, 4, 6
- (B) 5, 3, 1, 4, 2, 6
- (C) 5 = 6, 3 = 4, 1 = 2
- (D) 5 = 6, 1 = 2 = 3 = 4
- (E) 1 = 2 = 3 = 4 = 5 = 6



27) Will all the bulbs be the same brightness?



- (A) Yes, because they all have the same type of circuit wiring.
- (B) No, because only B will light. The connections to A, C, and D are not correct.
- (C) No, because only D will light. D is the only complete circuit.
- (D) No, C will not light but A, B, and D will.

Fonte: Engelhardt e Beichner (2004)

azul de 2016 do ENEM (as quais podem ser conferidas nos apêndices desta dissertação), tais semelhanças podem ser facilmente identificadas.

Assim, tomando por base as CACE e DCCE já identificadas na literatura (quadro 2), partimos do princípio de que é possível inferir algumas concepções alternativas utilizadas e dificuldades comuns enfrentadas pelos alunos na resolução dos itens sobre circuitos do ENEM, assim como faz-se nos inventários; mesmo que os itens do exame apresentem um formato que visa a contextualização, diferentemente dos inventários, que focam no conteúdo disciplinar.

### 3.3 Avaliação e ensino

Inicialmente, não era nossa intenção trabalhar os conceitos de avaliação somativa e formativa aplicados ao ENEM. Entretanto, por conta do contato com os trabalhos dos colegas de grupo [Marcom \(2019\)](#) e [Spazziani \(2019\)](#), não pudemos evitar de nos deixar envolver e dialogar com eles nesta dissertação. Para ambos, apesar do ENEM ser uma avaliação somativa, é possível aproximá-lo de uma avaliação formativa quando retorna-se para a escola uma análise dos erros e dificuldades apresentados pelos alunos no exame. Por conta disso, discorreremos brevemente sobre o tema avaliação e ensino nesta seção.

Segundo [Perrenoud \(1999\)](#), há duas lógicas principais que orientam a avaliação. A primeira coloca-se a serviço da **seleção**. Criam-se hierarquias de excelência, comparando os alunos e depois classificados-os em virtude de um ideal a ser alcançado. Tem-se por objetivo mais informar sobre a posição de um aluno em um grupo ou sobre sua distância relativa à norma ideal do que sobre o conteúdo de seus conhecimentos e competências. Ao longo da vida escolar, esse tipo de avaliação acaba por definir o êxito ou fracasso do estudante, ditando seu futuro. Além de classificar, outra função da avaliação segundo essa lógica é certificar o sujeito para terceiros, garantindo para a sociedade que aquele indivíduo sabe o que é necessário saber para determinado fim. A essa lógica associa-se a avaliação somativa, geralmente igualada às provas ou testes finais, com o objetivo de dimensionar o que foi aprendido pelos alunos e atribuir uma nota ([TARAS, 2010](#); [BLACK, 2009](#)).

A outra lógica citada por [Perrenoud \(1999\)](#) entende a avaliação a serviço da **aprendizagem**. Considera-se que ela é um instrumento privilegiado de regulação contínua das intervenções e das situações didáticas. Aqui, não se objetiva criar hierarquias, mas delimitar as aquisições e os modos de raciocínio de cada aluno o suficiente para auxiliá-lo a progredir no sentido dos objetivos. A essa lógica associa-se a avaliação formativa, preocupada com a aprendizagem, que objetiva ser utilizada, tanto pelos professores quanto pelos alunos, para modificar o seu trabalho e torná-lo mais eficaz ([BLACK, 2009](#)). Aqui, os erros do aluno interessam, deseja-se identificá-los, compreendê-los e trabalhá-los. Ou seja, trata-se de uma avaliação que retroalimenta os processos de ensino e aprendizagem, sendo o feedback um componente indispensável ([TARAS, 2010](#)).

Atualmente, sob essas lógicas, o ENEM é, sem dúvidas, uma avaliação somativa. Ao final do processo escolar, sua principal função tem sido classificar os estudantes e **selecionar** aqueles com melhor desempenho para acessarem o ensino superior. Ao selecionar uma parte dos indivíduos, está subentendido que deseja excluir a outra parte, discriminar os sujeitos. Sendo assim, cabe ao ENEM muitas das críticas feitas às avaliações somativas, as quais, no discurso da avaliação para a aprendizagem, são geralmente depreciadas e tomadas como propulsoras dos aspectos negativos e destrutivos da educação não comprometida com a aprendizagem ([TARAS, 2010](#)). Segundo [Black \(2009\)](#),

[...] os efeitos negativos dos testes externos sobre o ensino são bem conhecidos: a aprendizagem é distorcida, pois os professores concentram a atenção sobre aqueles tópicos do conteúdo fáceis de serem testados; portanto, o nível cognitivo da sala de aula é rebaixado; os alunos têm de trabalhar muito rapidamente e superficialmente para uma aprendizagem efetiva; os métodos criativos e inovadores, bem como os conteúdos, são reduzidos. Este ensino mais superficial e limitado desmotiva muitos alunos e, por outro lado, recompensa os que trabalham mais focalizados naquilo que o sucesso dos testes exige. (p. 196)

Ou seja, exames como o ENEM podem levar a uma distorção do trabalho em sala de aula, que passa a focar suas atividades em obter sucesso na seleção, comprometendo a aprendizagem. Nesse cenário, avaliações formativas tendem a se tornar inviáveis no cotidiano escolar. Ao menos, não cabe ao ENEM oferecer recompensas diretas às escolas com melhor desempenho, como ocorre com outras avaliações externas de larga escala aplicadas sobre o ensino básico. Assim, essas críticas se concentram mais àquelas unidades escolares que focam preparar seus alunos para ingresso no ensino superior.

Entretanto, [Marcom \(2019\)](#) e [Spazziani \(2019\)](#), tomando por referência [Taras \(2010\)](#) e [Black \(2009\)](#), argumentam que, apesar do ENEM ser uma avaliação somativa, é possível aproximá-lo de uma avaliação formativa se houver a prática de feedback. Isso é, se as informações obtidas através na análise dos erros cometidos pelos alunos ao resolver os itens do ENEM retornem para a escola. Embora esse retorno não sirva para orientar o processo de ensino e aprendizagem dos alunos que realizaram o exame (uma vez que são concluintes do Ensino Médio), elas podem auxiliar as escolas, os professores e os cursos de formação de professores a orientarem seu ensino para os alunos mais jovens. Essa prática reaproximaria o ENEM de seu principal objetivo inicialmente, o de **avaliar a aprendizagem** dos alunos ao final do ensino básico.

Nesta dissertação seguimos a argumentação desses autores <sup>5</sup>. Apesar de reconhecermos e concordarmos que exames como o ENEM moldam e distorcem a atividade em sala de aula, podendo trazer um vasto conjunto de aspectos negativos e destrutivos às formas inovadoras de ensino, reconhecemos também que é preciso lidar com a realidade disponível. Há a demanda de um mecanismo de seleção para o ensino superior, e o ENEM vem para suprir essa necessidade<sup>6</sup>. Uma vez que está instaurado, possui um enorme alcance em território nacional e gasta-se muito dinheiro e esforço público na sua realização, seria um desperdício continuar a usar o ENEM somente com foco na seleção dos candidatos.

<sup>5</sup> Segundo [Perrenoud \(1999\)](#), uma avaliação formativa, no sentido mais amplo do termo, não funciona sem regulação individualizada das aprendizagens. Nesse sentido, não consideramos em nenhum momento o ENEM como uma avaliação formativa, uma vez que os alunos que realizaram as provas não seriam afetados pelo feedback. Consideramos apenas que é possível aproximá-lo de características formativas se houver o feedback e os professores utilizarem-o para orientar seus alunos em sala de aula, considerando que as provas são realizadas em toda extensão nacional e descrevem aspectos gerais dos estudantes dos anos finais de escolarização básica brasileira.

<sup>6</sup> mesmo que não seja o mecanismo ideal, como veremos na Seção 3.5, em que argumentaremos sobre a forte correlação entre o desempenho dos candidatos e suas origens socioeconômicas.

Sendo assim, gostaríamos de aproveitar os resultados do ENEM ao máximo, colaborando com a recuperação do seu objetivo principal na primeira década de sua existência: avaliar o Ensino Médio nacional. E, mais que isso, fornecer dados para melhorá-lo, orientando políticas públicas e a atividade em sala de aula.

Entretanto, temos que reconhecer um impasse para que essa aproximação do ENEM de uma avaliação formativa: a construção dos itens. Avaliações externas, como o ENEM, são de natureza distinta daquelas realizadas no contexto escolar. Possuem objetivos e demandas distintas. Black (2009) já argumentava que testes externos são ineficientes para avaliação formativa. Ainda, uma crítica de Perrenoud (1999) às provas escolares tradicionais também cabe ao ENEM, embora não se refira às avaliações de larga escala especificamente: “[...] as provas escolares tradicionais se revelam de pouca utilidade, porque são essencialmente concebidas em vista mais do desconto do que da análise dos erros, mais para a classificação dos alunos do que para a identificação do nível de domínio de cada um” (p. 15). Ou seja, enquanto os itens do ENEM forem construídos tendo em vista selecionar e discriminar os candidatos, sem visar uma construção que possibilite a análise dos erros cometidos pelos alunos numa perspectiva de retroalimentar o ensino, a aproximação das características formativas é inviável. A intenção de **avaliar a aprendizagem**, assim como a de **selecionar para o ensino superior**, precisaria estar presente já na formulação dos itens. Uma questão que simplesmente elimine os sujeitos menos preparados, ganhando pouca informação sobre suas dificuldades e deficiências de aprendizagem, não seria adequada.

Para que a proposta de Marcom (2019) e Spazziani (2019) seja acertiva, é preciso itens no ENEM com a intenção de avaliar. Mas visto que a característica principal do exame é selecionar, cabe a reflexão: **é possível haver itens que selecionem e avaliem ao mesmo tempo? Se sim, como seria a construção desses itens?** Mais especificamente, itens envolvendo concepções alternativas favoreceriam a possibilidade de servirem tanto avaliar, quanto para selecionar? Eventualmente retomaremos essas reflexões nesta dissertação, no intuito de dialogar com os trabalhos dos colegas de grupo.

### 3.4 Concepções alternativas e ENEM

No que diz respeito especificamente às pesquisas que investigavam a relação ENEM e concepções alternativas, como esta, encontramos os trabalhos de Brito (2015), Brito e Gebara (2019) e Yaguti e Gebara (2019), todos ligados ao PECIM, o mesmo programa de pós-graduação ao qual pertencemos.

Yaguti e Gebara (2019) buscaram relacionar alguns itens de Física das provas do ENEM de 2009 a 2012 com concepções alternativas na área de ondulatória. Para os autores, mostrou-se mais fácil relacionar essas concepções a itens mais conceituais.

Concluíram que as CA utilizadas pelos candidatos são específicas de cada contexto e trouxeram algumas concepções alternativas identificadas.

Já Brito (2015), Brito e Gebara (2019)<sup>7</sup> averiguaram a existência de CA nos enunciados ou alternativas dos itens de Biologia das provas do ENEM relativas aos anos de 2011 e 2012. Ainda, investigaram como a presença das CA influenciava o desempenho dos participantes. Segundo as autoras, majoritariamente, os itens de Biologia não são formulados visando a inclusão de concepções alternativas, apenas 34% deles as possuíam em sua estrutura. Também foi identificado que a média de acertos dos itens envolvendo CA era significativamente inferior quando comparada à média dos itens que não as envolviam. A partir disso, concluíram que, independente da origem escolar (pública ou privada), os conceitos científicos necessários à resolução correta dos itens não estavam devidamente ancorados na estrutura cognitiva dos alunos. Ainda, apesar de reconhecerem que incluir CA na formulação dos itens do ENEM permite a existência de um importante indicador a respeito do domínio de conhecimentos científicos pelos concluintes da educação básica, as autoras desencorajam seu uso no exame. Na argumentação delas, a presença de concepções alternativas nos itens induziria os alunos ao erro desnecessariamente, atuando como “pegadinhas”, o que iria contra a recomendação do INEP para elaboração de questões (BRASIL, 2010).

Kleinke (2017) também identificou que a média de acerto tende a cair em itens que apresentam CA entre as alternativas de resposta. Isso porque, segundo o autor, as concepções atraem a maioria dos candidatos, independente de sua classe social. Entretanto, alunos de classes sociais mais baixas tendem a ser mais atraídos pelas concepções alternativas que os de advindos de situações mais privilegiadas. Dessa forma, itens com concepções alternativas ampliariam a discriminação em função do status socioeconômico.

É interessante citar que uma das habilidades da Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM (BRASIL, 2009) faz alusão às concepções alternativas. Aparece como uma das habilidades desejadas associada à competência de área 1 – referente à compreensão das ciências naturais como construções humanas – que o aluno saiba “confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas” (p. 8).

Dessa forma, a adequabilidade de incluir-se ou não concepções alternativas entre os distratores dos itens do ENEM é uma questão controversa. Enquanto para alguns elas atuam como “pegadinhas”, atraindo os alunos para as respostas incorretas; para outros (incluindo a Matriz de Referência do ENEM), saber identificá-las e diferenciá-las das concepções científicas é uma habilidade desejada que se espera do aluno ao final da educação básica, como indicativo da aprendizagem dos conceitos científicos. Iremos retomar essa discussão ao final da dissertação, mas, por hora, já adiantamos nosso alinhamento

<sup>7</sup> ambas as publicações se referem à mesma pesquisa.

com essa última visão. Para nós, o uso de concepções alternativas nos itens do ENEM aponta um caminho para avaliar a aprendizagem dos alunos concluintes do Ensino Médio a respeito de conceitos específicos, assim como para a popularização da pesquisa sobre o tema para além dos círculos acadêmicos.

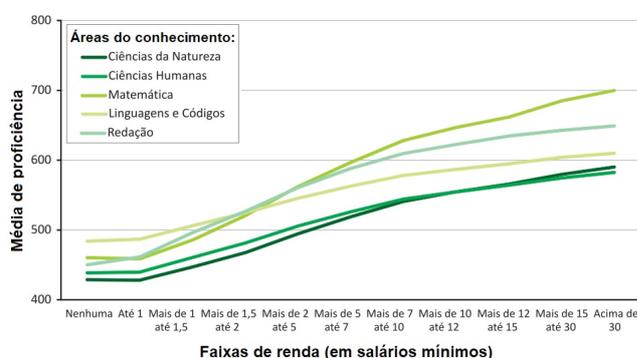
### 3.5 Desempenho no ENEM e nível socioeconômico

Na seção 3.1, deste capítulo, dissemos que o ENEM colabora na “democratização” do acesso ao ensino superior. Entretanto, utilizamos o termo democratização com ressalvas, pois entendemos que, apesar das condições de aplicação do exame e ações afirmativas associadas a ele direcionarem para isso, a formulação das provas segue muito longe do ideal de democratizar o acesso à universidade.

Muitos trabalhos vêm denunciando uma forte correlação entre o desempenho dos candidatos no ENEM e suas condições socioeconômicas (TRAVITZKI; FERRÃO; COUTO, 2016; BARBOSA; PÔSSAS, 2017; KLEINKE, 2017; NASCIMENTO, 2019)<sup>8</sup>. O próprio INEP constatou e divulgou essa relação em seus relatórios sobre o ENEM referentes às provas de 1998 a 2012, comparando a nota média dos candidatos à renda familiar. Na Figura 6a trazemos o gráfico divulgado para a prova de 2011, do último relatório publicado. Nota-se que a média de proficiência dos alunos aumenta em função das faixas de renda para todas as áreas do conhecimento avaliadas pela prova. Esse é um fenômeno recorrente desde a primeira aplicação do exame, em 1998 (BRASIL, 1998).

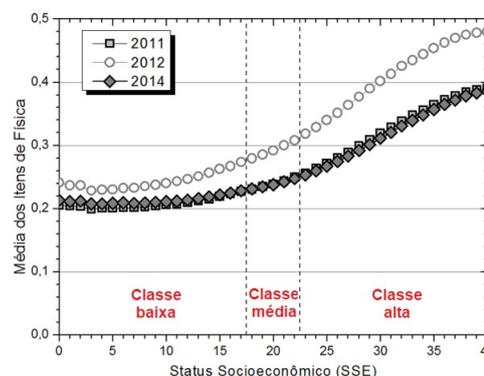
Figura 6 – Desempenho dos candidatos do ENEM em função de indicadores socioeconômicos.

(a) Desempenho segundo áreas do conhecimento em função da renda familiar. Prova 2011.



Fonte: BRASIL (2015)

(b) Desempenho nos itens de física em função do status socioeconômico. Provas 2011, 2012 e 2014.



Fonte: Kleinke (2017)

<sup>8</sup> Antes de realizarem as provas do ENEM, os candidatos respondem a um questionário socioeconômico. A partir das informações colhidas por esse instrumento é possível investigar a correlação entre desempenho no exame e índices socioeconômicos.

Kleinke (2017) investigou essa correlação para os itens de física, em específico, e constatou que a média de acerto em física também aumentava em função do status socioeconômico do aluno nas provas aplicadas em 2011, 2012 e 2014. Essa relação está ilustrada na Figura 6b, na qual a média de acerto varia de 0 a 1 e o status socioeconômico, de 0 a 40 (calculado considerando-se indicadores de poder de consumo, tais como o grau de instrução do chefe da família, o número de televisões, rádios, geladeiras, banheiros e automóveis no domicílio). Para os 3 anos analisados, a média de acerto nos itens de física aumenta significativamente em função do status socioeconômico.

Essa correlação é explicada por Kleinke (2017) e Nascimento (2019) por meio das teorias do sociólogo francês Pierre Bourdieu (BOURDIEU; PASSERON, 1992). Para Bourdieu, de forma simplificada, podemos dizer que o sucesso ou fracasso escolar do aluno não deve ser entendido apenas como fruto da sua aptidão cognitiva natural. Outros fatores são determinantes para isso: os capitais econômico, cultural e social, herdados do convívio social do indivíduo. Ao capital econômico relacionam-se os bens materiais, como dinheiro, patrimônios, renda e meios a que eles dão acesso. Ao capital cultural associam-se bens simbólicos e culturais que o aluno pode ter herdado da família ou adquirido na escola, como competências educacionais socialmente prestigiadas, hábito de leitura sofisticada. Por último, o capital social está relacionado com sociabilidade e construção de uma rede estável de relacionamentos e benefícios, que podem ser materiais ou simbólicos, como possuir poder político ou relação com pessoas de prestígio. Dispor desses capitais dá ao sujeito poderes e privilégios na sociedade.

O sistema escolar, segundo Bourdieu e Passeron (1992), tende a reproduzir esse sistema de dominação de determinados grupos sobre outros, valorizando, inculcando e cobrando elementos culturais mais presentes nos grupos sociais dominantes. Assim, alunos advindos de famílias com maiores capitais estariam destinados ao sucesso escolar, uma vez que possuem poderes e privilégios dentro desse sistema por já herdarem esses elementos culturais de seus convívios sociais. Por outro lado, aqueles que tiveram pouco acesso às circunstâncias que geram os capitais estariam fadados ao fracasso. A escola, nesse sentido, seria uma reprodutora da desigualdade social.

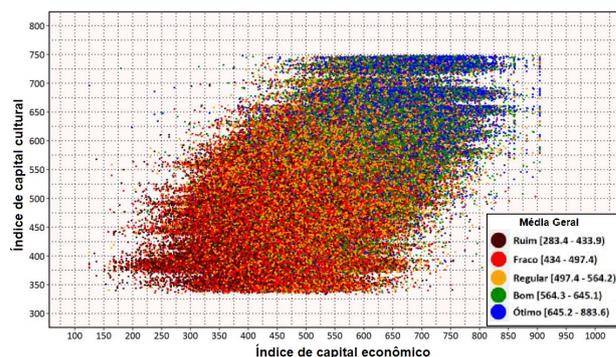
O ENEM, como parte do sistema escolar, também reproduziria essas desigualdades. Assim, alunos cujos pais possuem alta escolaridade e uma situação econômica confortável teriam melhores notas no exame do que alunos de origem mais humilde, com pais de menor instrução escolar e menor renda. Quando lembramos que o ENEM é a principal via de acesso ao ensino superior no Brasil, essa reprodução de desigualdades fica ainda mais evidente.

Nascimento (2019) analisou o desempenho dos candidatos na prova do ENEM 2009 em função de seus capitais econômico (CE) e cultural (CC) (Figura 7). Ao capital econômico o autor associou itens como renda familiar, número de geladeiras em casa e

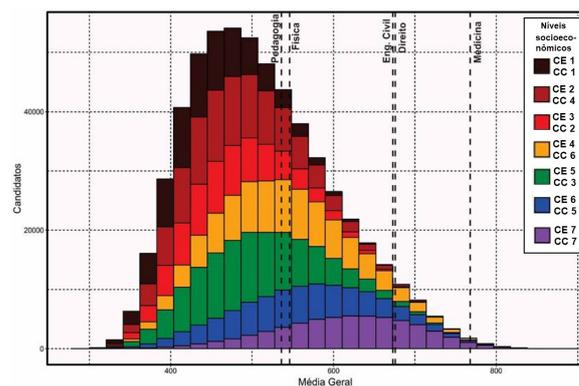
outros bens e serviços. Ao capital cultural, associou principalmente o grau de instrução do pai e da mãe dos candidatos.

Figura 7 – Desempenho dos candidatos do ENEM em função do capital econômico (CE) e capital cultural (CC), prova 2009.

(a) Desempenho em função de CE e CC. Escalas dos índices estipuladas por meio da Teoria da Resposta ao Item.



(b) Histogramas das médias para sete níveis socioeconômicos (combinações de CE e CC, os quais variando de 1 a 7).



Fonte: Nascimento (2019)

Na Figura 7a temos o desempenho dos alunos em função de ambos os capitais. Podemos notar um gradiente nas cores, indicando que quanto menor os índices de capitais, menor o desempenho. Se o desempenho no ENEM não tivesse nenhuma associação com o nível socioeconômico dos candidatos, esse gráfico deveria ser uma nuvem difusa de pontos coloridos. Ao contrário disso, o que observamos é uma distribuição estratificada e quase que linear com os índices de capital.

Já na Figura 7b temos um histograma das notas médias obtidas no ENEM para sete níveis socioeconômicos diferentes. Cada nível é composto pela combinação entre um índice de capital econômico (CE) e um índice de capital cultural (CC), com a escala de ambos variando de 1 a 7, sendo o índice 7 associado aos maiores níveis de capitais. Também foram incluídas na imagem algumas linhas marcando as notas de cortes para ingresso nos cursos de Pedagogia, Física, Engenharia Civil, Direito e Medicina. Podemos observar que a média das notas se desloca para valores mais altos conforme se aumenta o nível socioeconômico dos candidatos. Ainda, é perceptível que sujeitos de níveis socioeconômicos mais baixos possuem poucas chances de conquistarem vagas em cursos de graduação de maior concorrência (e prestígio social). Mas o que mais nos chama a atenção aqui é o poder de impacto do capital cultural no desempenho que esse histograma revela. A média do nível socioeconômico com CE=4 e CC=6 é maior que daquele com CE=5 e CC=3. Apesar do primeiro grupo possuir um capital econômico menor que o segundo, a superioridade de seu capital cultural permite que ele tenha um desempenho melhor. Isso é, o efeito do aumento do capital cultural pode sobrepujar uma diminuição do capital econômico.

Para Nascimento (2019), esses gráficos deixam claro que

é totalmente falacioso o discurso de democratização do ensino superior pelo ENEM propagado pelo exame. É verdade que existem políticas de ações afirmativas que são fundamentais para a tentativa de reversão do cenário observado. Contudo, sabemos que a reserva de vagas pela via das ações afirmativas ainda é pequena e merece um maior investimento público para sua expansão. (p. 75)

Apesar das políticas afirmativas aplicadas pelo Sisu colaborarem para diminuir a discriminação socioeconômica na seleção dos ingressantes para o ensino superior, o ENEM (e por consequência o Sisu) ainda não democratiza o acesso a esse nível de ensino, uma vez que continua a refletir a desigualdade social brasileira. Os estudantes que vêm sendo selecionados para cursos de maior prestígio social ainda são, em sua grande maioria, “aqueles adolescentes que já possuem uma estrutura familiar, social e econômica privilegiada, que fornece todas as condições e disposições necessárias para o bom desempenho acadêmico” (NASCIMENTO, 2019, p. 75).

Ainda que os resultados do ENEM pareçam inerentes à desigualdade social do nosso país, Nascimento (2019) sugere que é possível diminuir a discriminação socioeconômica por meio da utilização de itens socialmente mais justos na composição das provas. Para o caso da Física, itens quantitativos, por exemplo, tendem a favorecer candidatos com altos índices de capitais<sup>9</sup>, enquanto que os qualitativos possuem maiores chances de terem uma dependência menor com o nível socioeconômico.

Barbosa e Pôssas (2017) chamam atenção também para a questão da desigualdade socioespacial no território brasileiro no que tange ao desempenho no ENEM. Os autores mostram que alunos de Estados onde há melhores condições básicas para o desenvolvimento dos seus estudos (maior renda per capita e taxa de saneamento básico, menor taxa de mortalidade, entre outros), obtêm vantagens significativas sobre alunos de Estados que possuem maiores dificuldades. Para eles, ao submeter testes padronizados num país de dimensão continental, repleto de diversidades, o ENEM “suscita diversas contradições e amplia o processo de desigualdade socioespacial no Brasil” (p. 1)

Entretanto, ainda que falte muito para a democratização do ensino superior, Travitzki, Ferrão e Couto (2016) mostram a existência de sinais de progresso educacional quando compara-se os resultados do ENEM 2009, 2010 e 2012 com dados educacionais de gerações passadas. O incremento do rendimento familiar brasileiro e o crescimento da classe média nas últimas duas décadas podem estar associados a esse fenômeno.

Por fim, além do socioeconômico, vale citarmos que também há correlação entre outros fatores e o desempenho dos alunos no exame: raça (TRAVITZKI; FERRÃO; COUTO, 2016), sexo (MARCOM, 2019; MARCOM; KLEINKE, 2017), número de membros

<sup>9</sup> também identificado no trabalho de Kleinke (2017).

na família e hábito de leitura (NASCIMENTO, 2019). Infelizmente, não discorreremos sobre esses fatores nesta dissertação por utilizarmos apenas o recorte socioeconômico, em específico do capital cultural. Mas indicamos as leituras referenciadas a quem procure se aprofundar no assunto.

### 3.6 Circuitos elétricos nos PCN e ENEM

Para finalizar este capítulo, situaremos brevemente o conteúdo circuitos elétricos, de nosso interesse nesta pesquisa, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+) (BRASIL, 1999; BRASIL, 2002) e na Matriz de Referência do ENEM (BRASIL, 2009).

Nos PCN, no contexto de um ensino de Física objetivando a compreensão, intervenção e participação do aluno na realidade, é recomendado que as correntes elétricas sejam tratados logo no início da aprendizagem de fenômenos elétricos. Dentre outras competências e habilidades mais gerais a todo o ensino de Física, aparecem conversando mais especificamente com o conteúdo de circuitos ser desejável que os alunos tenham a capacidade de compreender manuais de instalação e utilização de aparelhos; assim como compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos.

Ainda, nos PCN+, em diversos momentos, exemplificam-se competências mais gerais da física utilizando situações cotidianas envolvendo circuitos. Assim, o documento expressa ser desejável, por exemplo, que os alunos saibam reconhecer e utilizar corretamente símbolos, códigos e nomenclaturas de grandezas da Física, como aqueles comuns em aparelhos elétricos (códigos como  $W$ ,  $V$  ou  $A$ ); consigam compreender o esquema de uma montagem elétrica; saibam conhecer a relação entre potência, voltagem e corrente, para estimar a segurança do uso de equipamentos elétricos; consigam levantar hipóteses sobre as possíveis causas de interrupção do fornecimento da energia elétrica; entre outros. O documento também destaca como habilidade desejada que os alunos reconheçam a conservação de determinadas grandezas, como carga elétrica e corrente, utilizando essa noção de conservação na análise de dadas situações (por exemplo, reconhecer a relação entre a vazão de entrada e de saída da corrente elétrica que passa por um resistor).

Entretanto, apesar de sugerir a iniciação dos estudos em fenômenos elétricos com circuitos simples, contextualizados nos aparelhos eletrônicos cotidianos e redes elétricas residenciais, é válido citar que tanto os PCN como PCN+ reforçam para que se vá além, abrangendo também motores elétricos, geradores e receptores, conteúdos nem sempre abordados no currículo escolar por exigirem maior dificuldade conceitual.

Já na Matriz de Referência do ENEM (BRASIL, 2009), dentre as 30 habilidades para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias apresentadas, uma delas diz respeito explicitamente sobre circuitos elétricos: “Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos

de uso cotidiano” (p. 8). Então, não por acaso, circuito elétrico é um conteúdo da Física que apareceu todos os anos nas provas do exame desde sua reformulação, em 2009. Em várias ocasiões, o tema apareceu contextualizado em manuais de aparelhos tecnológicos, relacionando-se também com outra habilidade da Matriz: “Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum” (p. 8).

## 4 Metodologia

Conforme explicitado anteriormente, nesta pesquisa desejamos investigar se os alunos concluintes do Ensino Médio assinalam distratores induzidos por concepções alternativas e dificuldades comuns nos itens sobre circuitos elétricos do ENEM, especificamente nas provas aplicadas entre 2009 e 2018. Ao fazer isso, temos em mente os objetivos já anunciados na introdução deste trabalho, lembrados a seguir:

- Analisar se os itens sobre circuitos elétricos do ENEM podem ser utilizados para a identificação de concepções alternativas e dificuldades dos estudantes, tal como é feito nos inventários;
- Identificar quais são as concepções alternativas e dificuldades envolvidas nas respostas dos estudantes aos itens de circuitos elétricos das provas do ENEM;
- Investigar quais itens, qualitativos ou quantitativos, nos revelam mais informações a respeito do domínio, das concepções alternativas e das dificuldades dos alunos sobre o conteúdo de circuitos elétricos;
- Refletir sobre a pertinência de incluir itens com concepções alternativas e dificuldades comuns dos alunos no ENEM, tendo em vista os objetivos do exame em avaliar e selecionar.

Sendo assim, neste capítulo, descreveremos nossos percursos metodológicos para atender a esses objetivos. Trata-se de uma pesquisa de natureza qualiquantitativa, na qual utilizamos índices estatísticos para análise de itens da Teoria Clássica de Testes (PASQUALI, 2011; ALAGUMALAI; CURTIS; HUNGI, 2005; PRIMI, 2012; BAO; REDISH, 2001) e nos apoiamos nos referenciais de concepções alternativas e dificuldades comuns em circuitos elétricos (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; POZO; CRESPO, 2009; DRIVER et al., 1994; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992) para avaliar os itens sobre esse tema presentes nas provas do ENEM entre 2009 e 2018. Ainda, em alguns momentos, apoiamo-nos em princípios da análise de conteúdo (BARDIN, 2002; FRANCO, 2005) para a preparação do material a ser investigado, visando um maior rigor no processo de análise. Cada uma das etapas do trabalho será descrita nas seções a seguir.

### 4.1 Seleção dos itens sobre circuitos elétricos nas provas do ENEM

O primeiro passo para a realização da nossa análise foi descobrir quais itens do ENEM versavam sobre o conteúdo de circuitos elétricos. Buscamos esses itens nas

provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018. Tradicionalmente, são nessas provas que se encontram as questões de Física, área do conhecimento que contempla o estudo de circuitos elétricos. O recorte de 2009 a 2018 foi escolhido para abranger todo o período de aplicação do “Novo ENEM” até o momento, sendo 2009 o ano no qual o exame passou por profunda reformulação.

A identificação dos itens foi feita através da classificação por pares, na qual dois especialistas da disciplina (a mestranda e o orientador) buscaram as questões sobre o tema circuitos elétricos resistivos de corrente contínua. Classificamos para compor o *corpus* de análise todos os itens que exigiam do candidato algum conhecimento sobre circuitos elétricos para respondê-los, ao mesmo tempo que não requisitavam conhecimentos de outros conteúdos específicos de forma profunda. Assim, itens de natureza interdisciplinar, ou que abordavam simultaneamente assuntos de áreas diversas da Física, ou mesmo que contemplavam outros assuntos dentro do eletromagnetismo – como fenômenos magnéticos – não foram incluídos no *corpus*, uma vez que nosso referencial em CACE não daria conta de nos apoiar na análise do erro dos candidatos em outros temas que não circuitos elétricos.

Para o item ser incluído na pesquisa era necessário haver concordância entre os dois especialistas quanto à sua adequabilidade aos critérios estabelecidos. Apesar de o ENEM buscar uma abordagem interdisciplinar e contextualizada, não houve conflitos entre os especialistas para identificar os itens sobre circuitos, um indicativo de que o recorte por conteúdo ainda é bastante evidente no exame.

No total, encontramos 21 itens sobre circuitos elétricos resistivos de corrente contínua nas provas do ENEM de 2009 a 2018. Desses, dois envolviam também conhecimentos de outras áreas (calorimetria e função linear), o que nos levou a descartá-los. Os 19 itens restantes compõem no nosso *corpus* de análise e são listados no quadro 3.

O conteúdo de tais itens será apresentado adiante, alguns no corpo da dissertação e outros nos apêndices. Para facilitar a navegação do(a) leitor(a) e a identificação dos itens, na versão digital deste documento, sempre que nos referirmos a eles através dos códigos apresentados no quadro 3 utilizaremos o recurso de hiperlink. Assim, ao clicar sobre os códigos, o(a) leitor(a) será redirecionado(a) para a seção do texto que traz o conteúdo de cada item na íntegra, assim como os dados referentes à sua análise individual.

## 4.2 Tratamento dos microdados das aplicações do ENEM

A cada edição do ENEM, o INEP disponibiliza em seu portal eletrônico, para acesso público, os microdados relativos à aplicação do exame<sup>1</sup>. Deles, podemos obter informações sobre o desempenho dos candidatos e seus perfis socioeconômicos (informados pelos

<sup>1</sup> Microdados das aplicações do ENEM, disponibilizados pelo INEP: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/microdados>>.

Quadro 3 – Itens sobre circuitos elétricos das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018.

Prova				Prova					
Ano	Caderno	Item	Código	Ano	Caderno	Item	Código		
2009	azul	45	09-45	2014	azul	57	14-57		
2010	azul	48	10-48	2015	azul	68	15-68		
		70	10-70	2016		azul	59	16-59	
2011	azul	60	11-60					74	16-74
				70			108	17-108	
2012	azul	73	12-73	2017	amarelo	111	17-111		
						72	13-72		
2013	azul	75	13-75	2018	amarelo	106	18-106		
								109	18-109
		79	13-79						
		83	13-83						

Fonte: Produzido pela autora.

próprios participantes no ato de inscrição, por meio de um questionário socioeconômico).

Para leitura e processamento dos microdados, utilizamos o software de tratamento estatístico SAS 9.2, obtendo as informações necessárias para a elaboração dos índices estatísticos e as distribuições das respostas dos candidatos nas alternativas em função de indicadores socioeconômicos, conforme descreveremos na subseção 4.4.2. Por ora, vamos nos deter sobre alguns detalhes importantes no tratamento dos microdados.

#### 4.2.1 Organização dos cadernos de prova

A cada aplicação do ENEM há diferentes cadernos para uma mesma prova, os quais diferenciam-se apenas na ordem dos itens para evitar fraudes dos candidatos. Tais cadernos são indicados por cores, em geral azul, amarelo, rosa e branco/cinza. Nesta pesquisa, utilizamos os dados obtidos através da aplicação de todos os cadernos, adotando apenas um deles como referência para identificação dos itens. Assim, de 2009 a 2016 adotamos como referência a ordem das questões do caderno azul, enquanto em 2017 e 2018, do amarelo, conforme informado no quadro 3. Os microdados foram tratados a partir dessa convenção, alinhando os resultados de todos os candidatos aos cadernos de referência.

## 4.2.2 Recorte populacional sobre os candidatos do ENEM

Dentre todos os candidatos que prestaram o ENEM no período contemplado por este estudo, restringimos nossa população àqueles que eram concluintes do Ensino Médio no ano de realização do exame, estiveram presentes nos dois dias de prova, não tiveram a redação anulada e obtiveram nota maior que zero na prova de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Esse recorte de candidatos aproxima os dados analisados do que é representativo nas redes escolares em escala nacional, permitindo-nos inferir algumas características possíveis de estarem presentes nas escolas do país. Por esse motivo, ao longo desta dissertação, com frequência nos referimos aos candidatos do ENEM apenas pelo termo “alunos”. Ainda, por meio dos demais critérios do recorte populacional, excluimos da análise boa parte dos indivíduos que se inscreveu no exame e não compareceu ou realizou-o de fato (faltando num dos dias de prova ou entregando o cartão de resposta sobre os itens de Ciências da Natureza em branco, por exemplo). Com isso, aproximamos nosso universo de análise daqueles alunos que efetivamente realizaram as provas do ENEM.

A quantidade total de candidatos contemplados em nossa análise (N) por ano de aplicação do exame pode ser conferida na tabela 1, coluna “Geral”. Considerando que o número de matriculados nas etapas finais do Ensino Médio<sup>2</sup> no Brasil girou em torno de 2,3 milhões por ano ao longo do período de 2009 a 2018 (segundo dados do Censo Escolar da Educação Básica, divulgados pelo INEP<sup>3</sup>), podemos assumir que nossa amostra representa na ordem de 50% desses matriculados.

Dentro desse recorte populacional, escolhemos trabalhar também com sub-recortes baseados na escolaridade de ambos os pais dos candidatos.

### 4.2.2.1 Recorte populacional com base na escolaridade de ambos os pais dos candidatos

Conforme apresentamos na seção 3.5, há uma forte correlação entre o desempenho dos candidatos no ENEM e suas condições socioeconômicas. Tendo em vista nosso objetivo de identificar as concepções alternativas utilizadas pelos estudantes nos itens sobre circuitos elétricos, supomos que separar os grupos de maiores e menores índices socioeconômicos permitiria-nos vislumbrar mais claramente quais os distratores das questões

<sup>2</sup> Consideramos o número de alunos matriculados no 3º e 4º ano do Ensino Médio nas escolas de todo o país. Entretanto, lembramos que tal número não representa a quantidade de concluintes no Ensino Médio (característica que define nosso recorte no banco de dados do ENEM), uma vez que alguns estudantes podem ter abandonado os estudos no decorrer do ano letivo, reprovado, ou mesmo fazer parte de uma pequena porcentagem que cursa regularmente o Ensino Médio em 4 anos, não concluindo essa etapa da Educação Básica no 3º ano, como ocorre tradicionalmente. Infelizmente, apesar de sabermos que o INEP coleta estes dados, não conseguimos encontrar dados a respeito do total de concluintes do Ensino Médio por ano divulgado para acesso público na plataforma online do Instituto.

<sup>3</sup> Sinopses Estatísticas da Educação Básica, divulgadas pelo INEP: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>>.

Tabela 1 – Quantidade de indivíduos do recorte amostral analisado (N) para as provas de diferentes anos.

Ano	Geral	Escolaridade de ambos os pais		
		Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior
2009	776.553	41.130	76.369	39.675
2010	1.058.417	86.960	160.359	63.926
2011	1.238.519	79.345	120.919	61.159
2012	1.089.116	123.397	159.484	93.415
2013	1.190.007	135.859	176.021	100.701
2014	1.229.283	142.902	189.164	104.596
2015	1.254.330	58.951	208.281	104.946
2016	1.291.946	62.481	214.612	107.315
2017	1.167.212	53.577	203.285	108.200
2018	1.110.307	48.065	195.216	67.769

Fonte: Produzida pela autora com base no recorte feito nos microdados, disponibilizados pelo INEP, das aplicações do ENEM.

eram mais atrativos para cada um deles, sendo que o grupo de alunos com origem menos favorecida teria maiores chances de usar CACE ao responder os itens.

Sendo assim, optamos por realizar sub-recortes da nossa população de estudo em função de algum indicador socioeconômico, de modo a nos permitir avaliar separadamente como cada grupo respondia os itens. O indicador escolhido foi a escolaridade de ambos os pais dos candidatos. Dessa forma, partindo do nosso recorte populacional já explicitado, trabalhamos com a distinção entre alunos cujos pai e mãe completaram o Ensino Fundamental, o Ensino Médio, ou o Ensino Superior (considerando graduação ou pós-graduação). A quantidade de indivíduos em cada uma desses grupos por ano de análise encontra-se na tabela 1.

A escolha por trabalhar com a escolaridade de ambos os pais não foi trivial. O indicador mais instintivo seria a renda familiar, entretanto, julgamos que ele não seja o mais adequado e confiável. Há indícios que sugerem a sub-declaração de rendimento familiar no questionário socioeconômico do ENEM, conforme observado por [Travitzki, Ferrão e Couto \(2016\)](#), os quais também afirmam ser esse um fenômeno clássico da literatura de erro de medida. Lembrando que é o próprio candidato quem responde ao questionário socioeconômico – no caso do nosso público, em geral, adolescentes sem conhecimento preciso da renda familiar – é de se suspeitar da acurácia de tal informação. Ainda, como o ENEM tem sido utilizado para acesso a programas de financiamento estudantil, há a possibilidade de alguns alunos omitirem informações sobre renda na expectativa de serem favorecidos

na seleção para os programas.

Por outro lado, não observamos muitas razões para o candidato realizar uma sub-declaração da escolaridade dos pais. Fortemente correlacionada com a renda familiar e de maior confiabilidade pelos motivos citados, optamos por trabalhar com esse indicador. Além disso, colabora para nossa escolha a curiosa constatação de Nascimento (2019), apresentada previamente ao discutirmos a figura 7b e apoiada nas teorias de Bourdieu e Passeron (1992), de que o impacto do capital cultural no desempenho dos alunos pode sobrepujar a do capital econômico. Sendo a escolaridade dos pais um importante indicador do capital cultural dos alunos, ao utilizá-lo na definição do nosso sub-recorte amostral consideramos também esse efeito.

Optamos por trabalhar com a escolaridade de ambos os pais, e não só da mãe ou do pai, como ocorre tradicionalmente, para definir de forma mais incisiva com quais alunos estamos lidando, simplificando a compreensão do perfil dos candidatos e suas famílias. Conseqüentemente, isso restringiu muito a abrangência de nossa amostra, como pode ser visto ao comparar o total de alunos que compõe as três amostra segmentadas em função da escolaridade dos pais com a amostra geral, na tabela 1. A soma desses três grupos abarca entre 20% e 36% da amostra geral, a variar conforme o ano. Entretanto, julgamos que os valores totais de N para todos os grupos ainda sejam bastante expressivos para a análise que nos propomos a realizar.

Como limitação, não consideramos nos sub-recortes alunos de famílias com configurações distintas daquelas compostas por um pai e uma mãe – como os adolescentes criados apenas pelas mães –, ou cujos pais possuem níveis de escolaridade distintos, situações que sabemos representar parte significativa das famílias brasileiras. Entretanto, continuaremos a considerar todos os candidatos da amostra geral para alguns momentos, em especial para o cálculo do índice de discriminação dos itens.

### 4.3 Resolução dos itens pelos pesquisadores

A terceira etapa de trabalho foi a resolução detalhada de todos os itens sobre circuitos elétricos do nosso *corpus* de análise. Essa resolução foi feita pelos pesquisadores, apoiadas nos referenciais de concepções científicas sobre circuitos (BONJORNO et al., 2016; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009), de CACE (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; POZO; CRESPO, 2009; DRIVER et al., 1994; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992), e em autores que também trabalham com a investigação do erro dos alunos nos itens de física do ENEM (MARCOM, 2015; MARCOM; KLEINKE, 2016; MARCOM, 2019; SPAZZIANI, 2019).

Dedicamos atenção a cada um dos itens individualmente, resolvendo-os não apenas como esperado para chegar à resposta correta, mas, principalmente, a partir da

perspectiva das diferentes concepções alternativas e dificuldades comuns em circuitos reunidas no quadro 2. Além disso, também refletimos a partir de erros comumente observados na resolução de itens de física em geral. Buscamos compreender o que poderia levar os alunos à escolha de cada uma das cinco alternativas de respostas nos 19 itens analisados.

Quando tivemos dúvidas sobre os motivos que levavam à escolha de algum distrator, recorremos a colegas leigos ou especialistas em Física para que resolvessem os itens, ou mesmo aproveitamos momentos de discussão em grupo nas disciplinas do mestrado para contar com a colaboração coletiva dos participantes<sup>4</sup>. Houve casos nos quais os colegas utilizaram naturalmente CACE ou DCCE do nosso referencial para a resolução dos itens, mas que não tínhamos pensado por aquela perspectiva antes devido à dificuldade de nos desvincilharmos da nossa visão treinada nos modelos científicos. Nesses casos, retomávamos a resolução dos itens a partir das perspectivas expostas pelos colegas.

Ao longo da realização desta pesquisa amadurecemos e treinamos nosso olhar para resolver os itens a partir das CACE e DCCE dos nossos referenciais. Assim, a resolução das questões não teve fim neste momento do trabalho, mas foi marcada por um movimento de retomada constante ao longo de todo o processo de pesquisa.

Esta etapa do trabalho já se configurava como a preparação do material e a pré-análise. Construímos uma ficha para cada item, reunindo seu conteúdo, um esboço de seus índices estatísticos (que descreveremos na seção seguinte) e as resoluções por diferentes perspectivas. Foram sobre essas fichas que realizamos uma leitura flutuante (no sentido empregado na análise de conteúdo (BARDIN, 2002; FRANCO, 2005)) de todo o material a fim de sistematizar as etapas da análise propriamente dita. Buscamos indicadores pertinentes que pudessem caracterizar os itens, padrões que se repetiam e valeriam a pena serem investigados, um esboço das concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos abordadas em cada item e no conjunto de todos eles, entre outros aspectos que forneceram subsídio para desenhar a análise descrita a seguir.

## 4.4 Análise dos itens

Dividimos a análise dos itens em três etapas, cada qual fornecendo-nos informações de natureza distinta. Nomeamos-as análise qualitativa, quantitativa e do erro, respectivamente. Nesta seção, descreveremos cada uma delas.

<sup>4</sup> O PECIM, programa de pós graduação no qual este trabalho foi realizado, conta com alunos e docentes das diferentes áreas das Ciências da Natureza, da Matemática e da Pedagogia. Aproveitamos esse ambiente com sujeitos de formações variadas para discutir nossos itens, um diferencial proporcionado pelo nosso Programa Multidisciplinar.

### 4.4.1 Análise qualitativa

Nesta etapa, avaliamos a natureza de cada item, sua apresentação e pertinência em relação ao contexto da prova em que se encontra.

Quanto à natureza, classificamos os itens em qualitativos, quantitativos ou qualiquantitativos. Durante a leitura flutuante, notamos também que a utilização ou não de diagramas de circuitos elétricos era um indicador de como se daria a abordagem do item sobre o conteúdo. Assim, classificamos todos os itens do nosso *corpus* de análise em quatro categorias:

- itens qualitativos ou qualiquantitativos, de resolução conceitual e que utilizam diagramas de circuitos;
- itens qualitativos ou qualiquantitativos, de resolução conceitual e que não utilizam diagramas de circuitos;
- itens quantitativos ou qualiquantitativos, de resolução algébrica e que utilizam diagramas de circuitos;
- itens quantitativos ou qualiquantitativos, de resolução algébrica e que não utilizam diagramas de circuitos;

sendo que utilizar diagramas de circuitos contempla os itens que trazem esses diagramas já prontos na questão ou que os descrevem no enunciado, sem necessariamente o acompanhamento de uma figura.

Ao definir tais categorias buscamos atender aos princípios de exclusão mútua, pertinência, produtividade, objetividade e fidedignidade, aconselhados por [Bardin \(2002\)](#) e [Franco \(2005\)](#). Nossa intenção com elas é compreender como itens desses diferentes grupos trabalham as concepções alternativas em seus distratores.

Já a apresentação e a pertinência dos itens são aspectos importantes para a análise pontuados por [Pasquali \(2011\)](#). Apresentação diz respeito à adequabilidade do texto, tabelas e figuras ao público a que se destina. Dificuldades na compreensão do item decorrentes desses elementos podem constituir um fator complicador na resposta do indivíduo e devem ser evitadas. Ainda, entendemos que detalhismos exagerados na apresentação da questão apenas para induzir o aluno ao erro também seja um fato complicador e deveria ser evitado. Configurando-se quase como “pegadinhas”, tais detalhismos não trazem muita informação a respeito do quanto o aluno domina o conteúdo avaliado, servindo apenas para favorecer aqueles candidatos com maior treinamento em macetes de exames de larga escala. Sendo assim, avaliamos esses dois aspectos na apresentação dos itens e apontamos aqueles com problemas nesse sentido.

Enquanto isso, pertinência diz respeito ao conteúdo do item. Trata-se de uma avaliação do construto, isso é, do que o item se propõe a medir. Tendo em vista que o ENEM mede a cultura escolar do sujeito, o conteúdo avaliado nos itens deve ser adequado ao currículo escolar. Ainda, uma vez que o ENEM visa a contextualização dos itens, é importante que esse contexto seja adequado ao aluno de Ensino Médio, não sendo um fator complicador. Também avaliamos esses dois aspectos e apontamos os itens com problemas nesse sentido.

#### 4.4.2 Análise quantitativa

Nesta etapa, realizamos a análise estatística dos itens, com índices elaborados a partir dos microdados das aplicações do ENEM disponibilizados pelo INEP. Dentre os parâmetros apontados por Pasquali (2011) para compor este tipo de análise, adotamos o índice de facilidade (IF) e o índice de discriminação (ID). Utilizamos também o índice de concentração (IC), de Bao e Redish (2001), e a distribuição das respostas entre as alternativas. Todos esses parâmetros são baseados na Teoria Clássica de Testes. Descreveremos brevemente cada um deles adiante.

##### 4.4.2.1 Índice de facilidade

O índice de facilidade (IF) (COMVEST, 2012), ou índice de dificuldade, como geralmente aparece na bibliografia (PASQUALI, 2011; ALAGUMALAI; CURTIS; HUNGI, 2005; PRIMI, 2012), indica quão fácil ou difícil um item é para uma população. Ele é definido simplesmente como a porcentagem de indivíduos que responde corretamente à questão. Ou seja, o IF é equivalente à taxa de acertos, ou à média de acertos normalizada entre 0 e 1. Seu cálculo se dá pela fórmula

$$IF = \frac{A}{N}, \quad (4.1)$$

sendo  $A$  o número de sujeitos que acertaram o item e  $N$  o número total de sujeitos que responderam ao item. Assumindo valores de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, mais fácil o item é considerado.

Itens com IF muito próximos a 0 ou 1, isso é, nos quais quase todos os sujeitos erram ou acertam, respectivamente, não são adequados para avaliações. Isso porque eles não fornecem muita informação, não diferenciam os indivíduos. Os itens que trazem mais informação são aqueles com IF próximo a 0,5, ou seja, os quais aproximadamente metade da população acerta. Entretanto, embora seja recomendado que grande parte das questões apresente IF em torno de 0,5, o ideal é haver uma distribuição equilibrada dos itens em termos do IF numa prova, para discriminar diferentes níveis de habilidades dos sujeitos (PASQUALI, 2011).

Neste trabalho, calculamos o valor de IF para o nosso universo de candidatos e para cada um dos três grupos de escolaridade de ambos os pais. Ainda, assim como faz a [Comvest \(2012\)](#), consideramos os itens muito difíceis para  $0 \leq IF < 0,2$ ; difíceis para  $0,2 \leq IF < 0,4$ ; médios para  $0,4 \leq IF < 0,6$ ; fáceis para  $0,6 \leq IF < 0,8$ ; e muito fáceis para  $0,8 \leq IF \leq 1$ .

#### 4.4.2.2 Índice de discriminação

O índice de discriminação (ID) mede a capacidade de um item em diferenciar sujeitos com escores altos no exame daqueles com escores baixos. Pelo modelo grupos-critérios, ele é definido como a diferença na porcentagem de acerto entre os grupos superior e inferior. Seu cálculo se dá pela fórmula

$$ID = S - I, \quad (4.2)$$

sendo  $S$  e  $I$  a porcentagem de indivíduos dos grupos superior e inferior, respectivamente, que acertou o item. Comumente, define-se como grupo superior os 27% de indivíduos com os escores mais altos na prova total e, como grupo inferior, os 27% com escores mais baixos ([PASQUALI, 2011](#); [ALAGUMALAI](#); [CURTIS](#); [HUNGI, 2005](#); [COMVEST, 2012](#)).

O ID pode assumir valores de -1 a 1, sendo adequado que ele seja positivo e, quanto mais próximo a 1, mais discriminativo é o item ([PASQUALI, 2011](#)). Seu valor é considerado ótimo quando o IF é igual a 0,5, situação que ID é máximo ([ALAGUMALAI](#); [CURTIS](#); [HUNGI, 2005](#)).

Neste trabalho, calculamos o valor de ID de cada item apenas para o nosso universo total de candidatos. Os grupos superior e inferior foram definidos tomando por referência os escores obtidos na prova de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Não calculamos ID para cada um dos três grupos de escolaridade de ambos os pais por julgarmos que tal índice não faria sentido num recorte da amostra tão restrito. Assim como faz a [Comvest \(2012\)](#), consideramos a discriminação de um item inadequada para  $ID < 0$ ; fraca para  $0 \leq ID < 0,3$ ; moderada para  $0,3 \leq ID < 0,6$ ; e forte para  $ID \geq 0,6$ .

#### 4.4.2.3 Índice de concentração

O índice de concentração (IC) indica como se distribuem as respostas dos estudantes em itens de múltipla-escolha. Foi proposto por [Bao e Redish \(2001\)](#) para auxiliar na avaliação da resposta errada de estudantes a testes como os inventários de concepções alternativas. Ele fornece informações sobre a existência de modelos alternativos ao científico que os estudantes podem estar utilizando para responder os itens ou sobre a efetividade do item em detectar os modelos utilizados pelos alunos. Seu cálculo se dá pela fórmula

$$IC = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m} - 1} \times \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right), \quad (4.3)$$

sendo  $m$  o número de alternativas de respostas no item (no caso do ENEM,  $m = 5$ ),  $N$  o número de estudantes que responderam ao item e  $n_i$  o número de estudantes que assinalaram a alternativa  $i$ .

O IC pode assumir valores de 0 a 1, de modo que valores maiores indicam uma maior concentração das respostas. Nos extremos, 1 indica que todos os estudantes assinalaram uma única alternativa e 0, que as respostas se distribuem totalmente ao acaso. Considera-se que o item tem baixo nível de concentração das respostas se  $0 \leq IC < 0,2$ ; médio nível se  $0,2 \leq IC < 0,5$ ; e alto nível se  $0,5 \leq IC \leq 1$ . Cada um desses níveis caracterizam itens com distribuição aleatória das respostas nas alternativas; presença de dois modelos distintos e predominantes que orientam as respostas dos alunos; e presença de um único modelo predominante que orienta as respostas dos alunos, respectivamente. Tais modelos podem ser tanto o científico, quanto algum alternativo.

Neste trabalho, calculamos o valor de IC dos itens para cada um dos três grupos de escolaridade de ambos os países. Era nossa intenção utilizar tal índice para identificar por meios estatísticos quais itens sobre circuitos elétricos apresentavam maior concentração das respostas e, conseqüentemente, maior chance de envolverem alto uso de concepções alternativas. Entretanto, como discutiremos na análise, não foi possível realizar tal procedimento de forma adequada a partir dos intervalos de valores e níveis de concentração do referencial. Mesmo assim, escolhemos manter os dados obtidos acerca do IC neste trabalho para caso venham a ser úteis a outros pesquisadores, ou mesmo para discutir a ineficiência do método neste caso.

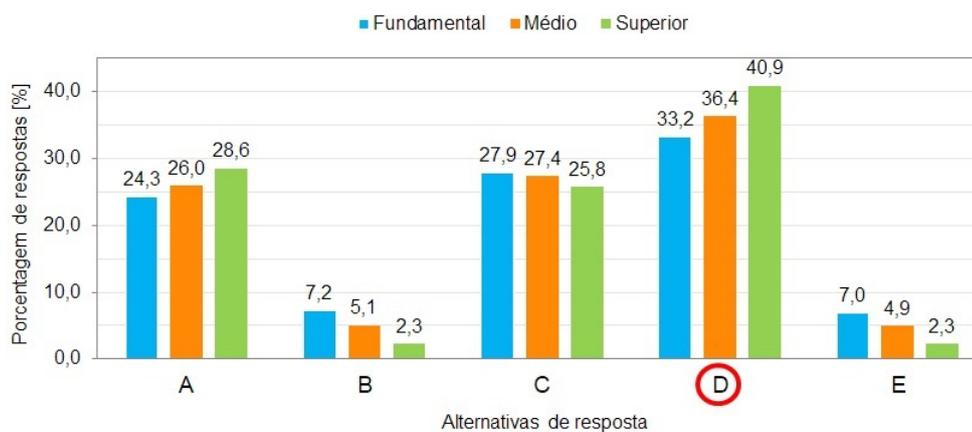
#### 4.4.2.4 Distribuição das respostas nas alternativas

Finalmente, o principal indicador estatístico que utilizamos para caracterização dos itens foi a distribuição das respostas nas alternativas. Trata-se da taxa de escolha de cada alternativa de resposta nos itens, permitindo observar não apenas a taxa de acerto, mas, principalmente, quais os distratores mais atrativos aos alunos. Esse indicador é fundamental para análise do erro dos alunos na literatura a respeito de inventários sobre concepções alternativas (HESTENES; WELLS; SWACKHAMER, 1992; BEICHNER, 1994; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004), e tem sido muito utilizado por autores que se dedicam a compreender o erro dos alunos nos itens do ENEM (BRITO, 2015; MARCOM, 2015; MARCOM; KLEINKE, 2016; MARCOM, 2019).

Neste trabalho, apresentamos a distribuição das respostas nas alternativas para cada um dos três grupos de escolaridade de ambos os países. Com isso, podemos identificar quais os distratores mais assinalados pelos alunos dos diferentes grupos e, a partir disso, identificar as possíveis dificuldades que eles apresentam diante de um determinado item. Desses dados, podemos tirar conclusões sobre a familiaridade e dificuldade dos alunos sobre o tema circuitos elétricos dentro de diferentes realidades socioeconômicas.

Na figura 8 podemos observar um exemplo de como serão apresentados os dados quantitativos para cada item a ser analisado. O gráfico traz a distribuição das respostas nas alternativas para os três grupos de escolaridade de ambos os pais, sendo a alternativa correta indicada por um círculo vermelho no eixo horizontal. Já a tabela reúne os valores de N e ID para o recorte populacional geral, além dos valores de N, IF e IC para cada um dos grupos de escolaridade dos pais. Esses dados sempre serão apresentados junto com o conteúdo dos itens aos quais se referem e podem ser acessados facilmente através dos hiperlinks nos códigos dos itens informados no quadro 3.

Figura 8 – Exemplo de apresentação dos dados quantitativos dos itens.



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1238519	0,271	Ensino Fundamental		79345	0,332	0,112
		Ensino Médio		120919	0,364	0,151
		Ensino Superior		61159	0,409	0,210

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

#### 4.4.3 Análise do erro

Nesta etapa identificamos os possíveis erros dos alunos que os levaram a assinalar os distratores de cada item, em especial, os distratores com maior percentual de escolha indicados pelos dados de distribuição das respostas nas alternativas.

A partir das fichas com as resoluções dos itens por diferentes raciocínios (descritas na seção 4.3), realizamos uma busca minuciosa por concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos dos nossos referenciais que poderiam estar presentes ali. Isso é, buscamos por raciocínios induzidos pelas CACE e DCCE do quadro 2 que levassem a alguma alternativa de resposta. Quando um distrator muito assinalado parecia não ser induzido por nenhuma CACE ou DCCE, buscávamos identificar razões diversas que pudessem levar os estudantes a escolhe-las (como padrão entre as alternativas

que favorecesse a resposta pautada em “macetes” de resolução, ou raciocínios intuitivos bastante observados em itens de física do ENEM, como a divisão de números inteiros do enunciado).

Uma vez que entrevistar os candidatos do ENEM que resolveram os itens e cujos dados analisamos é algo inviável, em nenhum momento podemos afirmar com certeza que os raciocínios assumidos por nós foram de fato os utilizados pelos estudantes. Ainda, é válido ressaltar a natureza qualitativa desta etapa da análise, pautada em julgamentos subjetivos de modo que outros pesquisadores, com outras visões, podem considerar razões distintas das nossas induzindo os alunos a assinalarem determinados distratores dos itens. Entretanto, preocupamo-nos em basear a análise numa sólida bibliografia de apoio, com concepções alternativas e dificuldades comuns amplamente discutidas na literatura e que muito provavelmente também estão presentes nos candidatos do ENEM.

A identificação das CACE e DCCE nos itens seguiu princípios da análise de conteúdo (BARDIN, 2002; FRANCO, 2005) no que diz respeito à preparação do material a ser investigado para um maior rigor metodológico, embora não seja uma análise de conteúdo de fato. Em específico, assumimos princípios da identificação das unidades de análise, com unidades de registro baseadas no tema CACE e DCCE. As unidades de contexto eram as alternativas de respostas às quais referiam-se as unidades de registro, enquanto que as categorias foram definidas como cada uma das CACE e DCCE anunciadas no quadro 2. Adotando o rigor proposto pela análise de conteúdo nesta etapa do trabalho, pudemos codificar e organizar todo o material de modo a clarificar nosso processo de inferir conclusões acerca da presença das CACE e DCCE nos itens.

Primeiramente identificamos as CACE, DCCE e outros raciocínios contemplados em cada distrator de todos os itens. Reunindo e organizando essa informação, identificamos quais as principais CACE e DCCE abordadas em cada item. Em seguida, detemo-nos apenas sobre os distratores mais assinalados de cada questão, buscando identificar quais CACE e DCCE se mostraram predominantes nas respostas dos alunos, sendo que os distratores principais e, conseqüentemente, as CACE e DCCE, poderiam variar entre os grupos de escolaridade dos pais.

A definição dos distratores principais de cada item (e para cada grupo de escolaridade dos pais) pautou-se numa visão quali-quantitativa que avaliou uma a uma as distribuições das respostas nas alternativas, julgando quais os distratores dentre os com maior frequência de resposta eram os mais pertinentes em cada caso. Em geral, alternativas de resposta com taxa de escolha acima dos 20% foram consideradas como principais.

## 4.5 Análise global

Por fim, nesta etapa reunimos e organizamos todas as informações obtidas pela análise individual dos itens para a inferência de conclusões globais a respeito do uso de concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos nas questões do ENEM. Essas informações organizadas serão apresentadas no capítulo seguinte, na qual serão acompanhadas das discussões e inferências, visando atingir cada um dos nossos objetivos de pesquisa.

## 5 Resultados e discussão

Neste capítulo iremos apresentar e discutir os resultados da nossa pesquisa. Iniciaremos com a discussão sobre as nossas categorias de análise e os itens do ENEM sobre circuitos elétricos que as compõem. Apontaremos como esses itens abordam o conteúdo escolar e alguns dos seus problemas de formulação. Em seguida, faremos uma leitura dos índices estatísticos elaborados, buscando inferências a respeito da facilidade dos itens de diferentes categorias, do seu poder discriminativo e da concentração das respostas nas alternativas. Num terceiro momento, investigaremos quais as CACE e DCCE abordadas nas questões sobre circuitos do ENEM, avaliando se elas podem ser utilizadas na identificação dos modelos alternativos e dificuldades gerais dos alunos, assim como se faz nos inventários. Então, realizaremos a análise dos erros dos alunos nos itens sobre circuitos, identificando as principais CACE e DCE que induzem aos distratores mais assinalados pelos estudantes, isso é, identificando algumas das principais dificuldades dos concluintes do Ensino Médio a respeito do conteúdo circuitos elétricos. Por último, finalizaremos com a análise de seis itens marcantes que compõem nosso *corpus*, exemplificando como chegamos aos resultados gerais expressos ao longo de todo o capítulo. Os dados referentes aos treze itens restantes virão nos apêndices deste trabalho, lembrando que o(a) leitor(a) sempre poderá acessá-los facilmente na versão digital deste documento através dos hiperlinks nos códigos de referência de cada item.

### 5.1 Categorização dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018

Categorizamos os 19 itens do nosso *corpus* de análise em função de sua natureza e da forma como abordam o conteúdo de circuitos elétricos. O resultado pode ser conferido no diagrama da figura 9.

Ao todo utilizamos quatro categorias de análise, já enunciadas em 4.4.1. No decorrer deste capítulo, iremos nos referir a cada uma delas pelas cores verde, azul, vermelho e laranja, conforme indicado no diagrama. Os itens de resolução conceitual (qualitativos ou quali quantitativos) estão agrupados nas categorias verde e azul (cores frias); enquanto aqueles de resolução algébrica (quantitativos ou quali quantitativos) estão agrupados nas categorias vermelha e laranja (cores quentes). Ainda, verde e vermelho (cores complementares) reúnem os itens que trabalham com diagramas de circuitos, seja apresentado-os explicitamente na questão ou descrevendo-os no texto do enunciado; já azul e laranja (outro par de cores complementares) reúnem os itens que não abordam tais

Figura 9 – Diagrama com a categorização dos itens sobre circuitos elétricos das provas do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018.

	Qualitativos ou quali-quantitativos, resolução conceitual	Quantitativos ou quali-quantitativos, resolução algébrica
Com diagramas de circuitos	<p>09-45    11-70    12-73</p> <p>13-72    14-57    15-68</p> <p>16-74</p>	<p>10-48    13-83    16-59</p> <p>17-111    17-130    18-106</p>
Sem diagramas de circuitos	<p>13-79</p>	<p>10-70    11-60    13-75</p> <p>17-108    18-109</p>

Fonte: Produzida pela autora.

diagramas. Assim, sempre que o(a) leitor(a) se deparar com o código de um item numa cor específica, poderá identificar intuitivamente a qual categoria ele pertence. Detalhes sobre a caracterização das questões que levaram a essa categorização podem ser conferidos no quadro 8, nos apêndices. Ainda, a título de exemplo, apresentamos alguns itens que compõem essas quatro categorias na figura 10.

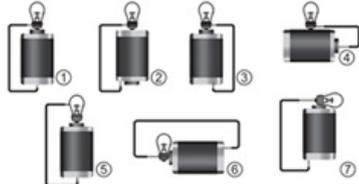
A categoria **verde** reúne os itens qualitativos ou quali-quantitativos de resolução conceitual que utilizam diagramas de circuitos. É a categoria com maior quantidade de itens, sete no total. Quatro deles investigam o conhecimento do aluno sobre as condições de funcionamento de circuitos, dois têm enfoque no brilho de lâmpadas numa configuração específica e um investiga o entendimento do aluno sobre o comportamento da corrente elétrica num circuito. Todos eles abordam conteúdos pertinentes ao currículo escolar, utilizando contextos com os quais não vimos grandes problemas, sendo em geral adequados ao aluno de Ensino Médio. Também não identificamos grandes problemas na apresentação do itens. As informações, tabelas e imagens não são excessivas ao ponto de comprometer seriamente a interpretação e a resolução das questões – embora julgamos que pudessem ser simplificados em muitos casos –, e não identificamos detalhismos exagerados nos enunciados apenas para induzir os alunos ao erro.

A categoria **azul** é composta pelos itens qualitativos ou quali-quantitativos de resolução conceitual que não utilizam diagramas de circuitos. É a menor de todas as categorias, contando com apenas um item. Esse investiga o modelo utilizado pelo aluno para explicar o funcionamento de circuitos elétricos simples. Tanto o conteúdo quanto o contexto são adequados ao currículo escolar e ao aluno de Ensino Médio. Sobre a apresentação, embora o enunciado permita alguma ambiguidade desnecessária, não julgamos que seja algo comprometedor à resolução, sem haver informações ou detalhismos

Figura 10 – Exemplos de itens que compõem as quatro categorias de análise.

**Item 11-70**

Um curioso estudante, empolgado com a aula de circuito elétrico que assistiu na escola, resolve desmontar sua lanterna. Utilizando-se da lâmpada e da pilha, retiradas do equipamento, e de um fio com as extremidades descascadas, faz as seguintes ligações com a intenção de acender a lâmpada:



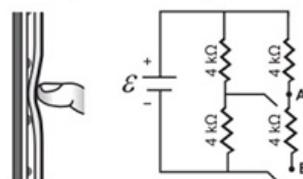
GONÇALVES FILHO, A.; BAROLLI, E. *Instalação Elétrica: investigando e aprendendo*. São Paulo: Scipione, 1997 (adaptado).

Tendo por base os esquemas mostrados, em quais casos a lâmpada acendeu?

- A (1), (3), (6)
- B (3), (4), (5)
- C (1), (3), (5)
- D (1), (3), (7)
- E (1), (2), (5)

**Item 18-106**

Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que **A** e **B** representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto **A**?

- A 1,3 kΩ
- B 4,0 kΩ
- C 6,0 kΩ
- D 6,7 kΩ
- E 12,0 kΩ

**Item 13-79**

Um circuito em série é formado por uma pilha, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Ao se ligar a chave, a lâmpada acende quase instantaneamente, irradiando calor e luz. Popularmente, associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar. Essa explicação está em desacordo com o modelo clássico de corrente.

De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que

- A o fluido elétrico se desloca no circuito.
- B as cargas negativas móveis atravessam o circuito.
- C a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.
- D o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.
- E as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.

**Item 11-60**

Em um manual de um chuveiro elétrico são encontradas informações sobre algumas características técnicas, ilustradas no quadro, como a tensão de alimentação, a potência dissipada, o dimensionamento do disjuntor ou fusível, e a área da seção transversal dos condutores utilizados.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Especificação			
Modelo		A	B
Tensão (V ~)		127	220
Potência (Watt)	Seletor de Temperatura	○	○
	●	2 440	2 540
	●●	4 400	4 400
	●●●	5 500	6 000
Disjuntor ou Fusível (Ampère)		50	30
Seção dos condutores (mm <sup>2</sup> )		10	4

Uma pessoa adquiriu um chuveiro do modelo A e, ao ler o manual, verificou que precisava ligá-lo a um disjuntor de 50 amperes. No entanto, intrigou-se com o fato de que o disjuntor a ser utilizado para uma correta instalação de um chuveiro do modelo B devia possuir amperagem 40% menor.

Considerando-se os chuveiros de modelos A e B, funcionando à mesma potência de 4 400 W, a razão entre as suas respectivas resistências elétricas,  $R_A$  e  $R_B$ , que justifica a diferença de dimensionamento dos disjuntores, é mais próxima de:

- A 0,3.
- B 0,6.
- C 0,8.
- D 1,7.
- E 3,0.

excessivos.

Já a categoria **vermelha** traz as questões quantitativas ou quali quantitativas de resolução algébrica que utilizam diagramas de circuitos, contando com seis itens ao todo. Quatro deles abordam o conteúdo de circuitos em geral, exigindo do aluno a mobilização de conhecimentos conceituais, equações e técnicas de resolução de exercícios dessa natureza para chegar à resposta correta. Os outros dois versam mais especificamente sobre a resistência equivalente de uma associação de resistores. Aqui encontramos problemas sérios na formulação de alguns itens, resumidos no quadro 4, havendo casos nos quais vários desses problemas ocorrem simultaneamente numa mesma questão. Dois itens abordam conteúdos que julgamos inadequados ao currículo escolar padrão – um versa sobre a Ponte de Wheatstone e outro exige do aluno a noção de resistência interna de um gerador, assuntos geralmente abordados nos cursos de Física do Ensino Superior. A contextualização realizada com a Ponte de Wheatstone também é inadequada ao aluno de Ensino Médio. Ainda, há dois itens que julgamos apresentarem diagramas excessivos ou confusos e outro que possui detalhismos que induzem ao erro o aluno com pouco treino na resolução de exercícios desse tipo. Devemos ainda citar que as operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova são um fator complicador desnecessário para a avaliação do conteúdo presentes em metade dos itens desta categoria. Além disso, quatro dos seis itens podem ser considerados de resolução *multi-step*, isso é, que exigem uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas para se chegar à resposta final, o que dificulta a inferência de quais foram as dificuldades dos alunos frente àquelas questões. Apenas um item desta categoria não apresentou nenhum desses problemas, sendo adequado em todos os aspectos (o indicado na figura 10).

Por fim, a categoria **laranja** reúne as questões quantitativas ou quali quantitativas de resolução algébrica que não utilizam diagramas de circuitos. Contando com cinco itens, trata-se de uma categoria com características bem particulares, havendo duas questões que trabalham também a leitura de manuais de aparelhos eletrônicos. Os cinco itens investigam o domínio dos alunos sobre as equações que descrevem os circuitos e as operações algébricas para utilizá-las. Três deles versam sobre a relação entre potência, tensão e resistência, sendo que um aborda também a dependência da resistência em função da geometria do resistor. Dos dois itens restantes, um explora a Lei de Ohm e outro a relação entre potência, tensão e corrente. Aqui também encontramos alguns problemas na formulação dos itens, havendo casos em que diferentes problemas ocorrem simultaneamente. Apenas duas questões foram consideradas totalmente adequadas segundo os nossos critérios de avaliação. Entre as outras três, uma realiza contextualização pouco acessível a alunos de Ensino Médio (polímeros semicondutores), outra apresenta informações excessivas e de forma confusa. Além disso, dois itens trabalham com detalhismos exagerados que induzem os alunos ao erro, dois trazem números não adaptados que dificultam as operações matemáticas e dois podem ser considerados *multi-step*. Os detalhes podem ser conferidos

Quadro 4 – Problemas na elaboração dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018.

	Características	Itens				
<b>Problemas de Conteúdo e Contexto</b>	Conteúdo não adequado ao currículo escolar	13-83	17-130			
	Contexto não adequado ao aluno de ensino médio	13-83	17-108			
<b>Problemas de Apresentação</b>	Informações (texto, tabela, imagens) excessivas ou confusas	10-70	16-59	17-111		
	Detalhismo exagerado para induzir o erro	10-48	10-70	17-108		
<b>Problemas com a resolução</b>	Operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova	10-48	10-70	11-60	13-83	16-59
	Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)	10-48 17-111	10-70	13-83	16-59	17-108

Fonte: Produzido pela autora.

no quadro 4.

Quando comparamos a construção dos itens das diferentes categorias, é notável a inclusão de fatores dificultantes em alguns de resolução algébrica, algo que não notamos com tanta ênfase nos de resolução conceitual. Esses fatores podem ser conteúdos ou contextos muito avançados para o currículo e os alunos de Ensino Médio, uma apresentação com informações excessivas, ou mesmo a inclusão de detalhismos para induzir ao erro (os quais poderíamos chamar de “pegadinhas” em alguns casos). Assumimos que a inclusão desses fatores é proposital, pois os itens do ENEM passam por criteriosa seleção e revisão antes de comporem as provas. Sendo assim, qual a razão de incluírem no exame questões com tais características, ainda mais em itens de resolução algébrica, os quais já exigem habilidades bem específicas? A nós, isso parece ser fruto de uma ideologia que prega o aumento da complexidade das questões do ENEM para uma melhor seleção dos candidatos a terem acesso ao ensino superior. Fica-nos a dúvida se elas realmente selecionam melhor quando comparadas aos itens conceituais, sem tantos fatores dificultantes. Discorreremos sobre isso no decorrer deste capítulo.

## 5.2 Um olhar sobre os índices quantitativos dos itens

Antes de nos debruçarmos sobre as CACE e DCCE no ENEM, olhemos por um momento para os itens de circuitos elétricos à luz de alguns dos nossos índices estatísticos (apresentados anteriormente em 4.4.2). A tabela 2 traz os valores dos índices de facilidade (IF), discriminação (ID) e concentração (IC) de todos os itens do nosso *corpus* de análise.

Estão incluídos os dados para a amostra geral e para cada um dos três grupos segmentados em função da escolaridade de ambos os pais. Ao final da tabela, trazemos também as médias aritméticas dos diferentes índices para o conjunto total de itens e para cada categoria de análise.

Tabela 2 – Índices de Facilidade, Concentração e Discriminação dos itens sobre circuitos elétricos das provas do ENEM aplicadas entre 2009 a 2018.

Item	Escolaridade de ambos os pais							
	Geral		Ensino Fundam.		Ensino Médio		Ensino Superior	
	IF	ID	IF	IC	IF	IC	IF	IC
09-45	0,171	0,145	0,143	0,049	0,168	0,055	0,292	0,071
10-48	0,226	0,203	0,210	0,048	0,240	0,051	0,301	0,093
10-70	0,124	0,009	0,127	0,033	0,116	0,036	0,109	0,060
11-60	0,164	0,166	0,134	0,027	0,160	0,023	0,327	0,054
11-70	0,343	0,271	0,332	0,112	0,364	0,151	0,409	0,210
12-73	0,172	0,113	0,166	0,025	0,177	0,033	0,205	0,053
13-72	0,134	0,070	0,132	0,063	0,127	0,064	0,159	0,041
13-75	0,075	0,049	0,068	0,161	0,067	0,149	0,126	0,061
13-79	0,195	0,109	0,191	0,082	0,201	0,047	0,207	0,016
13-83	0,122	0,056	0,121	0,051	0,121	0,051	0,125	0,051
14-57	0,262	0,193	0,244	0,010	0,267	0,012	0,346	0,066
15-68	0,434	0,400	0,390	0,104	0,459	0,172	0,638	0,399
16-59	0,258	0,151	0,249	0,043	0,255	0,031	0,299	0,032
16-74	0,270	0,263	0,231	0,024	0,276	0,040	0,450	0,169
17-108	0,307	0,192	0,292	0,034	0,309	0,041	0,368	0,075
17-111	0,453	0,121	0,471	0,181	0,457	0,167	0,376	0,106
17-130	0,108	0,103	0,087	0,038	0,098	0,034	0,218	0,023
18-106	0,203	0,241	0,171	0,092	0,196	0,102	0,355	0,149
18-109	0,427	0,438	0,371	0,172	0,441	0,198	0,636	0,440
<b>Média<sub>total</sub></b>	<b>0,234</b>	<b>0,173</b>	<b>0,217</b>	<b>0,071</b>	<b>0,237</b>	<b>0,077</b>	<b>0,313</b>	<b>0,112</b>
Média <sub>verde</sub>	0,255	0,208	0,234	-	0,263	-	0,357	-
Média <sub>azul</sub>	0,195	0,109	0,191	-	0,201	-	0,207	-
Média <sub>vermelho</sub>	0,228	0,146	0,218	-	0,228	-	0,279	-
Média <sub>laranja</sub>	0,220	0,171	0,198	-	0,218	-	0,313	-

Fonte: Produzida pela autora. Índices elaborados a partir dos microdados das aplicações do ENEM disponibilizados pelo INEP.

Olhando para o índice de facilidade (equivalente à taxa de acerto) da amostra geral, a primeira coisa que se nota é o quão difícil os itens sobre circuitos são para os

alunos concluintes do Ensino Médio. O índice de facilidade médio é igual a 0,234, o qual significa que, em média, apenas 23% dos candidatos concluintes do Ensino Médio respondeu corretamente às questões de circuitos. Trata-se de uma taxa de acerto muito pouco acima do acaso (equivale a 20% no caso do ENEM). Entretanto, apesar de baixo, esse valor não é tão distante do encontrado para os itens de física como um todo. A partir dos dados tratados e apresentados por Nascimento (2019), podemos inferir que a taxa de acerto média para as questões de física girou em torno de 30% em 2009, 2012 e 2015, considerando os alunos concluintes do Ensino Médio. Fazendo o mesmo para os dados de Marcom (2015), inferimos que essa taxa girou em torno de 27% entre 2009 e 2012. Quanto às provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias como um todo, a taxa de acerto média também não difere muito do já apresentado. Em 2010, por exemplo, ela foi igual a 32% (OLIVEIRA, 2014).

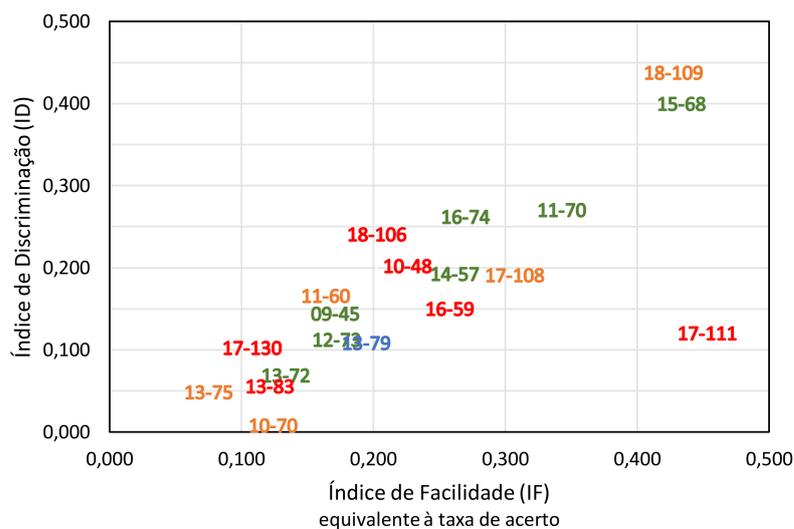
Assim, quando trabalhamos com os itens sobre circuitos elétricos, devemos ter em mente que se tratam de questões, em geral, difíceis para os alunos; um pouco mais, inclusive, do que os itens de física em geral. Olhando para os valores de IF caso a caso, notamos apenas três questões de nível de facilidade médio (sendo que uma delas apresenta comportamento anômalo e será discutida em breve). Das demais, sete são difíceis e nove muito difíceis. Avaliando os valores de IF para os três grupos segmentados segundo a escolaridade de ambos os pais, notamos uma crescente na facilidade a favor dos grupos mais privilegiados socioeconomicamente. Entretanto, mesmo para os alunos com pais de maior escolaridade, quinze dos dezenove itens foram classificados como difíceis ou muito difíceis.

No que tange às nossas categorias de análise, as questões da categoria verde são as que apresentam o maior IF médio para os três grupos de escolaridade dos pais. Ou seja entre os itens de circuitos, os de resolução conceitual que utilizam diagramas são os mais fáceis, em média. Em seguida, das mais fáceis às mais difíceis, temos as categorias vermelha, laranja e azul no caso dos alunos com pais de escolaridade igual a Ensino Fundamental ou Médio. Já no caso daqueles com pais que possuem Ensino Superior, a ordem de facilidade é alterada para laranja, vermelho e azul. Daqui inferimos uma relação estreita entre os itens da categoria laranja e o grupo de maior escolaridade dos pais. A maior oportunidade de acesso a um ensino que treina os alunos para resolução de exercícios de natureza quantitativa, com técnicas de manipulação de equações algébricas, é possivelmente a razão para isso.

Olhemos agora o poder discriminativo dos itens. O gráfico da figura 11 apresenta os valores de ID em função de IF para nosso recorte populacional geral, o qual versa sobre os concluintes do Ensino Médio. É notável que a discriminação aumenta com a facilidade dos itens, sendo máxima quando IF se aproxima de 0,5, conforme esperado pelos nossos referenciais (PASQUALI, 2011). Apenas uma questão (17-111) não segue essa tendência,

trata-se daquela com comportamento anômalo citada a pouco. A justificativa para tal comportamento, nesse caso, está no fato de a alternativa correta coincidir com o que seria um bom distrator, atraindo as respostas de uma grande porcentagem de alunos que não dominam o conteúdo avaliado. Trata-se portanto, de um item mal construído e mal calibrado.

Figura 11 – Índice de discriminação (ID) em função do índice de facilidade (IF) para os itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018.



Fonte: Produzida pela autora. Índices elaborados a partir dos microdados das aplicações do ENEM disponibilizados pelo INEP.

Pelo gráfico notamos um poder discriminativo fraco da maioria dos itens, sejam eles de quaisquer categorias. Entretanto, chama-nos a atenção a presença de algumas questões qualitativas ou qualiquantitativas de resolução conceitual entre aquelas com baixos valores de IF e ID. Isso é contra intuitivo, uma vez que tanto a literatura (NASCIMENTO, 2019; KLEINKE, 2017), quanto as nossas próprias inferências expostas acima apontam uma maior facilidade dos itens conceituais. As questões 09-45, 12-73, 13-72 e 13-79, por exemplo, encontram-se numa região do gráfico com valores de IF e ID menores que os apresentados por várias de nossas questões quantitativas, de resolução algébrica. O que há de especial na construção desses itens? Já adiantando o que veremos na seção 5.4, tais questões contam com a presença de fortes concepções alternativas ou dificuldades comuns sobre circuitos dos estudantes em seus distratores, as quais atraem alunos de todos os grupos socioeconômicos. Embora apresentem um poder discriminativo muito abaixo do considerado ideal pelos psicometristas de nosso referencial, parecem atender à preferência do ENEM, observada a anos, de construir as provas com itens de dificuldade elevada (possivelmente por conta de uma corrente que defende ser esse um bom método para selecionar a pequena porcentagem de alunos a terem acesso ao Ensino Superior). Assim, não por acaso, priorizaremos alguns desses itens conceituais com baixos valores de IF e ID

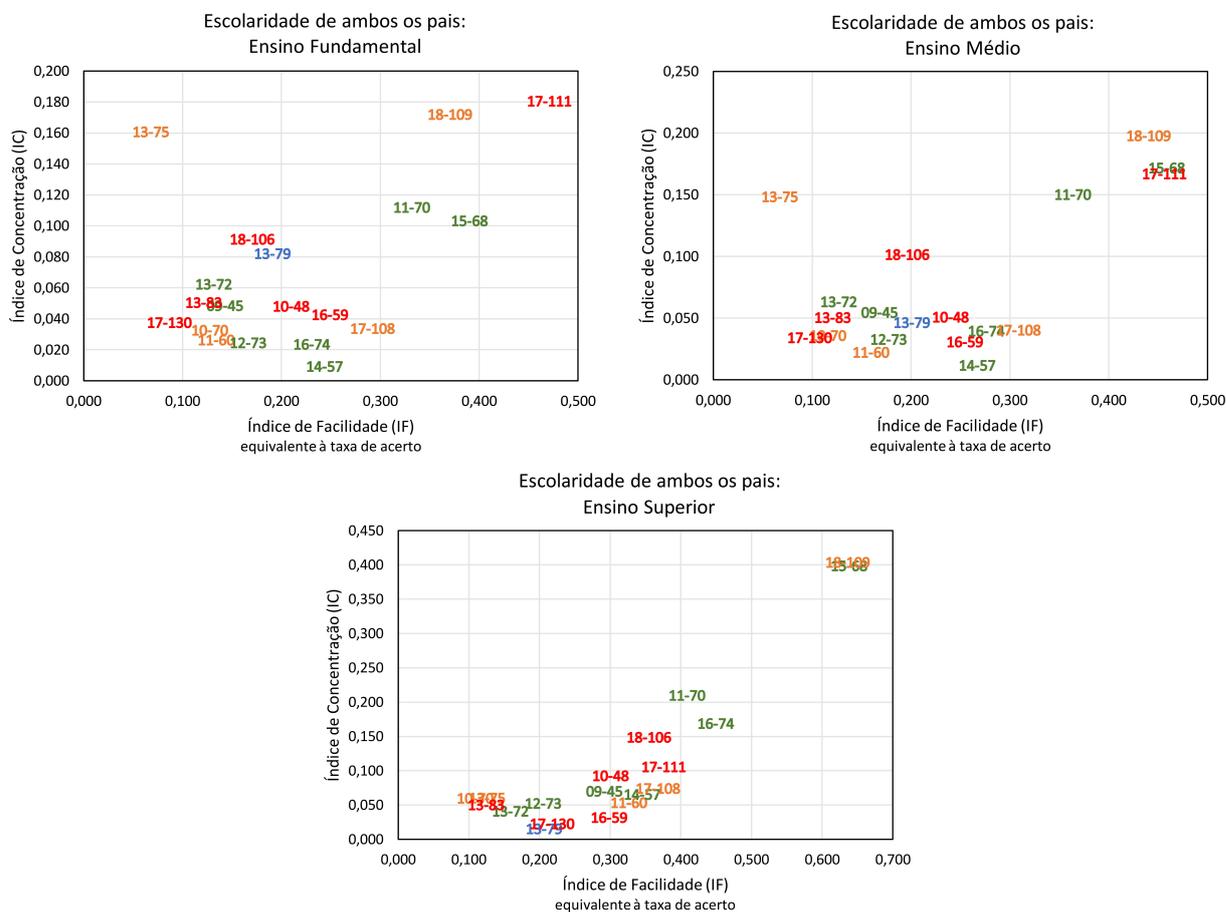
para serem analisados no corpo da dissertação, na seção 5.5.

Por fim, encerrando esta análise pautada nos índices estatísticos, discorreremos brevemente sobre a nossa tentativa de utilizar o índice de concentração. A princípio, pretendíamos aplicar o IC para identificarmos os itens nos quais os alunos aparentavam utilizar um ou dois modelos principais para sua resolução, sendo um desses modelos, ao menos, associado a uma alternativa errônea, um forte indicativo da presença de CACE. Entretanto, como podemos constatar na tabela 2 e nos gráficos de IC em função de IF na figura 12, isso não foi possível. Tomando por referência a escala de concentração fornecida pelo nosso referencial (BAO; REDISH, 2001), todos os itens apresentam baixa concentração de respostas para os alunos com ambos os pais de escolaridade igual ao Ensino Fundamental ou Médio. Isso é, a distribuição das respostas em todos os itens é muito próxima à aleatória. O mesmo só não ocorre para o grupo com pais que possuem Ensino Superior por conta de haver três itens com concentração de nível moderado nesse caso (indicando a existência de dois modelos principais). Com exceção deles, nas demais questões o IC indica uma distribuição das respostas próxima à aleatória também. Entretanto, o aumento do IC nos três casos citados só ocorre por conta da taxa de acerto elevada desses itens, não significando necessariamente que a distribuição das respostas nos distratores seja muito diferente da encontrada nas demais questões.

Os gráficos da figura 12 até nos revelam uma alta concentração de respostas em alguns itens de baixo IF, como o 13-75, e nos foi útil num momento inicial. Entretanto, encontramos uma riqueza de informações muito grande analisando diretamente a distribuição das respostas nas alternativas item a item que o IC não nos revelava. Assim, acabamos por descartar o uso do IC na identificação dos itens com bons distratores e chance de possuírem CACE (ou DCCE), dando lugar a uma abordagem quali-quantitativa que analisava a distribuição das respostas nas alternativas caso a caso. Apesar da mudança de planos, mantivemos os valores de IC e os gráficos da figura 12 na dissertação para caso venha a ser útil a outros pesquisadores.

Bao e Redish (2001) alertam que esse método planejado para ser utilizado inicialmente e descartado é bastante útil quando a população estudada apresenta apenas poucos e robustos modelos que orientam as respostas, e só é adequado se o teste for cuidadosamente desenhado a partir de um bom entendimento desses modelos. Esse não parece ser o caso dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM. Em todos eles aparenta haver algum grau de distribuição das respostas ao aleatório, o que compromete a eficiência do índice de concentração, cuja sensibilidade é bastante elevada. Também, a construção dos itens nem sempre pautada num entendimento cuidadoso dos modelos alternativos utilizados pelos estudantes para resolução dos mesmos compromete a eficácia do método.

Figura 12 – Índice de concentração (IC) em função do índice de facilidade (IF) para os itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018 e grupos com diferentes escolaridade de ambos os pais.



Fonte: Produzida pela autora. Índices elaborados a partir dos microdados das aplicações do ENEM disponibilizados pelo INEP.

### 5.3 CACE e DCCE contempladas nos itens do ENEM

Um dos nossos objetivos de pesquisa visa analisar se os itens sobre circuitos elétricos do ENEM podem ser utilizados para a identificação de concepções alternativas e dificuldades comuns dos estudantes, tal como é feito nos inventários. Para isso, é fundamental que investiguemos se os distratores desses itens são construídos contemplando alternativas de respostas induzidas por CACE e DCCE. Isso porque, se há CACE ou DCCE entre os distratores, então a alta taxa de assinalamento de uma alternativa específica indica que a CACE ou DCCE ali contemplada é muito pertinente aos alunos concluintes do Ensino Médio. Logo, indica uma dificuldade perante o conteúdo de circuitos elétricos não sanada durante o processo de aprendizagem escolar, da mesma forma como fazem os inventários.

Sendo assim, nesta seção, apresentaremos os resultados da nossa investigação acerca das CACE e DCCE contempladas nos itens de circuitos elétricos do ENEM entre 2009 e 2018. Tal como informamos na seção 4.4.3, realizamos uma busca minuciosa nas fichas de todos os itens, as quais continham resoluções por diferentes caminhos, procurando por raciocínios induzidos pelas concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos do quadro 2. Reforçamos aqui a subjetividade desta etapa da investigação, dada sua natureza qualitativa, de modo que outros pesquisadores, com outras visões, podem considerar razões distintas das nossas induzindo os alunos a assinalarem determinados distratores dos itens. Entretanto, como já dissermos anteriormente, preocupamo-nos em basear esta análise numa sólida bibliografia de apoio, com concepções alternativas e dificuldades comuns amplamente discutidas na literatura e detectadas em alunos de várias partes do mundo, e que, portanto, há grande possibilidade de também estarem presentes nos candidatos do ENEM.

Ainda, embora tenhamos dito a pouco desejar “investigar se os distratores dos itens são construídos contemplando alternativas de respostas induzidas por CACE e DCCE”, devemos lembrar que nada nos garante a consciências dos elaboradores dos itens do ENEM a respeito das CACE e DCCE identificadas por nós ao construírem as questões. Tratam-se de colaboradores anônimos, os quais não temos acesso para investigar essa questão. Entretanto, por recomendação do INEP, os distratores devem ser plausíveis, sendo que a “utilização de erros comuns observados em situação de ensino-aprendizagem costuma aumentar a plausibilidade dos distratores” (BRASIL, 2010, p. 11). Dentre os erros mais comuns configuram-se as concepções alternativas e dificuldades comuns, apontadas por nossos referenciais. Ou seja, mesmo que nem sempre os elaboradores tenham conhecimentos direto de referenciais sobre CACE ao construir os itens, elas podem aparecer ao buscarem incluir os “erros comuns observados em situação de ensino-aprendizagem” na composição das alternativas de resposta.

De qualquer modo, tendo o elaborador consciência ou não da inclusão das CACE ou DCCE na elaboração dos itens, se algumas delas induz resposta a algum distrator, então consideramos que ela é abordada, dado que os alunos podem estar utilizando-as para responder à questão. O resultado da nossa busca pode ser conferido no quadro 5, no qual tanto os títulos das CACE e DCCE quanto os itens utilizam o recurso de hiperlink na versão digital deste documento.

Apenas dois itens do *corpus* de análise não aparecem no quadro 5 (13-83 e 17-108), todos os demais abordam alguma concepção alternativa ou dificuldade comuns sobre circuitos do nosso referencial em seus distratores. Entretanto, muitos deles apresentam exclusivamente a DCCE “[aplicação incorreta de equações](#)”, focam-se em avaliar as habilidades dos alunos em resoluções algorítmicas – aplicação de equações –, sem colocar em foco nenhum conteúdo conceitual abordado em nosso referencial simultaneamente. Se

Quadro 5 – CACE e DCCE exploradas pelos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018. São consideradas CACE e DCCE que induzem resposta em qualquer um dos distratores dos itens, independente de serem os mais assinalados ou não.

CACE ou DCCE	Itens				
Confusão de conceitos e termos	15-68	17-111	18-109		
Eletricidade (ou corrente) como um fluido	13-79				
Circuito aberto aceitável	11-70	12-73	15-68	18-106	
Curto-circuito aceitável	12-73	15-68			
Modelo unipolar	11-70	12-73			
Modelo de correntes elétricas em choque	13-79				
Bateria como fonte de corrente constante	10-70	13-79	14-57		
Corrente consumida	09-45	16-74	13-72		
Corrente num fio interrompido	12-73	18-106			
Corrente divide-se igualmente num nó	17-111				
Corrente elétrica muito veloz	13-79				
Campo elétrico como consequência da corrente	13-79				
Resistência não inerente ao resistor	10-70				
Sobreposição de resistores	16-59	18-106			
Diagramas diferentes implicam em conexões elétricas diferentes	16-59 <sup>a</sup>				
Associação de resistores baseada na topologia	09-45	16-74 <sup>a</sup>	18-106		
Contatos da lâmpada incorretos	11-70				
Aplicação incorreta de equações	10-70	11-60	13-75	17-130	18-109
Resolução algorítmica sem respaldo conceitual	10-48	14-57			
Fusível com sobrecarga não rompe o circuito	10-48				
Voltímetro e amperímetro não afetam o circuito	13-72				

Fonte: Produzido pela autora.

<sup>a</sup> As CACE ou DCCE associadas a estes itens não são exatamente as apontadas no quadro, mas de natureza semelhante, não abordadas em nosso referencial. Para mais detalhes, consultar os itens 16-59 e 16-74.

desconsiderarmos essa DCCE por um momento, teremos que 14 dos 19 itens abordam raciocínios induzidos por CACE ou DCCE de natureza conceitual. Isso significa que sim, é possível utilizar tais itens do ENEM para avaliar as concepções alternativas e dificuldades dos estudantes sobre circuitos, embora isso pareça depender da categoria à qual o item pertence.

Se olharmos para o quadro 5 como um todo, percebemos uma predominância dos itens de resolução conceitual abordando concepções alternativas e dificuldades comuns em seus distratores. De fato, todos os itens dessa natureza trouxeram alguma alternativa

induzida por CACE ou DCCE. Eles aparecem com frequência investigando CACE e DCCE a respeito do funcionamento básico dos circuitos, noções que, apesar de fundamentais, são uma grande barreira para o entendimento do conteúdo. Tratam-se de concepções alternativas e dificuldades amplamente conhecidas e enraizadas nos sujeitos, cuja presença nos distratores muito provavelmente atrairá as respostas de muitos alunos, mesmo aqueles que tiveram acesso à instrução científica. Os itens que utilizam diagramas de circuitos (categoria verde) exploram frequentemente as CACE e DCCE a respeito de [circuito aberto e fechado](#), [curto-circuito](#), [corrente consumida](#), [corrente fluindo por um fio interrompido](#), [modelo unipolar](#), [associação de resistores baseada no seu posicionamento no diagrama](#) (e não na ligação elétrica), entre outros. Já o item conceitual sem diagrama de circuitos (o único da categoria azul), sozinho conseguiu explorar simultaneamente mais CACE que qualquer outra questão, dentre elas algumas de natureza conceitual que aparecem exclusivamente neste caso – como o [modelo de correntes em choque](#) e a que diz ser a [corrente elétrica muito veloz](#).

Os itens de resolução algébrica aparecem abordando uma quantidade menor de CACE e DCCE, havendo uma grande concentração deles investigando a [aplicação incorreta de equações](#). As questões que utilizam diagramas (categoria vermelha) ainda contemplam várias concepções alternativas e dificuldades comuns muito importantes, em especial aquelas referentes à associação de resistores ([sobreposição de resistores](#), [relação entre os diagramas e as conexões elétricas](#) e a [associação de resistores baseada no seu posicionamento no diagrama](#)). Os itens algébricos sem diagramas (categoria laranja), entretanto, versam quase exclusivamente sobre a DCCE de [aplicação incorreta de equações](#), indicando uma quase ausência de investigação conceitual nesses casos.

Sendo assim, os itens de resolução conceitual (categorias verde e azul) demonstram muito potencial para avaliar as concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos dos alunos concluintes do Ensino Médio no ENEM. De fato, eles se aproximam muito do formato encontrado nos nossos referenciais de CACE ([GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994](#); [ENGELHARDT; BEICHNER, 2004](#); [MCDERMOTT; SHAFFER, 1992](#)), embora esses últimos tenham uma construção mais simplificada. Isso nos leva a concordar com esses autores, os quais já diziam não haver necessidade de itens extremamente complexos para revelar as dificuldades dos alunos. Os problemas conceituais se manifestam mesmo diante de circuitos simples, uma vez que CACE e DCCE muito enraizadas nos estudantes dizem respeito a conceitos básicos e fundamentais que sustentam a aprendizagem de circuitos elétricos.

Já os itens de resolução algébrica (categorias vermelha e laranja) também demonstram potencial para avaliar CACE e DCCE, mas com algumas ressalvas. Quando utilizam diagramas (categoria vermelha), são capazes de abordar concepções alternativas e dificuldades diversas, algumas encontradas exclusivamente nesses casos. Se bem construídos,

adequados aos alunos do Ensino Médio e não envolverem fatores dificultantes em nada relacionados com o conteúdo avaliado apenas para induzir o aluno ao erro (tal como uma apresentação confusa, excessiva ou detalhista, discutida na seção 5.1), itens desse tipo podem ter muito potencial para investigar as CACE e DCCE dos alunos (como é o caso da questão 18-106). Já os itens sem diagramas (categoria *laranja*) não demonstraram muito potencial para esse fim. Na maioria das vezes eles investigaram apenas as habilidades algébricas dos estudantes em utilizar as equações que descrevem circuitos, deixando de lado a avaliação dos conceitos e princípios que regem os mesmos. Entretanto, o fato da construção dos itens dessas categorias envolver, na maioria dos casos, fatores dificultantes desnecessários<sup>1</sup> é um empecilho para utilizá-los na avaliação das CACE e DCCE dos alunos. Esses fatores levam o aluno ao erro não por um problema de aprendizagem do conteúdo, mas por desatenção na leitura (lembrando que dispõem cerca de três minutos apenas, em média, para resolver cada questão), incompreensão do contexto, inadequabilidade do conteúdo, erros de conta, entre outros. Ainda, nos casos de resolução *multi-step* é difícil rastrear qual a principal dificuldade que levou os alunos à resposta incorreta, pois pequenos erros em qualquer etapa da resolução podem levar a muitos resultados diferentes.

Quanto à quantidade de CACE e DCCE contempladas nos itens do ENEM, das 33 concepções alternativas e dificuldades comuns reunidas no quadro 2, 21 foram encontradas induzindo a distratores. Dentre elas, as que aparecem com maior frequência são “*aplicação incorreta de equações*” e “*circuito aberto aceitável*”. O fato de a dificuldade mais explorada nos itens do ENEM, dentre todas as CACE e DCCE consideradas aqui, ser aquela DCCE a respeito da aplicação incorreta de alguma equação que governa circuitos é emblemático, nos revelando muito sobre o enfoque dado a esse conteúdo por parte significativa dos itens. Em sua maioria associada a itens da categoria *laranja*, os quais, por sua vez, aparecem pouco associados a outras CACE e DCCE, esse fato nos indica uma tendência do ENEM em investigar a capacidade do aluno em aplicar e manipular equações algébricas. Entretanto, saber usar tais equações não significa necessariamente saber interpretar as relações quantitativas entre as variáveis, ou mesmo compreender o modelo conceitual científico para explicar o comportamento de circuitos elétricos simples (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992). É possível resolver tais itens apenas aplicando equações mecanicamente. A insistência nesse tipo de questão nos parece reflexo do ensino de Física conteudista e focados em algoritmos que costumamos encontrar em escolas, em especial naquelas voltadas à preparação para vestibulares. Sendo assim, insistir nesse tipo de item no ENEM é privilegiar aqueles poucos alunos que tiveram acesso a esse treinamento, os quais, como indicam os resultados da seção anterior, são os concluintes originados de família com alto capital econômico e cultural. Em suma, os itens da categoria *laranja* pouco nos revelam a respeito das dificuldades conceituais dos alunos sobre circuitos elétricos e privilegiam muito os candidatos de melhores condições socioeconômicas para terem acesso

<sup>1</sup> Como visto na seção 5.1

ao ensino superior, atuando apenas no sentido de reforçar a desigualdade social na seleção dos candidatos.

Outras CACE e DCCE bastante abordadas foram “[confusão de conceitos e termos](#)”, “[bateria como fonte de corrente constante](#)”, “[corrente consumida](#)” e “[associação de resistores baseada na topologia](#)”. As três primeiras, dizem respeito a DCCE (no caso da primeira) e CACE (no caso da segunda e terceira) bastante fundamentais do nosso quadro teórico e que, embora detectadas de forma mais explícita em apenas três itens cada uma, provavelmente são contempladas indiretamente em vários outros do nosso *corpus* de análise. Outra ideia dos alunos amplamente difundidas e que pode estar por trás da maioria dos itens (especialmente os com diagramas), embora não a tenhamos detectado de maneira mais explícita com tanta frequência, é a CACE sobre o “[modelo sequencial](#)”.

## 5.4 Os distratores mais assinalados pelos alunos

Iniciemos esta seção recordando que os itens do ENEM aqui analisados dispunham apenas cerca de três minutos para resolução de cada um, respondidos num contexto muito exigente psicologicamente e fisicamente. Ainda, lembremos que em nenhum momento foram realizadas entrevistas com os participantes do ENEM, ou mesmo acessados seus cadernos de resolução das provas. Assim, por esses motivos, os resultados expostos a seguir podem não expressar um retrato fiel das dificuldades apresentadas pelos alunos frente ao conteúdo de circuitos elétricos. Entretanto, eles são fruto de uma pesquisa minuciosa pautada em sólidos referenciais de concepções alternativas e dificuldades comuns em circuitos elétricos e nas respostas dadas aos itens por milhões de candidatos do ENEM concluintes do Ensino Médio. Milhares de alunos serem atraídos por um mesmo distrator indica a existência ali de algum raciocínio comum a muitos deles, e os referenciais em CACE e DCCE nos fornecem concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos amplamente conhecidas e detectadas em jovens por todo o mundo. Sendo a maioria dos distratores dos itens sobre circuitos do ENEM induzida por CACE ou DCCE, como vimos na seção anterior, então podemos supor que, em muitos casos, os alunos estão sendo atraídos por determinados distratores porque possuem as concepções alternativas e dificuldades comuns ali contidas.

Lembradas nossas limitações e reforçadas nossas bases, nesta seção apresentaremos as principais dificuldades sobre circuitos elétricos dos alunos concluintes do Ensino Médio, sugeridas pelas respostas dadas aos itens desse conteúdo presentes nas provas do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018. Conforme descrevemos no capítulo de metodologia (4.4.3), identificamos quais eram os distratores principais de cada item para cada grupo de candidatos concluintes segmentado segundo a escolaridade de ambos os pais. Então, buscamos os raciocínios principais que induziam àquelas respostas. Num primeiro momento

traremos as CACE e DCCE identificadas induzindo resposta a esses distratores. Posteriormente, discorreremos brevemente sobre alguns outros raciocínios intuitivos observados induzindo as respostas dos alunos de forma recorrente.

#### 5.4.1 CACE e DCCE atrativas aos alunos

O quadro 6 traz os itens nos quais foram identificadas CACE ou DCCE induzindo resposta aos seus distratores mais assinalados (aqui chamados também de distratores principais), em função da escolaridade de ambos os pais dos candidatos. Havia itens nos quais duas ou mais concepções alternativas ou dificuldades comuns induziam resposta simultaneamente a um mesmo distrator, em geral de forma a se complementarem. Nesses casos, definimos a CACE (ou DCCE) predominante como primária e as demais como CACE (ou DCCE) secundárias, sendo essas últimas identificadas pelo símbolo \* no quadro. Ou seja, o símbolo \* indica que determinada concepção alternativa ou dificuldade comum foi contemplada nos distratores principais de um item, mas não foi o fator predominante que induziu resposta a nenhum deles.

É válida aqui uma reflexão: a quantidade de CACE e DCCE abordada por um mesmo item não o torna melhor ou pior que outros. Em outras palavras, um item abordar duas ou três concepções alternativas e/ou dificuldades comuns sobre circuitos em seus distratores principais não significa que ele é melhor ao avaliar o conhecimento dos alunos quando comparado a itens que exploram apenas uma CACE ou DCCE. Não nos importa a quantidade, e sim como é feita a abordagem das CACE e DCCE pelas questões. Muitas vezes, investigar apenas uma concepção alternativa ou dificuldade comum num item bem construído faz com que o construto seja único, tornando o processo de compreender o erro cometido pelo aluno mais confiável. Assim, por exemplo, não é porque o item 10-70 apresenta três DCCE e CACE distintas em seus distratores que ele avalia aspectos do conteúdo de circuitos elétricos melhor que o item 13-72, o qual apresenta apenas duas. Pelo contrário, nesse caso específico, 13-72 é uma questão muito bem construída, com construto único e distratores fortemente atrelados às CACE e DCCE investigadas por ele; enquanto 10-70 flerta com diversas concepções alternativas e dificuldades comuns, mas, em partes por conta de seus problemas de construção (expostos no quadro 4), não nos permite realizar inferências profundas a respeito das dificuldades dos alunos. Alguns exemplos de itens com boa abordagem de CACE e/ou DCCE serão discutidos individualmente na próxima seção. Por hora, vamos nos deter numa leitura mais geral sobre o quadro 6.

Em apenas dois itens (13-83 e 17-108) não identificamos nenhuma CACE ou DCCE induzindo resposta aos seus distratores mais assinalados, todos os demais são citados no quadro 6. Ainda, das 33 CACE e DCCE do quadro 2, 20 aparecem induzindo resposta aos distratores principais dos itens sobre circuitos do ENEM<sup>2</sup>. As distribuições

<sup>2</sup> Para identificar as concepções não abordadas basta comparar os quadros 1, 5 e 6.

Quadro 6 – CACE e DCCE nos distratores mais assinalados dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018, em função da escolaridade de ambos os pais dos candidatos. O símbolo \* indica os itens cujos distratores principais exploram as determinadas CACE ou DCCE em segundo plano.

CACE ou DCCE	Itens com CACE ou DCCE nos distratores principais					
	Ensino Fundam.		Ensino Médio		Ensino Superior	
Confusão de conceitos e termos	15-68*	17-111*	15-68*	17-111*	15-68*	17-111*
Eletricidade (ou corrente) como um fluido	13-79		13-79		13-79	
Circuito aberto aceitável	11-70	12-73	11-70	12-73	11-70	15-68
Curto-circuito aceitável	12-73		12-73		12-73	
Modelo unipolar	12-73*		12-73*			
Modelo de correntes elétricas em choque	13-79		13-79		13-79	
Bateria como fonte de corrente constante	10-70*	14-57	10-70*	14-57	10-70*	
Corrente consumida	09-45*	16-74*	09-45*	16-74*	13-72*	
Corrente num fio interrompido	12-73*	18-106	12-73*	18-106	18-106	
Corrente divide-se igualmente num nó	17-111		17-111		17-111	
Corrente elétrica muito veloz	13-79		13-79		13-79	
Resistência não inerente ao resistor	10-70		10-70		10-70	
Sobreposição de resistores	16-59*		16-59*		16-59*	
Diagramas diferentes implicam em conexões elétricas diferentes	16-59 <sup>a</sup>		16-59 <sup>a</sup>		16-59 <sup>a</sup>	
Associação de resistores baseada na topologia	09-45	16-74 <sup>a</sup>	09-45	16-74 <sup>a</sup>	09-45	16-74 <sup>a</sup>
Contatos da lâmpada incorretos	11-70		11-70		11-70	
Aplicação incorreta de equações	10-70	11-60	10-70	11-60	10-70	11-60
Resolução algorítmica sem respaldo conceitual	10-48*	14-57*	10-48*	14-57	10-48*	14-57
Fusível com sobrecarga não rompe o circuito	10-48		10-48		10-48	
Voltímetro e amperímetro não afetam o circuito	13-72		13-72		13-72	

Fonte: Produzido pela autora.

<sup>a</sup> As CACE ou DCCE associadas a estes itens não são exatamente as apontadas no quadro, mas de natureza semelhante, não abordadas em nosso referencial.

de respostas nas alternativas sugerem que algumas concepções e dificuldades são mais pertinentes para alunos de grupos específicos de escolaridade dos pais, enquanto outras aparecem atreladas a alunos de todos os três grupos.

Os alunos cujos pais cursaram até o Ensino Fundamental ou Médio se mostraram mais propensos a serem atraídos por distratores induzidos por concepções alternativas bastante básicas sobre o conteúdo de circuitos elétricos, como o **modelo unipolar**, a ideia de que a **bateria é uma fonte de corrente constante**, ou que a **corrente elétrica é consumida ao atravessar os elementos do circuito**. Outras CACE e DCCE a respeito dos princípios fundamentais de circuitos, apesar de aparecem em determinados casos para todos os grupos, também mostraram uma maior atratividade para os alunos com pais de menor escolaridade. É o caso da **confusão de conceitos e termos**, do **modelo de correntes elétricas em choque**<sup>3</sup>, da **dificuldade do aluno em compreender a necessidade de haver um circuito fechado para a circulação de corrente**, ou da crença que a **corrente passa por um fio interrompido**.

Tratam-se de concepções alternativas e dificuldades muito comuns, principalmente entre os alunos mais jovens ou entre os que não tiveram acesso à instrução científica sobre circuitos (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994; DRIVER et al., 1994). Observar tais CACE e DCCE em alunos concluintes do Ensino Médio nos permite inferir que há uma falha muito grave no ensino e na aprendizagem desse conteúdo para os grupos com pais de menor escolaridade, isso é, para os alunos de condições socioeconômicas menos favorecidas. Esses grupos terminam o Ensino Médio sem compreenderem os princípios básicos e fundamentais sobre circuitos elétricos.

Uma CACE e outra DCCE chamam a atenção por se mostrarem um pouco mais atreladas aos alunos cujos pais cursaram Ensino Superior, em específico. A DCCE é a já discutida **aplicação incorreta de equações**. A maior tendência e preparação desse grupo em resolver os itens pelo viés quantitativo justifica essa observação, enquanto os alunos de condições socioeconômicas menos privilegiadas tendem a uma resolução intuitiva, menos pautada em equações. O erro mais comum dessa natureza observado foi a desconsideração do termo quadrático na equação  $P = \frac{U^2}{R}$ , sendo  $P$  a potência,  $U$  a tensão e  $R$  a resistência. Já a CACE diz respeito à ideia de que a **corrente elétrica é muito veloz**, que apareceu em oposição a outras do item 13-79. Deixaremos para discuti-la na análise dessa questão, na próxima seção, por fazer mais sentido abordá-la em seu contexto original.

A partir de agora, detenhamo-nos sobre as concepções alternativas e dificuldades comuns atrativas a todos os três grupos. Embora nem sempre na mesma intensidade<sup>4</sup>, as três amostras segmentadas em função da escolaridade dos pais foram atraídas por

<sup>3</sup> Apesar do modelo de correntes elétricas em choque ter atraído respostas de candidatos dos diferentes grupos socioeconômicos, a distribuição das respostas no item 13-79 permite observar uma preferência significativa em utilizar esse modelo por parte dos alunos com pais de menor escolaridade.

<sup>4</sup> Alunos cujos pais cursaram Ensino Superior, em geral, tiveram maior taxa de acerto e, conseqüentemente, utilizaram menos CACE e DCCE.

CACE e DCCE conceituais, sobre associação de resistores, leitura de diagramas, resolução algorítmica e dispositivos eletrônicos associados a circuitos. Discorramos brevemente sobre elas.

Reconhecer um **curto-circuito** ou compreender sua inadequabilidade para o funcionamento de um circuito elétrico foi uma grande dificuldade expressa por alunos de todos os grupos. Em geral, esquemas envolvendo curtos eram considerados adequados e factíveis, expondo uma falha grave no ensino e na aprendizagem desse conteúdo no Ensino Médio se pensarmos nos perigos que um curto-circuito pode representar na vida cotidiana dos sujeitos.

Sobre aspectos mais gerais, observamos uma tendência em **dividir a corrente igualmente num nó**, independente dos elementos eletrônicos associados a cada segmento do circuito – uma consequência direta do **modelo sequencial**. Ainda, o item 11-70 nos revelou uma dificuldade dos alunos em reconhecer os **contatos de uma lâmpada** para que se forme um circuito completo.

Alguns alunos, independente do grupo socioeconômico, também tiveram problemas para assumir a resistência como uma propriedade inerente ao resistor (DCCE **resistência não inerente ao resistor**). No que diz respeito à associação de resistores e interpretação de diagramas, constatamos uma série de dificuldades. Uma porcentagem significativa de estudantes assumiu não haver diferença na ligação entre resistores se o diagrama conta com os mesmos elementos, raciocínios decorrente da **sobreposição de resistores** e de mesma natureza que a DCCE sobre **diagramas diferentes implicarem conexões elétricas diferentes**. Ainda, uma dificuldade comum muito atrativa aos alunos foi a ideia de **associar resistores com base na sua disposição no diagrama**, e não em suas conexões elétricas ali representadas.

Os dispositivos eletrônicos associados aos circuitos básicos foram outro grande problema aos alunos. Em geral, eles mostraram não compreender a utilização de **fusíveis, voltímetros e amperímetros**. Não admitem que um fusível deve suportar uma corrente maior que a máxima ou se rompe, assim como não compreendem como medir a voltagem e a corrente num circuito.

Por último, falemos da **resolução algorítmica sem respaldo conceitual**. De alguns itens pudemos inferir uma tendência em resolver as questões por meio da aplicação cega de equações, sem necessariamente haver uma reflexão conceitual sobre o funcionamento do circuito em questão. Essa dificuldade dos alunos nos indica uma lacuna na aprendizagem dos conceitos de circuitos, de forma que, na ausência de um modelo (seja algum alternativo ou o científico) para interpretar os circuitos explorados nos itens, o aluno parte para a aplicação cega e mecânica de equações decoradas.

Sendo assim, constatamos que as concepções alternativas e dificuldades comuns

sobre circuitos atraem a resposta de alunos de todos os estratos sociais, denunciando uma deficiência no ensino e na aprendizagem desse conteúdo na educação básica como um todo. Entretanto, alunos com pais de menor escolaridade apresentam mais dificuldades que os demais em conceitos bastante fundamentais, indicando uma deficiência ainda maior nesses casos. Mesmo assim, CACE e DCCE a respeito de curto-circuito, leitura de diagramas, associação de resistores e dispositivos eletrônicos ligados a circuitos foram identificadas para todos os grupos segmentados em função da escolaridade dos pais.

### 5.4.2 Outros raciocínios atrativos aos alunos

Além das CACE e DCCE, observamos outras razões induzindo resposta aos distratores principais de forma recorrente. Algumas delas que se mostraram mais pertinentes estão listados no quadro 7, com identificação dos itens nos quais foram observadas.

Quadro 7 – Erros não decorrentes de CACE ou DCCE nos distratores principais dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018, em função da escolaridade de ambos os pais dos candidatos.

Erros	Itens com erros não CACE ou DCCE nos distratores principais					
	Ensino Fundam.		Ensino Médio		Ensino Superior	
Divisão por inteiro	10-48 17-130	11-60	10-48 17-130	11-60	10-48 17-130	11-60
Cópia de algum valor apresentado em destaque	10-70 17-130 18-109	17-111 18-106	10-70 17-130 18-109	17-111 18-106	10-70 18-106	17-111
Padrão entre as alternativas	11-70	13-72	11-70	13-72	11-70 17-130	13-72
Erro decorrente da dificuldade de compreender a apresentação do item	10-70	17-108	10-70		10-70	17-108

Fonte: Produzido pela autora.

Dois raciocínios com o qual nos deparamos diversas vezes em itens quantitativos ou qualiquantitativos de resolução algorítmica foram a divisão de dois números inteiros quaisquer do enunciado e a cópia de algum valor apresentado em destaque no enunciado. Possivelmente por não dominar o conteúdo avaliado na questão, o aluno recorre a essas estratégias intuitivas buscando chegar a algum valor presente entre as alternativas de resposta.

Outro raciocínio intuitivo muito comum em itens de múltipla escolha para quando o aluno não domina o conteúdo é a propensão a uma resposta a partir de padrões que se repetem entre as alternativas da questão. Se um padrão aparece repetidas vezes, então o aluno assume ser provável que ele esteja presente na resposta correta.

Por fim, encontramos alguns distratores principais induzidos pela construção do próprio item, sem necessariamente ter relação com o conteúdo avaliado ou mesmo os raciocínios intuitivos citados. Trata-se do erro induzido pela má construção do item, como a confusão decorrente do excesso de informações apresentadas ou a presença de detalhismos exagerados para induzir ao erro (“pegadinhas”).

## 5.5 Itens do ENEM, CACE e DCCE: seis exemplos marcantes

Nesta seção, traremos a análise de seis itens marcantes que compõem nosso *corpus*, exemplificando como chegamos aos resultados gerais expressos ao longo de todo o capítulo. Os dados referentes aos quatorze itens restantes virão nos apêndices deste trabalho, lembrando que o(a) leitor(a) sempre poderá acessá-los facilmente na versão digital deste documento através dos hiperlinks nos códigos de referência de cada questão. Esses quatorze itens também foram analisados tal como os apresentados nesta seção e encontram-se arquivados em documentos manuscritos com a autora.

Escolhemos analisar aqui seis itens com fortes concepções alternativas e/ou dificuldades comuns sobre circuitos entre seus distratores principais, havendo pelo menos um exemplar de cada uma das nossas categorias de análise. Das categorias de resolução conceitual escolhemos as questões 09-45, 13-72, 13-79 e 14-57, todas com baixa taxa de acerto, consideradas difíceis ou muito difíceis e com discriminação fraca. Ao contrário do que diz o senso comum, os índices estatísticos desses itens nos revelam que não é porque uma questão aborda conceitos básicos e exige apenas resolução conceitual que ela é fácil. Pelo contrário, assim como já foi observado por Driver et al. (1994) e McDermott e Shaffer (1992), itens como esses, se bem construídos, podem se mostrar com uma dificuldade muito elevada para os alunos, permitindo-nos a identificação de graves problemas de aprendizagem.

Ao olharmos individualmente para cada um desses quatro itens, notamos que a razão para sua alta dificuldade é a presença de fortes concepções alternativas e/ou dificuldades comuns sobre circuitos nos distratores. Isso faz com que seus índices estatísticos sejam semelhantes àqueles geralmente observados em questões de resolução algébrica repletas de fatores que induzem o aluno ao erro, as quais não ganham muitas informações a respeito do domínio dos estudantes sobre o conteúdo avaliado. Assim, como observamos anteriormente, questões conceituais como as selecionadas ou as algébricas extremamente complexas possuem poder discriminativo semelhante, de modo que ambas se enquadram na tendência do ENEM de elaborar as provas com itens propositalmente complexos para “selecionar melhor” os alunos a terem acesso ao Ensino Superior (mesmo que isso vá contra a recomendação de psicometristas (PASQUALI, 2011)). Entretanto, as questões conceituais com fortes concepções alternativas e/ou dificuldades comuns sobre

circuitos mostraram-se mais adequadas para selecionar alunos com maior domínio sobre o conteúdo (ao mesmo tempo que nos revelam dificuldades dos estudantes, permitindo uma avaliação de seu conhecimento e a possibilidade de retroalimentar o ensino básico com as informações obtidas, tal como sugerem [Marcom \(2019\)](#) e [Spazziani \(2019\)](#)). Já as questões algébricas propositalmente complexas privilegiam notoriamente os alunos com melhores condições socioeconômicas, grupo com maior acesso a treinamentos que preparam os estudantes para resolução mecânica de questões dessa natureza, sem necessariamente terem domínio do conteúdo.

Ainda, para completar os seis itens analisados nesta seção, escolhemos das categorias de resolução algébrica as questões 13-75 e 18-106. Tratam-se de um dos poucos itens dessas categorias que consideramos não possuem graves problemas de elaboração, ao mesmo tempo que abordam CACE e/ou DCCE. A questão 13-75, em particular, é a que mais se destaca nos gráficos da figura 12 por possuir baixa taxa de acerto e alta concentração de respostas entre as alternativas, indicando a existência de um modelo alternativo ou uma dificuldade comum em circuitos forte induzindo as respostas dos alunos.

Reforçamos aqui a subjetividade destas análises que, embora pautadas em dados estatísticos, possuem também uma natureza qualitativa, principalmente no que diz respeito aos motivos que supomos induzir os alunos à escolha de determinados distratores. Nosso olhar para realizá-las tem por base os sólidos referenciais de concepções alternativas em circuitos elétricos que adotamos, mas outros pesquisadores ou professores, de outras perspectivas, podem realizar interpretações diferentes.

Para agilizar nossa análise, definamos aqui como nos referiremos às variáveis envolvidas na interpretação de circuitos elétricos: diferença de potencial ou tensão ( $U$ ), corrente elétrica ( $i$ ), resistência ( $R$ ) e potência ( $P$ ). Lembrando que as relações entre tais variáveis são descritas pelas equações

$$P = U \times i, \quad (5.1)$$

$$R = \frac{U}{i}. \quad (5.2)$$

Combinando ambas as equações, podemos deduzir as relações

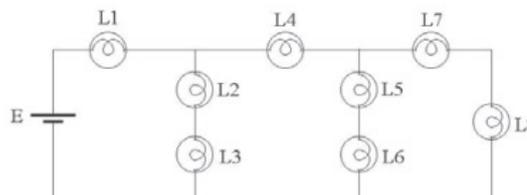
$$P = R \times i^2, \quad (5.3)$$

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (5.4)$$

### 5.5.1 ENEM 2009, prova azul, item 45 (09-45)

Figura 13 – ENEM 2009, prova azul, item 45.

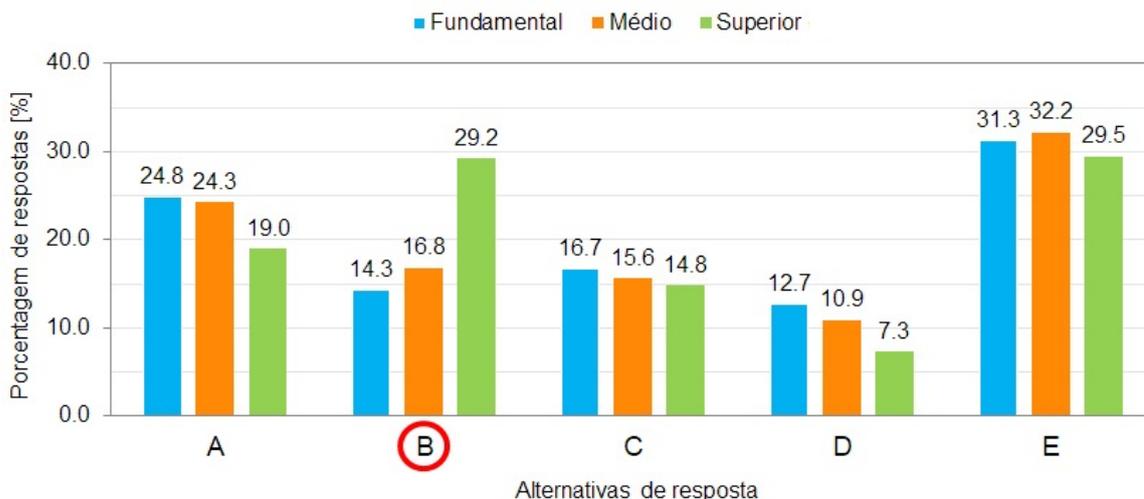
Considere a seguinte situação hipotética: ao preparar o palco para a apresentação de uma peça de teatro, o iluminador deveria colocar três atores sob luzes que tinham igual brilho e os demais, sob luzes de menor brilho. O iluminador determinou, então, aos técnicos, que instalassem no palco oito lâmpadas incandescentes com a mesma especificação (L1 a L8), interligadas em um circuito com uma bateria, conforme mostra a figura.



Nessa situação, quais são as três lâmpadas que acendem com o mesmo brilho por apresentarem igual valor de corrente fluindo nelas, sob as quais devem se posicionar os três atores?

- A L1, L2 e L3.
- B L2, L3 e L4.**
- C L2, L5 e L7.
- D L4, L5 e L6.
- E L4, L7 e L8.

Item 09-45: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
776553	0,145	Ensino Fundamental		41130	0,143	0,049
		Ensino Médio		76369	0,168	0,055
		Ensino Superior		39675	0,292	0,071

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

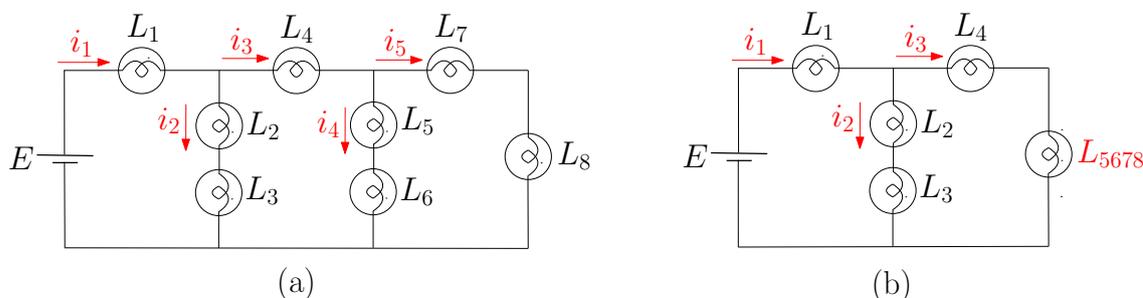
**Objetivo:** Encontrar quais as três lâmpadas que possuem brilho igual.

**Construto:** Avaliar se o aluno compreende o comportamento da corrente elétrica num circuito com associação de resistores mista (em série e em paralelo) e as relações entre corrente, potência e brilho.

**Resolução:**

No circuito do enunciado, no qual  $L_1$  a  $L_8$  são lâmpadas idênticas, definamos as correntes  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  e  $i_5$ , conforme indicado no esquema da figura 14a.

Figura 14 – Imagem auxiliar para resolução do item 09-45.



Fonte: Produzida pela autora.

Uma vez que as resistências das lâmpadas  $L_5 = L_6 = L_7 = L_8$  são idênticas e elas se distribuem simetricamente entre os dois ramos da associação em paralelo, a corrente  $i_3$  divide-se igualmente entre os dois ramos do circuito, de forma que  $i_4 = i_5$ . Como  $P = R \cdot i^2$  (equação 5.3), a potência das lâmpadas  $L_5$ ,  $L_6$ ,  $L_7$  e  $L_8$  serão iguais e, portanto, as quatro apresentarão o mesmo brilho.

Considerando a resistência equivalente da associação das lâmpadas 5 a 8, podemos simplificar o circuito para o esquema da figura 14b. Nele,  $L_{5678}$  é a lâmpada hipotética cuja resistência equivale a das quatro lâmpadas mencionadas, cujo valor é igual a de  $L_1$ . Ou seja,  $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L_{5678}$ .

Em raciocínio análogo, a corrente  $i_1$  divide-se igualmente entre os dois ramos do circuito, de forma que  $i_2 = i_3$ , uma vez que a distribuição das lâmpadas (idênticas) nos dois ramos é simétrica. Portanto, a potência das lâmpadas  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  e  $L_{5678}$  serão iguais. Entretanto,  $L_{5678}$  é uma lâmpada hipotética, auxiliar para resolução do problema, de modo que as três lâmpadas que efetivamente possuem a mesma potência e, conseqüentemente, apresentam igual brilho, são  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$ . Logo, a alternativa correta é a **B**.

**Análise dos distratores:**

Trata-se de um item de natureza quali-quantitativa, de resolução conceitual. Para o grupo de alunos cujos pais possuem Ensino Superior esse é um item difícil, enquanto que para os grupos cujos pais têm menor escolaridade é um item muito difícil. Definimos como distratores principais as alternativas de resposta **E** e **A**.

O distrator **E** é o mais forte e significativo para todos os grupos socioeconômicos. Acreditamos que ele esteja atrelado à DCCE que entende a [associação de resistores baseada na topologia](#), isso é, na sua disposição no diagrama, independente das conexões elétricas ali representadas. Tal alternativa é a única entre as cinco na qual as lâmpadas supostamente de

mesmo brilho –  $L_4$ ,  $L_7$  e  $L_8$  – estão alinhadas, disposta num mesmo fio, como se estivessem todas associadas em série <sup>5</sup>. Ao estarem alinhadas, o aluno supõe que a corrente  $i_3$  é igual à  $i_5$ , ignorando a conexão elétrica em paralelo envolvendo o ramo com as lâmpadas  $L_5$  e  $L_6$ . Em outras palavras, o candidato não percebe a divisão de  $i_3$  entre  $i_4$  e  $i_5$ . Ao assumir  $i_3 = i_5$ , o aluno conclui que a potência das lâmpadas  $L_4$ ,  $L_7$  e  $L_8$  são iguais e, portanto, as três possuem o mesmo brilho.

Já o distrator **A** é mais relevante para os grupos com baixa escolaridade dos pais e pode estar associado de forma secundária à CACE sobre [corrente elétrica consumida](#). Seja pela concepção científica ou pelo modelo sequencial no qual a corrente é consumida ao atravessar os resistores, a lâmpada  $L_1$  está sob ação da corrente total, maior que todas as demais ( $i_1$ ). Logo, como  $P = R.i^2$ , trata-se da lâmpada mais brilhante do circuito. Entretanto, é contra intuitivo pensar que a lâmpada com maior brilho não terá um ator sob ela, dado o contexto de um palco teatral. Induzido pelo contexto e por uma leitura flutuante do enunciado, o aluno pode ser levado a acreditar erroneamente que as três lâmpadas procuradas pelo problema são as mais brilhantes. Sendo  $L_1$  a lâmpada de maior brilho, ele assinala a alternativa **A**, a única com  $L_1$  dentre as candidatas de resposta.

Ainda sobre o distrator **A**, há a possibilidade dos alunos suporem que  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  estão “alinhadas” e, portanto, a corrente que passa pelas três é a mesma, resultando num mesmo brilho. Esse seria um raciocínio semelhante ao descrito para o distrator **E**, influenciado pela DCCE que entende a [associação de resistores baseada na topologia](#).

Apesar do exposto, não julgamos que este item tenha um grave problema de contexto e apresentação (motivo pelo qual não aparece no quadro 4). O contexto é adequado aos alunos e a apresentação das informações é, em certa medida, clara. O que há aqui é um estranhamento por conta da omissão do enunciado a respeito de uma lâmpada mais brilhante que as demais<sup>6</sup>. Portanto, julgamos que a questão poderia ter sido melhor formulada para evitar esse estranhamento, mas seus problemas não causam grande comprometimento à resolução do item.

Unindo os dois raciocínios comentados, se existisse uma alternativa de resposta envolvendo as lâmpadas  $L_1$ ,  $L_4$  e  $L_7$  ela também atrairia muitos alunos, provavelmente sendo um distrator mais forte que todos os demais (podendo incluir também a lâmpada  $L_8$  caso o enunciado buscasse pelas quatro lâmpadas com o mesmo brilho em vez de três).

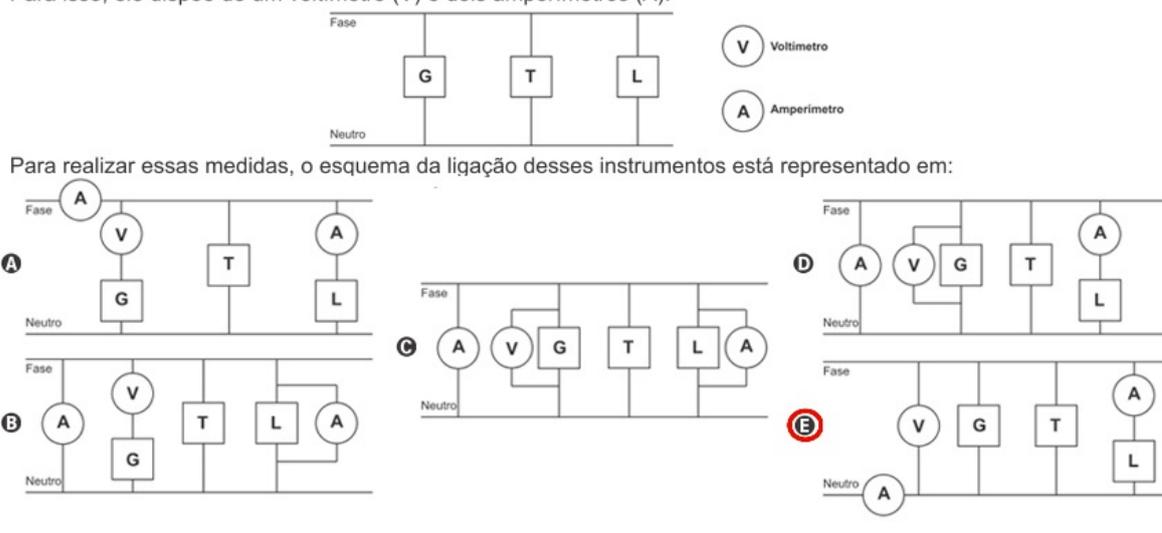
<sup>5</sup> Se a questão pedisse quatro lâmpadas com mesmo brilho e houvesse a alternativa de resposta  $L_1$ ,  $L_4$ ,  $L_7$  e  $L_8$ , ela provavelmente também atrairia a maioria dos alunos pelo mesmo motivo

<sup>6</sup> A omissão de uma lâmpada mais brilhante que as demais pode ser considerada uma “pegadinha” por alguns, uma vez que, mesmo dominando o conteúdo, um aluno pode optar pelo distrator **A** ao responder o item rapidamente, no contexto da realização da prova do ENEM. Entretanto, em nossa leitura, não consideramos tal abordagem uma pegadinha, pois não entendemos que há a inclusão proposital de um fator dificultante apenas para induzir o aluno ao erro, como vemos em outros itens. Apesar disso, reconhecemos que o item exige do aluno uma leitura e uma reflexão atenciosa, a qual as condições de resolução da questão no momento da realização da prova do ENEM não são favoráveis.

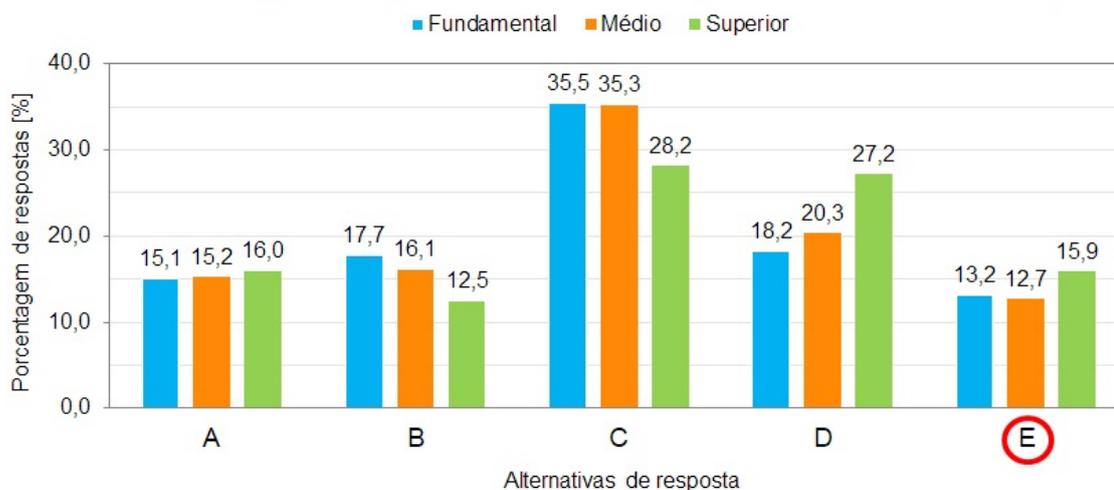
### 5.5.2 ENEM 2013, prova azul, item 72 (13-72)

Figura 15 – ENEM 2013, prova azul, item 72.

Um electricista analisa o diagrama de uma instalação elétrica residencial para planejar medições de tensão e corrente em uma cozinha. Nesse ambiente existem uma geladeira (G), uma tomada (T) e uma lâmpada (L), conforme a figura. O electricista deseja medir a tensão elétrica aplicada à geladeira, a corrente total e a corrente na lâmpada. Para isso, ele dispõe de um voltímetro (V) e dois amperímetros (A).



Item 13-72: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1190007	0,070	Ensino Fundamental		135859	0,132	0,063
		Ensino Médio		176021	0,127	0,064
		Ensino Superior		100701	0,159	0,041

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

**Objetivo:** Conectar corretamente um voltímetro (V) e dois amperímetros (A) no circuito para medir a tensão elétrica sobre a geladeira G, a corrente total e a corrente na lâmpada L.

**Construto:** Avaliar se o aluno sabe conectar corretamente voltímetros e amperímetros num circuito.

**Resolução:**

Voltímetros devem ser ligados em paralelo com o componente sobre o qual se deseja medir a tensão, pois assim ambos estarão submetidos à mesma diferença de potencial. Já os amperímetros devem ser ligados em série com o componente sobre o qual se quer medir a corrente elétrica, para que a mesma corrente flua por ambos.

O único circuito que possui um voltímetro em paralelo com a geladeira, um amperímetro em série com a lâmpada e outro amperímetro em série com a fonte (para medir a corrente total) é o da alternativa **E**, a resposta correta. Contraintuitivamente, esse circuito traz o voltímetro conectado em paralelo à fonte, de forma a medir a tensão total sobre o circuito, e não diretamente sobre a geladeira. Entretanto, como essa última também está submetida à tensão total, a geladeira e o voltímetro estão em paralelo entre si e a diferença de potencial medida é a mesma sob a qual a geladeira está sujeita.

**Análise dos distratores:**

Trata-se de um item de natureza qualitativa, de resolução conceitual. Para os alunos de qualquer grupo segmentado segundo a escolaridade dos pais, trata-se de um item muito difícil. Definimos como distratores principais as alternativas de resposta **C** e **D**, ambas atreladas à dificuldade comum sobre conexão de **voltímetros e amperímetros**, na qual o aluno acredita que esses equipamentos não afetam os circuitos ao qual estão conectados.

O distrator **C** é o mais forte e significativo para todos os grupos socioeconômicos. Nele, todos os voltímetros e amperímetros estão conectados em paralelo com os equipamentos sobre os quais deseja-se realizar as medições. Isso nos leva a concluir que, para os alunos, é intuitivo conectar os instrumentos em paralelo para se medir alguma propriedade do circuito. Essa intuição pode ter relação com uma situação cotidiana relativamente comum de ser experienciada pelos alunos em algum momento da vida, que é a medição da tensão sobre um aparelho utilizando um multímetro, posicionando cada um de seus terminais em ambas as extremidades elétricas do aparelho, criando uma ligação em paralelo. No cotidiano, raramente mede-se a corrente elétrica sobre um equipamento, de forma que a necessidade de uma conexão em série para essa atividade é menos conhecida. Ou seja, os estudantes não consideram que os instrumentos de medição devem ser conectados ao circuito de forma a não afetarem a corrente ou a diferença de potencial medida. Em vez disso, apenas os inserem no esquema de maneira intuitiva, baseada no conhecimento cotidiano.

Já o distrator **D** é mais significativo para o grupo de alunos cujos pais possuem Ensino Superior. Acreditamos que a alta taxa de assinalamento dessa alternativa por esse

grupo se deva ao macete recorrentemente ensinado em treinamentos para resolução de questões dessa natureza, o qual instrui que as conexões de voltímetros e amperímetros devem ser distintas, uma em série e outra em paralelo. Assim, os alunos assinalam a alternativa **D**, a qual possui um voltímetro em paralelo com a geladeira (a conexão mais conhecida e intuitiva, como dissemos no parágrafo acima), e um amperímetro em série com a lâmpada, uma ligação claramente distinta da anterior. Entretanto, o amperímetro sobre a fonte ainda encontra-se conectado em paralelo, o que revela uma incoerência na resposta dada pelos alunos que escolheram essa alternativa. Se eles não estivessem utilizando macetes e dominassem o conteúdo avaliado, perceberiam que os amperímetros afetam a corrente do circuito de forma diferente em cada um dos casos e, ao menos, um deles estaria conectado de forma incorreta.

Ainda, é curioso que as alternativas de respostas menos assinadas sejam exatamente aquelas que trazem o amperímetro sobre a corrente total acoplado em série no início ou no fim do circuito (alternativas **A** e **E**). Esse padrão de resposta deve-se, provavelmente, à conhecida CACE na qual os alunos assumem que a **corrente é consumida** ao longo do circuito. Assim, segundo essa lógica, em **A** e **E** o amperímetro estaria medindo somente a corrente de entrada e saída do circuito, respectivamente, e não a corrente total, como pede o enunciado. Isso porque, ao ser consumida, a corrente de entrada e saída não seriam equivalentes. Então, para obter a corrente total, o aluno assume necessário acoplar o amperímetro de forma a medir a suposta diferença entre a corrente que entra e a que sai do circuito, preferindo as alternativas **B**, **C** e **D**.

Se pensarmos pela lógica observada no ENEM de preferir itens muito difíceis para “selecionar bem” os alunos a terem acesso ao Ensino Superior, essa é uma ótima questão. Respondem corretamente os alunos que dominam o conteúdo avaliado (além de uma pequena porcentagem de candidatos de todos os grupos que respondem ao aleatório, um efeito inerente a itens de múltipla escolha, mas que a Teoria de Resposta ao Item atua no sentido de identificar esses sujeitos). Alunos com baixo domínio do conteúdo, induzidos por concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos, são atraídos pelo distrator **C**. Além disso, aqueles com treinamento em macetes de resolução de questões desse tipo, mas que não compreendem de fato os conceitos e conteúdos avaliados, são atraídos pela alternativa **D**. Ainda, caso o sujeito não compreenda o item e responda baseando-se apenas no padrão entre as alternativas, o fato do voltímetro estar sobre a tensão total, e não diretamente sobre a geladeira, distingue **E** dos distratores, atraindo menos alunos para a resposta correta.

Assim, o item seleciona sem dar absoluto privilégio aos sujeitos que tiveram acesso a treinamentos para vestibulares, ao mesmo tempo que avalia o conhecimento dos alunos a respeito do conteúdo abordado. É certo que poderia ser um pouco simplificada excluindo do circuito a televisão  $T$ , a qual apenas agrega informação desnecessária ao

esquema. Entretanto, fora isso, trata-se de um item muito bem construído, de constructo único, distratores bem elaborados e pautados em uma forte dificuldade dos alunos e outra forte concepção alternativa, os quais atingem diferentemente alunos de grupos socioeconômicos distintos, sem pegadinhas ou fatores dificultantes não relacionados com o conteúdo avaliado. Por conta de tal construção, esse item nos permite tirar conclusões acerca do conhecimento dos alunos sobre o conteúdo avaliado: em geral, os concluintes do Ensino Médio possuem alguma noção intuitiva de como utilizar um voltímetro, mas desconhecem a forma adequada de se utilizar um amperímetro.

### 5.5.3 ENEM 2013, prova azul, item 75 (13-75)

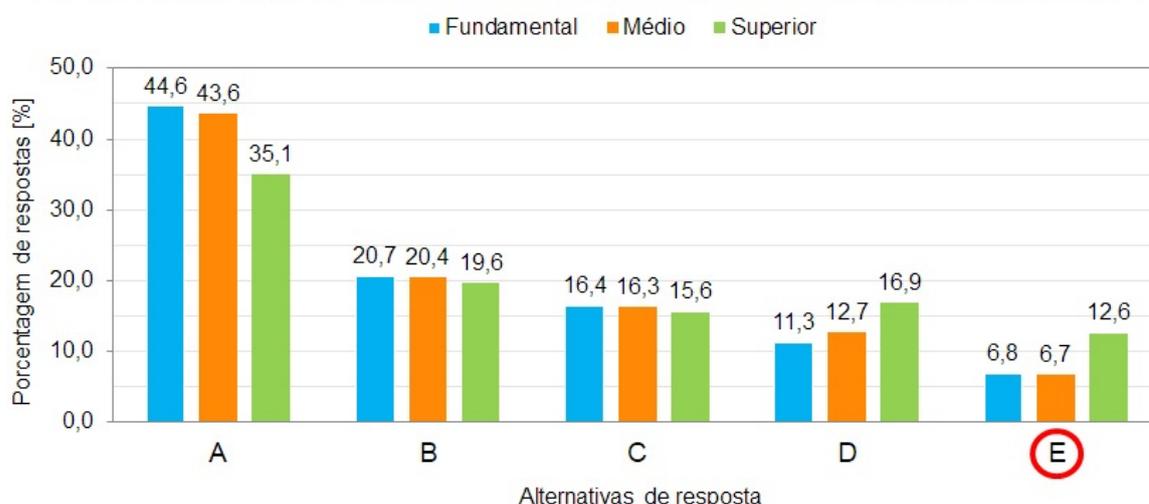
Figura 16 – ENEM 2013, prova azul, item 75.

O chuveiro elétrico é um dispositivo capaz de transformar energia elétrica em energia térmica, o que possibilita a elevação da temperatura da água. Um chuveiro projetado para funcionar em 110 V pode ser adaptado para funcionar em 220 V, de modo a manter inalterada sua potência.

Uma das maneiras de fazer essa adaptação é trocar a resistência do chuveiro por outra, de mesmo material e com o(a)

- A** dobro do comprimento do fio.
- B** metade do comprimento do fio.
- C** metade da área da seção reta do fio.
- D** quádruplo da área da seção reta do fio.
- E** quarta parte da área da seção reta do fio.

Item 13-75: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais			
N	ID	Escolaridade de ambos os pais	N	IF	IC
1190007	0,049	Ensino Fundamental	135859	0,068	0,161
		Ensino Médio	176021	0,067	0,149
		Ensino Superior	100701	0,126	0,061

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

**Objetivo:** Como adaptar a resistência de um chuveiro de 110V para funcionar a 220V sem alterar sua potência.

**Construto:** Avaliar se o aluno domina as relações entre os parâmetros de um circuito, em específico a dependência da potência com a área de seção reta e o comprimento do fio do resistor.

**Resolução:**

A relação entre potência ( $P$ ), tensão ( $U$ ) e resistência ( $R$ ) é dada pela equação 5.4,  $P = \frac{U^2}{R}$ . Já a resistência depende da temperatura do fio do resistor ( $T$ ), da resistividade

do material de que é feito ( $\rho$ ), do seu comprimento ( $L$ ) e da área de sua seção reta ( $A$ ). Quando a temperatura do fio se mantém constante, essas variáveis se relacionam através da equação

$$R = \rho \frac{L}{A}. \quad (5.5)$$

Substituindo a equação 5.5 na 5.4 encontramos que

$$P = U^2 \frac{A}{\rho L}. \quad (5.6)$$

Definamos a situação 1 como aquela na qual o chuveiro opera em  $U_1 = 110V$  e a situação 2, quando opera em  $U_2 = 220V$ . Se queremos que a potência seja a mesma em ambas as situações, então

$$P_1 = P_2 \quad \xrightarrow{\text{eq. 5.4}} \quad \frac{U_1^2}{R_1} = \frac{U_2^2}{R_2} \quad \xrightarrow{\text{eq. 5.5}} \quad \frac{U_1^2 A_1}{\rho_1 L_1} = \frac{U_2^2 A_2}{\rho_2 L_2}.$$

Como as resistências  $R_1$  e  $R_2$  são de mesmo material,  $\rho_1 = \rho_2$ . Então, substituindo os valores de  $U_1$  e  $U_2$  temos que

$$110^2 \frac{A_1}{L_1} = 220^2 \frac{A_2}{L_2} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{220}{110}\right)^2 = \frac{A_1}{A_2} \frac{L_2}{L_1}.$$

Assim, quando o comprimento do fio do resistor é mantido constante, temos  $L_1 = L_2$  e, portanto,  $A_2 = A_1/4$ . Ou seja, a potência é mantida inalterada trocando-se o resistor do chuveiro por outro com a quarta parte da área da seção reta do seu fio. Logo, a alternativa correta é a **E**.

Se, por outro lado, a seção reta do fio do resistor fosse mantida constante, teríamos  $A_1 = A_2$ , de forma que  $L_2 = 4 L_1$ . Isso é, a potência do chuveiro seria mantida inalterada trocando-se o resistor por outro com quádruplo do comprimento de seu fio.

### Análise dos distratores:

Trata-se de um item de natureza quali-quantitativa, de resolução algébrica, que se mostrou muito difícil para os alunos de todos os nossos grupos segmentados segundo a escolaridade dos pais. Definimos como distrator principal a alternativa de resposta **A**.

Tal distrator é destacadamente o mais forte e significativo para todos os grupos socioeconômicos. Das CACE e DCCE dos nossos referenciais, a única que identificamos induzindo a resposta dos alunos aos distratores deste item e, especificamente, à alternativa **A**, foi a que diz respeito à [aplicação incorreta de equações](#), uma dificuldade comum dos alunos bastante ampla e vaga. Note que, neste caso, não temos uma concepção alternativa, uma vez que não há um modelo alternativo ao científico sendo considerado pelo aluno ao responder o item. Trata-se de um erro que se dá, basicamente, pela não consideração do termo quadrático na equação 5.4,  $P = \frac{U^2}{R}$ . Apesar da equação 5.5,  $R = \rho \frac{L}{A}$ , não receber tanto enfoque dos currículos escolares como outras dentro do conteúdo de circuitos

elétricos, a relação de proporcionalidade entre o comprimento do fio do resistor e o valor da resistência não foi uma dificuldade aos alunos. É intuitivo pensar que ao aumentar o comprimento do fio aumenta a resistência numa relação diretamente proporcional, tal como diz a equação 5.5. O problema se deu ao avaliar a relação entre a resistência com a tensão, a fim de manter a potência inalterada. Ignorando o termo quadrático, os alunos consideram a equação errônea  $P = \frac{U}{R}$ , de forma a concluir que, para manter a potência ao dobrar o valor da tensão, é preciso dobrar também a resistência (e não quadruplicar, como diz o modelo científico). Então, para isso, deve-se dobrar o comprimento do fio, resultando na escolha dos alunos pela alternativa de resposta **A**.

Apesar de não a considerarmos um distrator principal, é válido fazer um breve comentário sobre a maior taxa de assinalamento da alternativa **D** pelo grupo de alunos cujos pais possuem Ensino Superior, comparado aos demais grupos. Isso provavelmente decorre de uma inversão dos termos  $L$  e  $A$  na equação 5.5,  $R = \rho \frac{L}{A}$ . O aluno que assinala essa alternativa não percebe que uma seção reta do fio maior implica uma maior facilidade para passagem de corrente, logo uma menor resistência, mesmo que isso coincida com um pensamento intuitivo. Ele domina o uso das equações, mas parece operar com base apenas em fórmulas decoradas. Apesar de conhecer a relação quadrática não intuitiva, mas bastante treinada, de  $P = \frac{U^2}{R}$ , não recorda corretamente da posição dos termos em  $R = \rho \frac{L}{A}$ , a qual, apesar de intuitiva, é menos trabalhada em treinos para vestibulares por aparecer com menor frequência nas questões de circuitos.

Tal item é um típico exemplo do formato de questões encontradas na categoria **laranja**, tão criticada nesta dissertação. Neste caso, ao menos, trata-se de um item com contexto adequado aos alunos, apresentação clara das informações, sem fatores dificultantes não relacionados com o conteúdo abordado e com números adaptados para facilitar os cálculos. Entretanto, mesmo com uma boa construção, questionamos a adequabilidade deste item tanto para selecionar, como para avaliar. Não é preciso compreender o funcionamento e os conceitos de circuitos elétricos para resolvê-lo, bastando apenas o conhecimento de equações e o domínio de seu uso. Por outro lado, sem a memorização das equações o aluno dificilmente consegue resolver o item, mesmo possuindo algum conhecimento conceitual. Responder corretamente sem o uso de equações tende a ficar restrito apenas aqueles poucos alunos com conhecimento conceitual mais aprofundado, em geral correlacionado com vivências em atividades experimentais (escolares ou cotidianas). Isso privilegia aqueles que tiveram acesso a treinamento para resolver itens dessa natureza, em geral os alunos de melhores condições socioeconômicas, indo na contramão do discurso sobre democratização do acesso ao Ensino Superior proclamado pelo ENEM. Ainda, com pouco enfoque conceitual e sem explorar concepções alternativas ou dificuldades comuns sobre circuitos mais específicas e fundamentais, pouco nos permite inferir a respeito do domínio dos concluintes do Ensino Médio sobre o conteúdo de circuitos elétricos.

### 5.5.4 ENEM 2013, prova azul, item 79 (13-79)

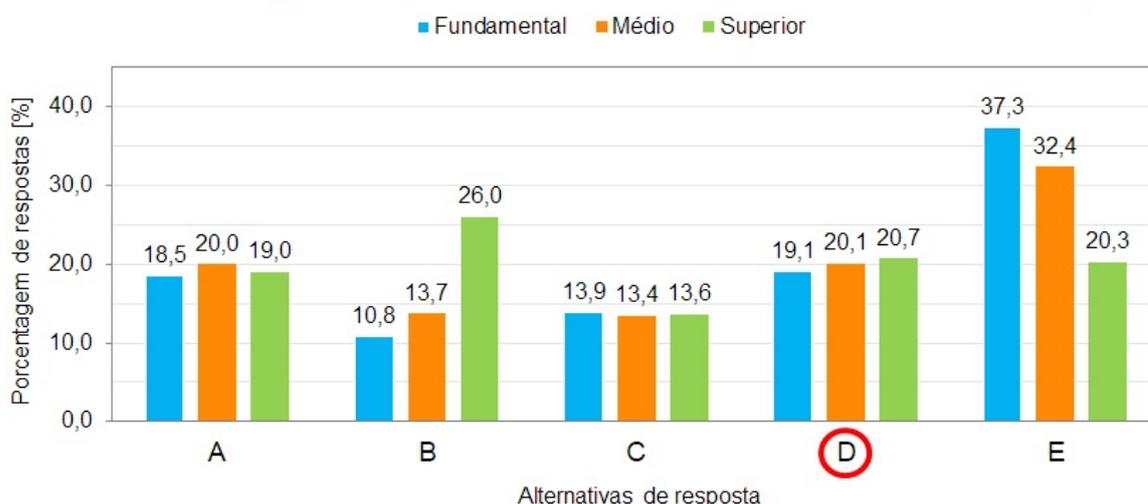
Figura 17 – ENEM 2013, prova azul, item 79.

Um circuito em série é formado por uma pilha, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Ao se ligar a chave, a lâmpada acende quase instantaneamente, irradiando calor e luz. Popularmente, associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar. Essa explicação está em desacordo com o modelo clássico de corrente.

De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que

- A o fluido elétrico se desloca no circuito.
- B as cargas negativas móveis atravessam o circuito.
- C a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.
- D** o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.
- E as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.

Item 13-79: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais			
N	ID	Escolaridade de ambos os pais	N	IF	IC
1190007	0,109	Ensino Fundamental	135859	0,191	0,082
		Ensino Médio	176021	0,201	0,047
		Ensino Superior	100701	0,207	0,016

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

**Objetivo:** Explicar o fato de uma lâmpada acender quase instantaneamente quando aciona-se o interruptor.

**Construto:** Avaliar o modelo utilizado pelo aluno para explicar o funcionamento de circuitos elétricos.

**Resolução:**

Segundo o modelo clássico de corrente, a rapidez com que uma lâmpada acende ao ligar a chave interruptora de um circuito se deve à velocidade com que as variações do

campo elétrico se propagam ao longo dos fios, quase igual à velocidade da luz. Ao fechar o circuito, o campo elétrico se estabelece rapidamente em todos os seus pontos, fazendo com que os elétrons de condução do fio comecem a se mover quase instantaneamente, entre eles os elétrons que fazem a lâmpada acender. A velocidade de deriva desses elétrons, por outro lado, é bastante baixa, percorrendo na ordem de poucos milímetros por hora (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p. 146). Portanto, a alternativa correta é a **D**.

Para entender melhor esse fenômeno, podemos recorrer à analogia com uma mangueira de jardim. Antes de abirmos o registro, toda a mangueira já está cheia d'água. Então, quando o registro é aberto, uma onda de pressão se move rapidamente (com uma velocidade igual à velocidade do som na água) dentro de toda a mangueira, fazendo com que comece a sair líquido de seu bico quase instantaneamente. Entretanto, a velocidade com que a água percorre a mangueira é bem menor (e pode ser medida facilmente adicionando-se corante à ela). Da mesma forma que aqui a quase instantaneidade do fenômeno se deve à alta velocidade com que a onda de pressão se move na mangueira (e não a água), no circuito a rapidez do acender de uma lâmpada se deve à alta velocidade com que o campo elétrico se estabelece nos fios (e não à velocidade dos elétrons).

#### **Análise dos distratores:**

Trata-se de um item de natureza qualitativa, de resolução conceitual, o único da categoria de análise azul. Para todos os grupos socioeconômicos definidos a partir da escolaridade de ambos os pais dos candidatos, esta questão ficou no limiar da nossa escala de facilidade entre muito difícil e difícil. Definimos como distratores principais as alternativas de resposta **E**, **B** e **A**.

O distrator **E** é forte e significativo para todos os grupos socioeconômicos, sendo o principal para aqueles cujos ambos os pais concluíram apenas o Ensino Fundamental ou o Ensino Médio. Ele versa explicitamente sobre a CACE relativa ao [modelo de correntes elétricas em choque](#). Tal modelo corresponde a uma concepção alternativa amplamente conhecida e detectada em estudantes de vários países. Os alunos que o utilizam pensam na corrente elétrica fluindo dos dois terminais da bateria para a lâmpada, sendo a luz o resultado do “choque” entre as duas correntes de direção oposta (DRIVER et al., 1994; POZO; CRESPO, 2009). A atração entre as correntes é explicada pela suposição de que saem cargas positivas e negativas, em sentidos opostos, dos terminais da bateria. Elas se atrairiam entre si, até se chocarem e se neutralizarem no filamento da lâmpada, originando luz e/ou calor (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994).

Apesar desse modelo ser muito comum, ele é mais característico de alunos jovens. Quando já na casa dos 15 anos, os estudantes não o utilizam com tanta frequência, dando preferência a outros modelos alternativos, como o [sequencial](#) (DRIVER et al., 1994). Ainda, Gravina e Buchweitz (1994) identificaram que o modelo de correntes em choque não é tão resistente a mudanças como outras CACE. Em sua pesquisa, ele desapareceu

totalmente após os alunos receberem instrução científica. Assim, é preocupante que esse seja tão presente entre os alunos concluintes do Ensino Médio, sendo o principal escolhido por aqueles cujos pais possuem apenas Ensino Fundamental ou Médio. Isso indica uma grave deficiência no ensino e na aprendizagem de circuitos elétricos ao longo do processo de educação básica, de forma que os alunos concluintes, em especial os dos grupos socioeconômicos menos favorecidos, apresentam uma concepção alternativa bastante básica e típica de jovens que não receberam instrução científica sobre esse conteúdo.

Já os distratores **B** e **A** estão associados à CACE que supõe ser a **corrente elétrica muito veloz**, comentada brevemente ao longo da resolução deste item. Ela baseia-se na crença de que os elétrons de condução que compõem a corrente elétrica movem-se muito depressa no interior dos fios, embora, na realidade, essa velocidade seja na ordem de apenas alguns milímetros por hora. Não se trata de uma concepção alternativa explorada pelos nossos referenciais em CACE, talvez por abordar uma noção bastante específica sobre o funcionamento de circuitos. Entretanto, ela é discutida por ambos os nossos referenciais científicos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009; BONJORNO et al., 2016), os quais a abordam como uma noção intuitiva comum.

A alternativa **B**, em específico, foi o principal distrator para os alunos cujos pais cursaram Ensino Superior, sugerindo que a noção de corrente muito veloz é bastante comum mesmo entre os alunos que tiveram acesso às melhores condições de ensino (ou treinamento para vestibulares). Já a alternativa **A** foi escolhida por aproximadamente 19% dos alunos de todos os grupos socioeconômicos. Essa última, em especial, está associada também com a CACE fundamental pela qual entende-se a **corrente elétrica (ou a tal “eletricidade”) como um fluido**, uma substância material que se propaga pelos fios do circuito como se eles fossem um sistema de tubos, sendo transportada do gerador ao aparelho, onde assume-se que é consumida. Os candidatos que assinalam essa alternativa não compreendem a corrente elétrica como um fluxo de elétrons livres (cargas negativas) em movimento, adotando o já antigo modelo do fluido elétrico.

Este é um exemplo único, de 2009 até hoje, de item conceitual sem utilização de diagramas de circuitos dentre as questões de circuitos elétricos do ENEM. Bem construído (apesar de julgarmos um pouco confusa e desnecessária a apresentação do modelo alternativo de **corrente consumida** no enunciado), adequado ao público que se destina, com construto bem definido e pautado em sólidas concepções alternativas, este item revela o potencial de se incluir questões dessa natureza no ENEM a fim de avaliar o domínio dos concluintes do Ensino Médio sobre o conteúdo de circuitos. Ao analisar os dados resultantes da sua aplicação, com apoio nos nossos referenciais sobre CACE, podemos inferir que há graves deficiências no ensino e na aprendizagem deste conteúdo na educação básica, em especial para o caso de alunos de condições socioeconômicas menos favorecidas, uma vez que CACE típicas de jovens sem instrução científica foram detectadas com alta taxa de ocorrência.

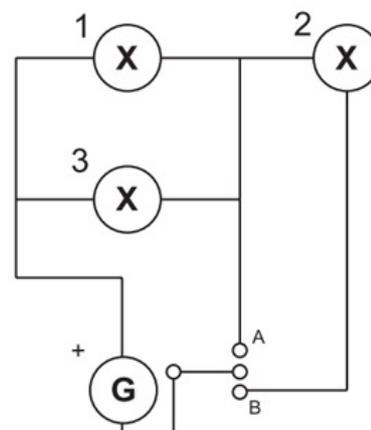
### 5.5.5 ENEM 2014, prova azul, item 57 (14-57)

Figura 18 – ENEM 2014, prova azul, item 57.

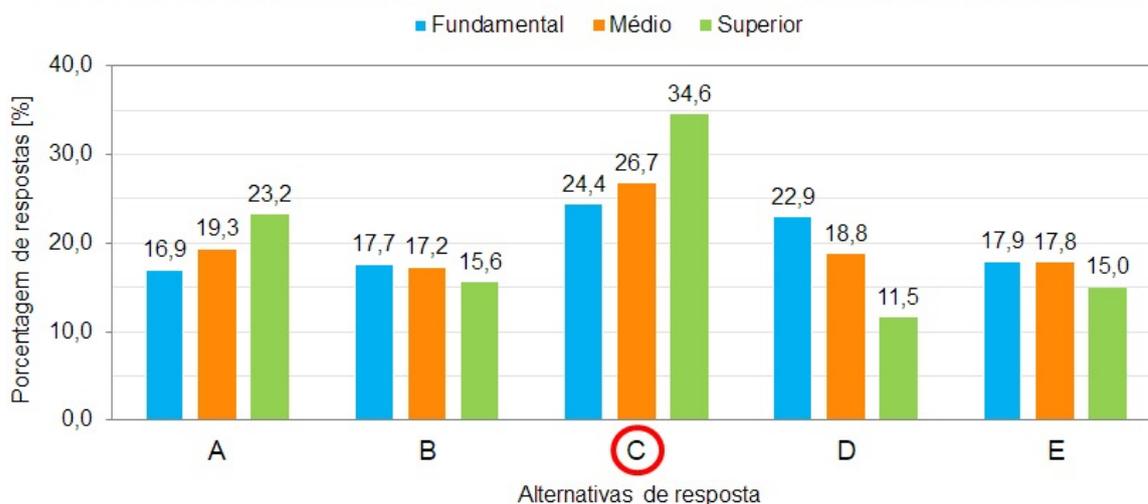
Um sistema de iluminação foi construído com um circuito de três lâmpadas iguais conectadas a um gerador (G) de tensão constante. Esse gerador possui uma chave que pode ser ligada nas posições A ou B.

Considerando o funcionamento do circuito dado, a lâmpada 1 brilhará mais quando a chave estiver na posição

- A B, pois a corrente será maior nesse caso.
- B B, pois a potência total será maior nesse caso.
- C A, pois a resistência equivalente será menor nesse caso.
- D B, pois o gerador fornecerá uma maior tensão nesse caso.
- E A, pois a potência dissipada pelo gerador será menor nesse caso.



Item 14-57: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais			
N	ID	Escolaridade de ambos os pais	N	IF	IC
1229283	0,193	Ensino Fundamental	142902	0,244	0,010
		Ensino Médio	189164	0,267	0,012
		Ensino Superior	104596	0,346	0,066

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

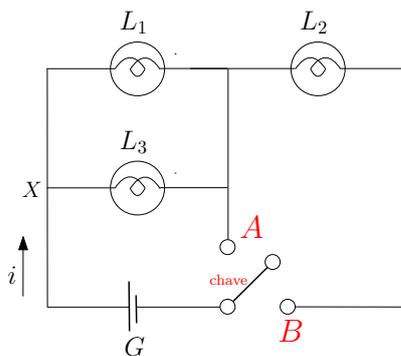
**Objetivo:** Avaliar qual a posição da chave (A ou B) resulta num maior brilho da lâmpada 1 e por quê.

**Construto:** Avaliar se o aluno compreende porque diferentes associações de lâmpadas resultam em brilhos diferentes.

**Resolução:**

Redesenhemos o circuito dado no enunciado para o apresentado na figura 19, sem grandes alterações. Chamaremos as lâmpadas 1, 2 e 3 por  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , respectivamente. Como elas são iguais, assumiremos que as três possuem uma mesma resistência  $R$ .

Figura 19 – Imagem auxiliar para resolução do item 14-57.



Fonte: Produzida pela autora.

Quando a chave estiver na posição A, não haverá passagem de corrente pela lâmpada  $L_2$ , uma vez que esse ramo do circuito estará aberto. Assim, teremos apenas as lâmpadas  $L_1$  e  $L_3$  associadas em paralelo. Já quando a chave estiver na posição B, passará corrente por todas as lâmpadas, com  $L_1$  e  $L_3$  associadas em paralelo, que, por sua vez, associarão-se em série com  $L_2$ .

Como quanto maior a tensão sobre uma lâmpada, maior a potência dissipada e, portanto, maior o seu brilho (conforme a equação 5.4,  $P = \frac{U^2}{R}$ ), basta encontrarmos em qual situação a tensão sobre  $L_1$  será maior para concluirmos quando ela brilhará mais. Com a chave na posição A a tensão sobre  $L_1$  será igual a da fonte  $G$ , uma vez que trata-se de uma associação em paralelo. Já quando na posição B, a lâmpada  $L_2$ , em série com o restante dos elementos do circuito, reterá parte da tensão total fornecida pela fonte, de modo que a diferença de potencial sobre a associação de  $L_1$  e  $L_3$  será menor comparada à situação anterior. Logo, a tensão sobre a lâmpada  $L_1$  será maior com a chave na posição A e, portanto, ela brilhará mais nessa situação.

Analisemos agora as resistências equivalentes com a chave posicionada em A ou B,  $R_A$  e  $R_B$ , respectivamente. Por conta da lâmpada  $L_2$  adicional e em série com o restante do circuito quando a chave estiver na posição B, podemos concluir que  $R_B$  será maior do que  $R_A$ . Especificamente,  $R_B = R_A + R$ , de modo que  $R_A < R_B$ . Portanto, concluímos que a alternativa correta é a **C**.

Até aqui, resolvemos o item de forma conceitual, e isso é o suficiente para responder à questão corretamente. Entretanto, dedicaremos o restante da resolução para

justificar a relação entre a resistência equivalente do circuito e o brilho de  $L_1$ , uma vez que ela é abordada na alternativa correta.

Esteja a chave na posição A ou B, a corrente total ( $i$ ) se dividirá igualmente no nó X, pois as resistências equivalentes de ambos os ramos da associação em paralelo são iguais. Assim, a corrente que passará pela lâmpada 1 ( $i_1$ ) será igual à metade da corrente total. Como  $R_{eq} = \frac{U}{i}$  (equação 5.2, sendo  $R_{eq}$  a resistência equivalente  $R_A$  ou  $R_B$ ), temos que a corrente em  $L_1$  pode ser calculada por,  $i_1 = \frac{U}{2 R_{eq}}$ .

Pela equação 5.3,  $P = R i^2$ , sabemos que quanto maior a corrente que atravessa uma lâmpada, maior a potência dissipada por ela. Consequentemente, maior será seu brilho. A potência dissipada na lâmpada 1 é dada por

$$P_1 = R_{L_1} i_1^2 = R \left( \frac{U}{2 R_{eq}} \right)^2.$$

Assim, quanto menor a resistência equivalente destes circuitos, maior será o brilho da lâmpada 1. Portanto, como  $R_A < R_B$ , a lâmpada 1 brilhará mais quando a chave estiver na posição A.

#### Análise dos distratores:

Trata-se de um item de natureza quali-quantitativa, de resolução conceitual (pois essa é suficiente para resolver a questão, apesar de uma abordagem mais algorítmica ser necessária para compreender a relação entre o brilho da lâmpada  $L_1$  e a resistência equivalente do circuito). Para todos os grupos de alunos segmentados em função da escolaridade dos pais, trata-se de uma questão considerada difícil. Definimos como distratores principais as alternativas de resposta **A** e **D**.

Acreditamos que a razão por trás da alta taxa de escolha desses dois distratores tem base na conhecida noção de que os alunos tendem a resolver questões de circuitos elétricos a partir da aplicação cega de equações, expressa pela nossa DCCE a respeito da [resolução algorítmica sem respaldo conceitual](#). É conhecida a relação de que, quanto maior a potência dissipada na lâmpada, maior seu brilho. Daí é evocada a famosa equação 5.1,  $P = Ui$ , mesmo não sendo a mais adequada neste caso. Os alunos provavelmente partiram dela para buscar a resposta correta entre as alternativas, sem atentarem-se a uma análise conceitual para avaliar qual posição da chave resultava num maior brilho de  $L_1$ . Assim, assinalaram os distratores **A** e **D**, os únicos que trazem os termos corrente e tensão, expressos em  $P = Ui$ , para justificar o brilho maior da lâmpada.

Quanto menor a escolaridade dos pais dos alunos, maior foi a preferência pela alternativa **D**, a qual diz ser  $L_1$  mais brilhante quando a chave está na posição B, pois o gerador fornecerá uma maior tensão nesse caso. Isso indica que tais alunos não reconhecem o gerador como uma fonte de tensão constante, mas, provavelmente, como uma [fonte de corrente constante](#), uma concepção alternativa muito comum, presente em todos os nossos

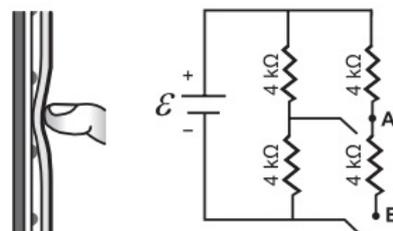
referenciais de CACE. Já os alunos cujos pais possuem maior escolaridade preferiram a alternativa **A**, que justifica o maior brilho de  $L_1$  com base na corrente. Entretanto, não conseguimos concluir se esse grupo, de fato, não possui a concepção alternativa citada ou apenas se atentaram mais ao enunciado, o qual diz explicitamente que o gerador possui tensão constante.

O problema proposto, com chaves e avaliação do brilho das lâmpadas, é bastante parecido com os encontrados em inventários de concepções alternativas em circuitos elétricos, como Gravina e Buchweitz (1994) e Engelhardt e Beichner (2004). Eles têm potencial para investigar se o aluno utiliza o **modelo sequencial**, se pensa que a **corrente é consumida ao atravessar os elementos do circuito**, se compreende diferentes associações de lâmpadas, etc. Entretanto, neste item do ENEM esse potencial não foi tão explorado devido à construção do circuito e ao enfoque na razão para a mudança do brilho em função da resistência equivalente. Se melhor construído, poderia ter nos fornecido informações muito ricas a respeito dessas CACE e DCCE dos alunos. Por outro lado, apesar da crítica, julgamos tratar-se de um bom item, com contexto, construto e apresentação das informações adequadas, permitindo-nos inferir a tendência dos alunos de resolver os problemas a partir da aplicação de equações, sem respaldo conceitual.

### 5.5.6 ENEM 2018, prova amarela, item 106 (18-106)

Figura 20 – ENEM 2018, prova amarela, item 106.

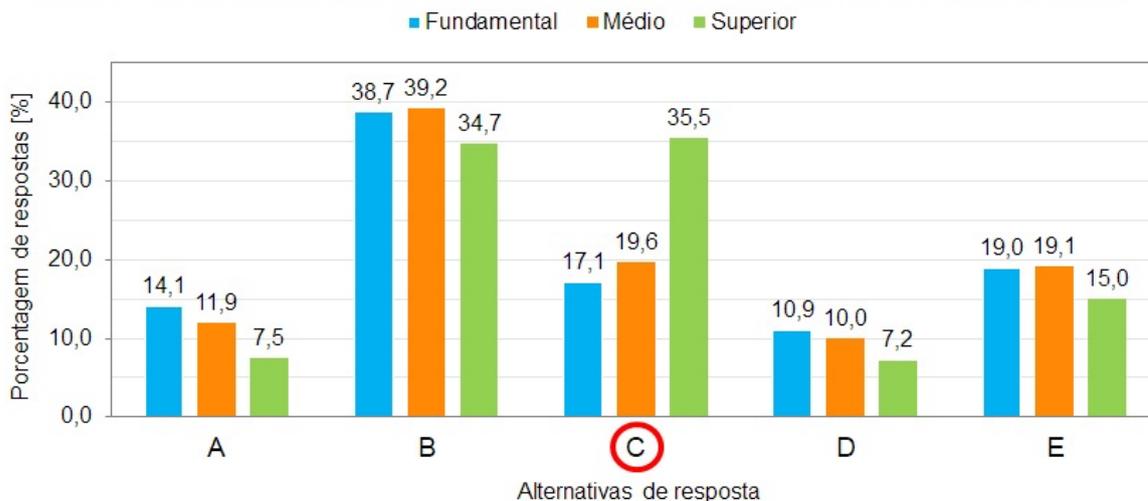
Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que **A** e **B** representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto **A**?

- A** 1,3 kΩ
- B** 4,0 kΩ
- C** 6,0 kΩ
- D** 6,7 kΩ
- E** 12,0 kΩ

Item 18-106: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1110307	0,241	Ensino Fundamental		48065	0,171	0,092
		Ensino Médio		195216	0,196	0,102
		Ensino Superior		67769	0,355	0,149

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

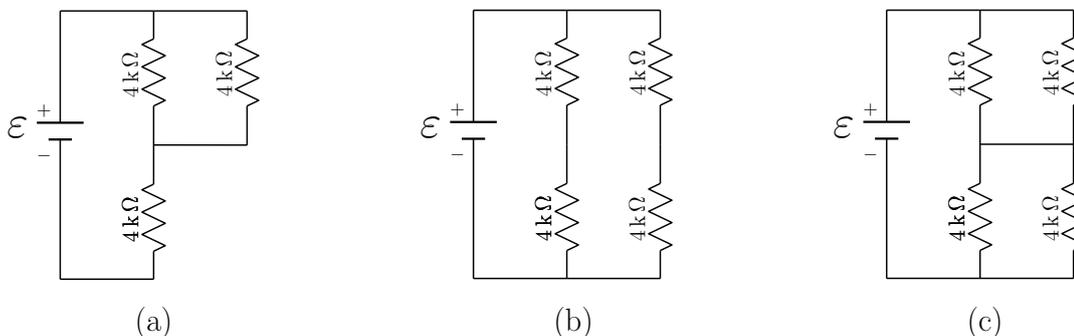
**Objetivo:** Determinar a resistência equivalente ao fechar o circuito no ponto A.

**Construto:** Avaliar se o aluno reconhece loops fechados de um circuito e calcula corretamente a resistência equivalente de uma associação de resistores.

**Resolução:**

Ao fechar o circuito no ponto A a chave B continua aberta, de modo que não passa corrente pelo resistor que o antecede, já que esse não se encontra num loop fechado. Nesse caso, o circuito pode ser simplificado no da figura 21a.

Figura 21 – Imagem auxiliar para resolução do item 18-106.



Fonte: Produzida pela autora.

Trata-se da associação de dois resistores em paralelo, a qual, por sua vez, associam-se em série com um terceiro. A resistência equivalente da associação em paralelo,  $R_{aux}$ , pode ser calculada por

$$\frac{1}{R_{aux}} = \frac{1}{4 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{4 \text{ k}\Omega} \quad \Rightarrow \quad R_{aux} = 2 \text{ k}\Omega.$$

Então, a resistência equivalente do circuito,  $R_{eq}$ , é

$$R_{eq} = R_{aux} + 4 \text{ k}\Omega = 2 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega \quad \Rightarrow \quad R_{eq} = 6 \text{ k}\Omega.$$

Portanto, a alternativa correta é a **C**.

**Análise dos distratores:**

Trata-se de um item de natureza quantitativa, de resolução algébrica. Para o grupo de alunos cujos pais possuem Ensino Superior esse é um item difícil, enquanto que para os grupos cujos pais têm menor escolaridade é um item muito difícil. Definimos como distrator principal a alternativa de resposta **B**, a qual atraiu candidatos de todos os grupos socioeconômicos.

Tal distrator diz que a resistência equivalente do circuito seria igual a  $4 \text{ k}\Omega$ , um resultado fruto de diversos raciocínios alternativos. É possível que alguns alunos tenham fechado o circuito no ponto B em vez do ponto A, dando origem ao circuito esquematizado na figura 21b, cuja resistência equivalente é igual a  $4 \text{ k}\Omega$ .

Entretanto, com base nos nossos referenciais em CACE e DCCE, acreditamos que o raciocínio alternativo mais provável está relacionado com a dificuldade comum entre os alunos de identificar um circuito completo, ou do não reconhecimento de sua

necessidade para que haja passagem de corrente (expressa pela nossa concepção alternativa **circuito aberto aceitável**). Com isso, eles assumem que o circuito investigado pela questão é o esquematizado na figura 21c, cuja resistência equivalente também é igual a  $4 k\Omega$ . A CACE derivada do **modelo sequencial**, na qual os alunos assumem passar **corrente por um fio interrompido** também leva ao cálculo da resistência equivalente para um circuito semelhante ao da figura 21c. Ainda, além da dificuldade com circuitos incompletos, os estudantes podem apresentar a DCCE pela qual **associa-se os resistores com base na sua topologia**, e não segundo as ligações elétricas. Nesse caso, eles não reconhecem que há dois pares de resistores associados em paralelo ligados em série na figura 21c, assumindo, em vez disso, que há dois pares de resistores associados em série ligados em paralelo, como na figura 21b. Mesmo nesse caso, a resistência equivalente é igual a  $4 k\Omega$ .

Há ainda a possibilidade de alguns alunos com muita dificuldade com o conteúdo de circuitos elétricos terem respondido o item com base num raciocínio intuitivo observado algumas vezes nas questões quantitativas do ENEM. Por não terem compreendido a questão, buscam no enunciado, nos esquemas e tabelas algum número em destaque que apareça entre as alternativas de resposta. Nesse caso, trata-se novamente do valor  $4 k\Omega$ .

Este é um dos poucos itens quantitativos que consideramos bem construídos, com um contexto adequado, apresentação clara e sem fatores dificultantes não relacionados com o conteúdo. Um contraexemplo dentro das categorias **vermelha** e **laranja**, motivo pelo qual foi escolhido para ser analisado no corpo da dissertação. Ele nos mostra como itens quantitativos e de resolução algorítmica deveriam ser abordados no ENEM. O distrator principal foi construído visando sólidas concepções alternativas e dificuldades comuns dos estudantes, permitindo-nos fazer inferências sobre alguns problemas de aprendizagem dos concluintes do Ensino Médio a respeito de circuitos elétricos. Como podemos perceber, não é um item com características propositalmente complexas para confundir os alunos e selecionar apenas os “bem treinados”, mas, apesar da aparente simplicidade, ainda se mostra difícil ou muito difícil. Isso reforça nossa conclusão de que circuitos elétricos seja um tema bastante complexo para o público do Ensino Médio e nosso argumento de que não há necessidade, nem é adequada, a inclusão de itens propositalmente complexos para selecionar os candidatos do ENEM.

## Conclusão

Retornando ao nosso problema de pesquisa, podemos concluir que sim, mesmo após quase meio século de discussões sobre as concepções alternativas, os alunos concluintes do Ensino Médio ainda assinalam alternativas de resposta induzidas por CACE nos itens sobre circuitos elétricos do ENEM, assim como também assinalam alternativas induzidas por outras dificuldades comuns sobre circuitos que os alunos costumam apresentar, as nossas DCCE.

Versamos nossa análise sobre os candidatos concluintes do Ensino Médio, observando os erros cometidos por alunos de três grupos socioeconômicos diferentes, definidos a partir da escolaridade de ambos os pais dos estudantes – um indicador de capital econômico e cultural. Assim, trabalhamos com os concluintes cujos pais possuem escolaridade igual a Ensino Fundamental completo, Ensino Médio completo e Ensino Superior completo (seja em nível de graduação ou pós-graduação).

As distribuições das respostas nas alternativas dos itens nos sugerem que os sujeitos dos três grupos socioeconômicos são atraídos por distratores que abordam CACE e/ou DCCE. Em outras palavras, concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos atraem a resposta de alunos de todos os estratos sociais, denunciando uma deficiência no ensino e na aprendizagem de circuitos elétricos na educação básica como um todo. Entretanto, nem todos os grupos são atraídos da mesma forma. De modo geral, observamos que quanto maior a escolaridade dos pais dos candidatos, maior a taxa de acerto nos itens e, conseqüentemente, menor a adesão a distratores induzidos por CACE e/ou DCCE.

Algumas concepções alternativas e dificuldades sobre circuitos muito comuns, principalmente entre alunos mais jovens ou entre aqueles que não tiveram acesso à instrução científica sobre circuitos, foram observadas induzindo principalmente as respostas dos concluintes cujos pais cursaram até o Ensino Fundamental ou Médio. Isso nos permite inferir que há uma falha ainda mais grave no ensino e na aprendizagem do conteúdo circuitos elétricos para esses grupos, de forma que os alunos de condições socioeconômicas menos favorecidas tendem a terminar o Ensino Médio sem compreenderem os princípios básicos e fundamentais sobre esse conteúdo.

Já concepções alternativas e dificuldades comuns a respeito de curto-circuito, leitura de diagramas, associação de resistores e dispositivos eletrônicos ligados a circuitos foram identificadas para todos os grupos segmentados em função da escolaridade dos pais, sugerindo que mesmo os alunos mais privilegiados socioeconomicamente concluem o Ensino Médio sem alcançar o domínio desejado desses conteúdos. Pensar que concluintes

de todos os grupos demonstraram considerar adequados e factíveis esquemas envolvendo curtos-circuitos nos expõe uma falha muito grave no ensino e na aprendizagem desse conteúdo no Ensino Médio, ainda mais considerando-se os perigos que um curto pode representar na vida cotidiana dos sujeitos.

Para esta pesquisa identificamos, categorizamos e analisamos todos os itens sobre circuitos elétricos das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018. Ao todo foram encontrados dezenove itens, havendo outros dois que foram desconsiderados por também exigirem do aluno conhecimentos de outras áreas das Ciências da Natureza e da Matemática para serem resolvidos, estando fora do escopo da nossa investigação.

As dezenove questões foram distribuídas em quatro categorias de análise, definidas em função da natureza dos itens e da abordagem que fazem do conteúdo circuitos elétricos: itens qualitativos ou qualiquantitativos de resolução conceitual, com uso e sem uso de diagramas de circuitos (categorias verde e azul, respectivamente); e itens quantitativos ou qualiquantitativos de resolução algébrica, com uso e sem uso de diagramas de circuitos (categorias vermelha e laranja, respectivamente).

Os itens de resolução conceitual (categorias verde e azul) demonstram muito potencial para avaliar as concepções alternativas e dificuldades comuns sobre circuitos elétricos dos alunos concluintes do Ensino Médio. De fato, eles se aproximam muito do formato encontrado nos nossos referenciais de CACE e DCCE (GRAVINA; BUCHWEITZ, 1994; ENGELHARDT; BEICHER, 2004; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992), embora esses últimos tenham uma construção mais simplificada. Já os itens de resolução algébrica (categorias vermelha e laranja) também demonstram potencial para avaliar CACE e DCCE, mas com algumas ressalvas. Quando utilizam diagramas (categoria vermelha), são capazes de abordar concepções alternativas e dificuldades comuns diversas, algumas encontradas exclusivamente nesses casos. Já os itens sem diagramas (categoria laranja) não demonstraram muito potencial para esse fim. Na maioria das vezes eles investigaram apenas as habilidades algébricas dos estudantes em operar com equações que descrevem circuitos, deixando de lado a avaliação dos conceitos e princípios que regem os mesmos.

Entretanto, algumas características recorrentes na construção dos itens de resolução algébrica e a tendência de serem *multi-step* se mostraram um grande empecilho para que fossem utilizados na identificação de concepções alternativas e dificuldades comuns dos estudantes. A maioria das questões das categorias vermelha e laranja apresentaram algum fator dificultante não relacionado com o conteúdo avaliado, aparentemente incluído ali apenas para induzir os alunos ao erro (tal como uma apresentação confusa, excessiva ou detalhista, conteúdos ou contextos muito avançados para alunos de Ensino Médio, ou mesmo a utilização de números não adaptados às condições de realização da prova). Esses fatores levam os alunos ao erro não por um problema na aprendizagem do conteúdo,

mas por outros motivos diversos, de forma a comprometer a possibilidade de se obter informações a respeito das concepções alternativas e dificuldades dos concluintes sobre o conteúdo circuitos elétricos.

Entendemos que a inclusão desses fatores é proposital (pois os itens do ENEM passam por criteriosa seleção e revisão antes de comporem as provas) e fruto de uma ideologia que prega o aumento da complexidade das questões do ENEM para uma “melhor seleção” dos candidatos a terem acesso ao ensino superior. O fato dessas características aparecerem em itens de resolução algébrica, os quais já exigem um conhecimento bastante específico para sua resolução, corrobora essa nossa interpretação. Entretanto, julgamos que os itens formulados nesses moldes não são adequados nem para avaliar, nem para selecionar. Eles avaliam basicamente o quão treinado um aluno é em estratégias de resolução voltadas para um bom desempenho em vestibulares, enquanto privilegiam esses alunos bem treinados para o processo de seleção. Tais candidatos, em geral, são os de famílias com alto padrão socioeconômico, que proporcionaram aos seus filhos o acesso a esse treinamento. Logo, questões propositalmente complexas só atuam na reprodução acentuada da desigualdade social, indo contra o discurso proclamado pelo ENEM de democratização do acesso ao ensino superior. Em especial, os itens da categoria **laranja** foram os mais propensos à reprodução da desigualdade social.

Entretanto, se nos conformarmos com a lógica do ENEM em elaborar as provas com muitos itens de alta dificuldade e baixo índice de discriminação para uma “boa seleção”, mesmo que vá na contramão do que dizem nossos referenciais em psicometria ([PASQUALI, 2011](#)), identificamos uma possibilidade de selecionar e avaliar ao mesmo tempo. Essa possibilidade reside nos itens de resolução conceitual formulados com fortes concepções alternativas ou dificuldades comuns sobre circuitos induzindo aos seus distratores. Se bem construídos, com as alternativas de resposta dependendo do domínio conceitual do candidato sobre o conteúdo abordado, tais itens possibilitam a inferência de dificuldades e deficiências dos alunos frente ao conteúdo de circuitos elétricos, ao mesmo tempo que possuem baixos índices de facilidade e discriminação (pois os distratores atrairão os alunos para as alternativas erradas caso não tenham domínio conceitual do conteúdo).

Essa constatação nos leva a concordar com [McDermott e Shaffer \(1992\)](#), os quais já diziam não haver necessidade de itens extremamente complexos para revelar as dificuldades dos alunos. Os problemas conceituais se manifestam mesmo diante de circuitos simples, uma vez que CACE e DCCE muito enraizadas nos estudantes dizem respeito a conceitos básicos e fundamentais que sustentam a aprendizagem de circuitos elétricos.

Apesar de tudo o exposto até aqui, é preciso um adendo. Tal como constatou [Brito \(2015\)](#) ao investigar concepções alternativas nos itens de biologia do ENEM, aqui também identificamos que a presença de CACE (assim como de DCCE) nos itens sobre circuitos elétricos favorece os alunos de condições socioeconômicas mais privilegiadas. Por

outro lado, tanto [Kleinke \(2017\)](#) como [Nascimento \(2019\)](#) apontam os itens conceituais como mais propensos a serem socialmente mais justos. A saída que podemos vislumbrar para esse impasse e evitar a reprodução acentuada da desigualdade social é a inclusão de distratores na elaboração dos itens que atraíam alunos de todos os grupos sociais. É o caso, por exemplo, do item [13-79](#), que apresenta distratores distintos voltados para os grupos de diferentes realidades socioeconômicas.

Retomemos por um momento os trabalhos dos nossos colegas de grupo, [Marcom \(2019\)](#) e [Spazziani \(2019\)](#), os quais defendem ser possível aproximar o ENEM de características de uma avaliação formativa por meio de *feedbacks*/devolutivas pedagógicas (apesar de reforçarem que em nenhum momento ele se tornará uma avaliação formativa de fato). Numa perspectiva de complementá-los, acreditamos que essa possibilidade só seja viável se os itens do ENEM forem construídos com esse fim em mente, sendo o emprego proposital de concepções alternativas e dificuldades comuns dos estudantes na construção dos distratores um caminho para isso. Se uma grande porcentagem dos alunos concluintes do Ensino Médio de um perfil específico responder incorretamente a um item, optando por um distrator induzido por uma concepção alternativa ou dificuldade comum propositalmente abordada ali, haverá um indicativo de que os alunos desse perfil estão apresentando fortes problemas nesse ponto específico do conteúdo. Com o retorno dessa informação às escolas através do *feedback*, os professores poderão ter conhecimento desse diagnóstico feito através do ENEM para trabalhar mais cuidadosamente determinado conteúdo com seus alunos (os quais não são os mesmos que realizaram o ENEM mas, se do mesmo perfil desses, é de se esperar que apresentem dificuldades semelhantes).

Entretanto, a maior contribuição que vislumbramos para o uso de concepções alternativas e dificuldades comuns dos alunos na construção dos itens do ENEM reside na possibilidade de isso induzir professores do Ensino Médio a tomarem contato com esses assuntos, caso não os conheçam, e passarem a trabalhar com as concepções alternativas e as dificuldades mais comuns dos alunos sobre diferentes conteúdos específicos, amplamente catalogadas na literatura, durante as aulas e em suas próprias avaliações do cotidiano escolar. Sabemos da influência de exames de larga escala nos processos de ensino e aprendizagem escolares, em geral moldando a atividade em sala de aula de forma negativa e desfavorável às formas inovadoras de ensino ([PERRENOUD, 1999](#); [BLACK, 2009](#)). Mas, já que possui esse poder, acreditamos também que avaliações como o ENEM podem ser usadas como influência positiva, podendo atuar como meios de popularização entre os professores dos conhecimentos sobre as concepções alternativas e dificuldades comuns dos estudantes acumulados pelas pesquisas acadêmicas a quase meio século de investigação sobre o tema. Se essas concepções começam a aparecer com frequência nos itens de Ciências da Natureza e, por isso, serem discutidas, professores podem buscar um contato mais íntimo com elas e as pesquisas da área, levando-os a utilizá-las em suas próprias avaliações numa perspectiva de olhar não apenas o acerto, mas principalmente o erro do aluno, identificando

suas dificuldades e modelos alternativos, retroalimentando o ensino e favorecendo a prática da avaliação formativa dentro de sala de aula.

Essa possibilidade torna-se ainda mais relevante de ser considerada quando pensamos na formação dos professores que dão aula de física do Ensino Médio brasileiro. Segundo dados do Censo da Educação Básica de 2018, apenas 43,3% desses profissionais possuem, de fato, formação adequada para a área que atuam (BRASIL, 2019b). Ou seja, 56,7% dos professores que dão aula de física não são licenciados em física, mas licenciados em outras disciplinas, bacharéis ou mesmo profissionais de outras formações distintas. Esses professores não teriam tido em sua formação qualquer contato com os conhecimentos pedagógicos específicos do ensino de física, dentre eles o fundamental entendimento das dificuldades de aprendizagem e as concepções alternativas dos estudantes sobre conteúdos específicos da física (FERNANDEZ, 2015), tomando contato com esses temas apenas posteriormente na atividade prática da atuação docente. Se lembrarmos da importância de se conhecer as concepções alternativas dos estudantes para os processos de ensino e aprendizagem escolares, discutida no capítulo 1, encontramos aqui uma das principais barreiras para um adequado ensino de física nas escolas. Isso pode, inclusive, nos auxiliar a compreender a forte presença de CACE e DCCE nas respostas dos alunos aos itens do ENEM. Se o professor não tem formação adequada e clara noção das concepções alternativas e dificuldades dos alunos sobre determinado conteúdo, dificilmente ele trabalhará adequadamente com tais temas em sala de aula e, conseqüentemente, seus alunos apresentarão deficiências na aprendizagem de tal conteúdo ao final da educação básica. Assim, induzir o contato entre os professores que ensinam física e o conhecimento sobre concepções alternativas através da utilização de tais concepções na construção dos itens do ENEM poderia, inclusive, auxiliar a diminuir um pouco essa deficiência de formação dos professores não licenciados em física.

Apesar das vantagens apontadas aqui para o uso das CA no ENEM, devemos reforçar que essa é uma questão controversa. Enquanto para nós, que a olhamos segundo a perspectiva de pesquisadores, o uso de concepções alternativas nos itens aponta um caminho para avaliar a aprendizagem dos alunos concluintes do Ensino Médio a respeito de conceitos específicos, assim como para a popularização da pesquisa sobre o tema; professores ou mesmo outros pesquisadores podem ter uma visão divergente da nossa. Brito (2015), por exemplo, condena o uso das CA no ENEM, argumentando que elas induzem, desnecessariamente, o aluno ao erro, atuando como “pegadinhas”. De fato, se pensarmos da perspectiva dos professores, é compreensível a frustração ao, após todo o trabalho realizado em sala de aula, ter seu aluno respondendo incorretamente um item do exame devido à presença de uma concepção alternativa incluída ali propositalmente para atraí-lo. O próprio guia de elaboração de itens do INEP é ambíguo a respeito dessa questão. Segundo ele, as alternativas de resposta

[...] devem ser plausíveis, isto é, devem parecer corretas para aqueles participantes do teste que não desenvolveram a habilidade em questão. Isso significa que o distrator plausível deve retratar hipóteses de raciocínio utilizadas na busca da solução da situação-problema apresentada. Como consequência, se esse distrator retrata uma dificuldade real do participante com relação à habilidade, não devem ser criadas situações capazes de induzi-lo ao erro. A utilização de erros comuns observados em situação de ensino-aprendizagem costuma aumentar a plausibilidade dos distratores. [...] (BRASIL, 2010, p. 11)

Ora, sendo assim, usar concepções alternativas (assim como outras dificuldades comuns observadas nos alunos) na elaboração dos distratores seria criar uma situação para induzir o aluno ao erro e, por isso, deve ser evitada? Ou trata-se de criar uma alternativa de resposta plausível, pautada em hipóteses de raciocínio utilizadas na busca de solução dos problemas decorrentes de erros comuns observados nas salas de aula de diversos lugares do mundo? Brito (2015), por exemplo, interpreta essa questão da primeira forma e, por isso, condena o uso das CA nos itens. Nós, por outro lado, interpretamos da segunda maneira e vemos nisso uma oportunidade de reaproximar o ENEM de seu papel avaliador do Ensino Médio brasileiro. Para reforçar nosso posicionamento, apoiamos-nos também na Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM (BRASIL, 2009). Associada à competência de área 1 – referente à compreensão das ciências naturais como construções humanas – a Matriz traz a habilidade de saber “confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas” (p. 8). Tal trecho faz clara alusão às concepções alternativas, apontando a diferenciação entre elas e as concepções científicas como uma das habilidades desejáveis aos alunos concluintes da educação básica, em harmonia com a noção de aprendizagem de ciências apontada pelo Modelo de Perfil Conceitual de Mortimer (2000).

Aproximando-nos do término desta dissertação, julgamos que nossos referenciais foram suficientes e nossos resultados são pertinentes, mas possuem limitações por conta da dimensão subjetiva devido à metodologia qualitativa que utilizamos para identificar as CACE e DCCE envolvidas em cada item do ENEM. Apesar de termos nos pautado em sólidos referenciais de CACE e DCCE para essa análise, nada nos garante que tais concepções e dificuldades comuns foram incluídas nos distratores conscientemente pelos redatores dos itens, ou mesmo que elas foram, de fato, as responsáveis por induzir os alunos às respostas incorretas. Para superar essas limitações, um caminho seria realizar entrevistas com os elaboradores dos itens, o que é inviável devido ao anonimato dos mesmos. Ou ainda, no caso dos alunos, ter acesso aos cadernos de resolução de alguns deles para analisar seus rascunhos, o que questionamos ser possível devido à dificuldade da coleta do material. Uma metodologia capaz de sanar essa segunda questão seria aplicar os itens do nosso *corpus* de análise a alunos concluintes do Ensino Médio e acompanhar suas resoluções, seja pela redação dos raciocínios utilizados, pela realização de entrevistas, ou mesmo pela gravação de discussões, caso as resoluções fossem feitas por um grupo de alunos. Com

posse de tais dados, uma análise de conteúdo poderia revelar quais as CACE e DCCE principais utilizadas pelos estudantes investigados e os distratores mais assinalados. Se esses distratores coincidissem com a distribuição das respostas fruto dos microdados das aplicações do ENEM, haveria um forte indicativo de que tais CACE e DCCE, de fato, foram as responsáveis por induzir os candidatos do exame a determinadas alternativas de resposta. Pretendíamos seguir uma metodologia dessa natureza inicialmente, entretanto, por indisponibilidade de tempo suficiente para sua realização, acabamos por não utilizá-la nesta pesquisa.

Acreditamos que este trabalho mostre o potencial de se investigar as concepções alternativas envolvidas nos itens do ENEM para identificar as principais dificuldades dos alunos, num panorama nacional, a respeito de circuitos. Pesquisas futuras semelhantes podem ser realizadas a fim de esclarecer as dificuldades dos alunos em outras áreas da Física ou em outras disciplinas que compõem a prova de Ciências da Natureza do ENEM.

Por fim, dado o contexto de disputas políticas no qual o ENEM se encontra atualmente, gostaríamos de terminar esta dissertação reforçando nosso posicionamento a favor desse exame. Apesar de seus problemas, é preciso reconhecer e defender a riqueza das informações acerca dos anos finais da educação básica que ele fornece, além dos avanços que permitiu no longo processo de democratização do ensino superior. Expomos os problemas do ENEM para que possamos melhorá-lo, expandindo cada vez mais as possibilidades de investigações e inferências a serem realizadas, assim como para caminhar no sentido de diminuir a desigualdade socioeconômica impressa em seus resultados.

## Referências

- ALAGUMALAI, S.; CURTIS, D. D.; HUNGI, N. *Applied Rasch measurement: A book of exemplars*. Dordrecht: Springer, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 18, 74, 82 e 83.
- BACHELARD, G. A filosofia do não: filosofia do novo espírito científico. In: CIVITA, V. (Ed.). *Os pesadores: Bachelard*. São Paulo: Abril Cultural, 1978. Citado na página 29.
- BAO, L.; REDISH, E. F. Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 69, n. S1, p. S45–S53, jul. 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.1371253>>. Acesso em: 15 out. 2019. Citado 5 vezes nas páginas 18, 74, 82, 83 e 96.
- BARBOSA, M. E.; PÔSSAS, I. B. O ENEM frente as diferenças socioespaciais: uma análise comparativa de fatores espaciais com o desempenho médio do ENEM (2006-2014). *Revista Interface*, Porto Nacional, n. 14, p. 38–52, 2017. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/4777>>. Acesso em: 15 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 68 e 71.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2002. Citado 5 vezes nas páginas 18, 74, 80, 81 e 86.
- BEICHNER, R. J. Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 62, n. 8, p. 750–762, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.17449>>. Acesso em: 30 out. 2019. Citado na página 84.
- BLACK, P. Os professores podem usar a avaliação para melhorar o ensino? *Práxis Educativa (Brasil)*, Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 195–201, 2009. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/894/89412348010.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 64, 65, 66 e 133.
- BONJORNO, J. R. et al. *Física: eletromagnetismo, física moderna*, 3º ano. 3. ed. São Paul: FDT, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 38, 79 e 122.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J.-C. *A reprodução: elementos para uma teoria do sistema de ensino*. Tradução Reynaldo Bayrão, revisão Pedro Benjamim Garcia e Ana Maria Baeta. 3. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1992. Citado 3 vezes nas páginas 19, 69 e 79.
- BRASIL. Portaria nº 109, de 27 de maio de 2009. *Diário Oficial da União*, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), Brasília, n. 100, p. 56–63, 28 maio. 2009. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/enem/legislacao/2009/portaria\\_enem\\_2009\\_1.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/legislacao/2009/portaria_enem_2009_1.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2019. Citado na página 59.
- BRASIL. Edital nº 14, de 21 de março de 2019, Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM 2019. *Diário Oficial da União, teste*, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), Brasília, n. 57, p. 59–72, 25 mar. 2019. Disponível em: <<http://>

[//download.inep.gov.br/educacao\\_basica/enem/edital/2019/edital\\_enem\\_2019.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/edital/2019/edital_enem_2019.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2019. Citado na página 59.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Enem*: relatório final 98. Brasília: INEP, 1998. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/relatorios-pedagogicos>>. Acesso em: 9 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 68.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Enem*: relatório final 1999. Brasília: INEP, 2000. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/relatorios-pedagogicos>>. Acesso em: 9 set. 2019. Citado na página 58.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Matriz de Referência ENEM*. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/download/enem/matriz\\_referencia.pdf](http://download.inep.gov.br/download/enem/matriz_referencia.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 60, 67, 72 e 135.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Guia de elaboração e revisão de itens*: vol. 1. Brasília, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 61, 67, 98 e 135.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Relatório Pedagógico: Enem 2011-2012*. Brasília: INEP, 2015. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/relatorios-pedagogicos>>. Acesso em: 9 set. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 59, 60, 61 e 68.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Histórico. In: \_\_\_\_\_. *ENEM*. Brasília: INEP, 2019. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/enem/historico>>. Acesso em: 10 jul. 2019. Citado na página 59.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). *Resumo Técnico: Censo da educação básica 2018*. Brasília: INEP, 2019. Citado na página 134.

BRASIL. Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, 1999. Citado na página 72.

BRASIL. Ministério da Educação. *PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, 2002. Citado 3 vezes nas páginas 31, 35 e 72.

BRAVIN, H. C. et al. Fusíveis e disjuntores: tão presentes e ao mesmo tempo tão mal compreendidos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. *Atas...* Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0619-1.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 56.

- BRITO, B. R. *As concepções alternativas em exames de larga escala: uma análise das questões de biologia do ENEM*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/304784>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado 6 vezes nas páginas 66, 67, 84, 132, 134 e 135.
- BRITO, B. R.; GEBARA, M. J. F. As concepções alternativas em exames de larga escala: uma análise das questões de biologia do enem. In: ENPEC. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 10., 2015, Águas de Lindóia. *Anais...* Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2019. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1523-1.PDF>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 67.
- CACHAPUZ, A. et al. (Org.). *A necessária renovação do ensino das ciências*. São Paulo: Cortez, 2005. Citado na página 22.
- COMVEST. Comissão Permanente para os Vestibulares. *Análise e caracterização estatística das provas: Vestibular unicamp 2012*. Campinas, 2012. Disponível em: <[http://www.comvest.unicamp.br/estatisticas/2012/distrib\\_notas/pdf/estatisticas2012.pdf](http://www.comvest.unicamp.br/estatisticas/2012/distrib_notas/pdf/estatisticas2012.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 83.
- DOMINGUEZ, M. E. *Deteção de alguns conceitos intuitivos em eletricidade através de entrevistas clínicas*. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Ensino de Física) — Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985. Citado na página 38.
- 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. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc09/aluno.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2019. Citado 7 vezes nas páginas 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 28.
- 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, n. 1, p. 61–84, 1978. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- DRIVER, R. et al. *Making Sense of Secondary Science: Research into children's ideas*. 1. ed. Londres: Routledge, 1994. Citado 21 vezes nas páginas 17, 18, 23, 24, 37, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 74, 79, 105, 108 e 121.
- ENEM 20 anos: um Exame do tamanho do Brasil. Direção: Spill Suarez. Coordenação de produção: Daniela Pontes. Produção: Carolina Mariko. Inep Oficial; TV Escola, 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/GDIGjjEABLg>>. Acesso em: 10 jul. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.
- 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.1614813>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado 27 vezes nas páginas 16, 17, 18, 36, 37, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 63, 74, 79, 84, 100, 126 e 131.
- FERNANDEZ, C. Revisitando a base de conhecimentos e o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) de professores de ciências. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v. 17, n. 2, p.

500–528, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1983-21172015170211>>. Acesso em: 22 fev. 2020. Citado na página 134.

FRANCO, M. L. P. B. *Análise de conteúdo*. 2. ed. Brasília: Liber Livro, 2005. Citado 5 vezes nas páginas 18, 74, 80, 81 e 86.

GONÇALVES JR, W. P.; BARROSO, M. F. As questões de física e o desempenho dos estudantes no enem. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, n. 1, p. 1402, 2014. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/361402.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019. Citado na página 61.

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. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/116895>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado 26 vezes nas páginas 16, 17, 18, 36, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 62, 74, 79, 100, 105, 121, 126 e 131.

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. Citado 6 vezes nas páginas 38, 43, 51, 79, 121 e 122.

HERNANDES, J. S.; MARTINS, M. I. Categorização de questões de física do Novo ENEM. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, n. 1, p. 58–83, 2013. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165881>>. Acesso em: 10 set. 2019. Citado na página 61.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. *The Physics Teacher*, American Association of Physics Teachers, v. 30, n. 3, p. 141–158, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.2343497>>. Acesso em: 30 out. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 84.

KLEINKE, M. U. Influência do status socioeconômico no desempenho dos estudantes nos itens de física do Enem 2012. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, n. 2, e2402, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/324769>>. Acesso em: 10 set. 2019. Citado 7 vezes nas páginas 19, 67, 68, 69, 71, 95 e 133.

MARCOM, G. S. *O ENEM como indicador qualitativo do ensino: uma aplicação a questões de física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/253978>>. Acesso em: 11 set. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 61, 79, 84 e 94.

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. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/334809>>. Acesso em: 11 set. 2019. Citado 12 vezes nas páginas 18, 20, 59, 61, 64, 65, 66, 71, 79, 84, 109 e 133.

MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. U. Análises dos distratores das questões de física em exames de larga escala. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, n. 1, p. 72–91, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n1p72>>. Acesso em: 10 set. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 61, 62, 79 e 84.

MARCOM, G. S.; KLEINKE, M. U. Gênero e status socioeconômico: reflexões sobre o desempenho dos candidatos na prova de Ciências na Natureza do ENEM 2014. *Perspectiva Sociológica: A Revista de Professores de Sociologia*, Rio de Janeiro, n. 19, p. 44–52, 2017. Disponível em: <<http://www.cp2.g12.br/ojs/index.php/PS/article/view/1174>>. Acesso em: 15 set. 2019. Citado na página 71.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1119/1.17003>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado 23 vezes nas páginas 17, 18, 37, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 74, 79, 100, 101, 108, 131 e 132.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, Springer Netherlands, v. 4, n. 3, p. 267–285, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00486624>>. Acesso em: 20 dez. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 28, 29 e 30.

MORTIMER, E. F. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000. Citado 3 vezes nas páginas 30, 37 e 135.

NASCIMENTO, M. M. *O acesso ao ensino superior público brasileiro: um estudo quantitativo a partir dos microdados do exame nacional do ensino médio*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/188431>>. Acesso em: 13 set. 2019. Citado 10 vezes nas páginas 19, 68, 69, 70, 71, 72, 79, 94, 95 e 133.

OLIVEIRA, C. F. de. *Os contextos na prova de ciências da natureza do ENEM: uma medida do seu impacto no desempenho dos estudantes*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, 2014. Citado na página 94.

PALHARES, I. Aos 20 anos, enem se consolida como a maior prova do país, mas deve mudar. *Estadão*, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://educacao.estadao.com.br/noticias/geral,aos-20-anos-enem-se-consolida-como-a-maior-prova-do-pais-mas-deve-mudar,70002568288>>. Acesso em: 13 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 59 e 60.

PASQUALI, L. *Psicometria: teoria dos testes na psicologia e na educação*. 4. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2011. Citado 8 vezes nas páginas 18, 74, 81, 82, 83, 94, 108 e 132.

PERRENOUD, P. A avaliação entre duas lógicas. In: \_\_\_\_\_. *Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens: entre duas lógicas*. Porto Alegre: Artmed, 1999. p. 9–23. Citado 5 vezes nas páginas 18, 64, 65, 66 e 133.

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. Citado 28 vezes nas páginas 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 36, 37, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 74, 79 e 121.

- PRIMI, R. Psicometria: fundamentos matemáticos da teoria clássica dos testes. *Avaliação Psicológica*, Instituto Brasileiro de Avaliação Psicológica, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 297–307, ago. 2012. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3350/335027501015.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 18, 74 e 82.
- RINALDI, C. *Concepções alternativas em eletricidade básica*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1989. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.
- SILVA, V. A. da; MARTINS, M. I. Análise de questões de física do enem pela taxonomia de bloom revisada. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, n. 3, p. 189–202, 2014. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/1295/129532893010.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019. Citado na página 61.
- SILVEIRA, F. L. d.; BARBOSA, M. C. B.; SILVA, R. d. Exame nacional do ensino médio (enem): uma análise crítica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, n. 1, p. 1101, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172015000101101&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172015000101101&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em: 10 set. 2019. Citado na página 61.
- SILVEIRA, F. L. d.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. *Ciência e Cultura*, v. 41, n. 11, p. 1129–1133, 1989. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Teste\\_corrente\\_eletrica.pdf](https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Teste_corrente_eletrica.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado na página 38.
- SPAZZIANI, G. P. *Devolutivas pedagógicas contruídas a partir das escolhas das alternativas pelos candidatos nos itens de física do ENEM*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) — Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, 2019. Citado 9 vezes nas páginas 18, 20, 61, 64, 65, 66, 79, 109 e 133.
- TARAS, M. De volta ao básico: definições e processos de avaliação. *Práxis Educativa (Brasil)*, Ponta Grossa, v. 5, n. 2, p. 123–130, 2010. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/894/89415701002.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 64 e 65.
- TRAVITZKI, R.; FERRÃO, M. E.; COUTO, A. P. Desigualdades educacionais e socioeconômicas na população brasileira pré-universitária: uma visão a partir da análise de dados do ENEM. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, Arizona State University, Tempe, v. 24, p. 1–32, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 68, 71 e 78.
- VIEIRA, J. S. et al. Conservação de corrente elétrica num circuito elementar: o que os alunos pensam a respeito. *Caderno catarinense de ensino de física*, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 12–16, 1986. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/85005/000112955.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado na página 38.
- YAGUTI, R.; GEBARA, M. J. F. As concepções alternativas em ondulatória nas provas do enem. In: ENPEC. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 10., 2015, Águas de Lindóia. *Anais...* Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2019. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1845-1.PDF>>. Acesso em: 24 ago. 2019. Citado na página 66.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Quadro auxiliar da análise qualitativa

Quadro 8 – Parâmetros para categorização dos itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018.

Parâmetros		Itens				
Natureza	Qualitativa	11-70 16-74	12-73	13-72	13-79	15-68
	Quantitativa	10-48 17-108	10-70 17-111	11-60 17-130	13-83 18-106	16-59 18-109
	Qualiquantitativa	09-45	13-75	14-57		
Diagramas de Circuitos	Utiliza (dado ou descrito)	09-45 13-83 17-111	10-48 14-57 17-130	11-70 15-68 18-106	12-73 16-59	13-72 16-74
	Não utiliza	10-70 18-109	11-60	13-75	13-79	17-108
Resolução	Resolução conceitual	09-45 14-57	11-70 15-68	12-73 16-74	13-72	13-79
	Resolução algébrica	10-48 16-59 18-109	10-70 17-108	11-60 17-111	13-75 17-130	13-83 18-106

Fonte: Produzido pela autora.

## APÊNDICE B – Itens sobre circuitos elétricos do ENEM 2009 a 2018: análise dos distratores

Neste apêndice apresentamos os dados e um resumo das análises<sup>1</sup> de todos os itens sobre circuitos elétricos das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018<sup>2</sup>, com exceção das questões [09-45](#), [13-72](#), [13-75](#), [13-79](#), [14-57](#) e [18-106](#), as quais já foram analisadas na seção 5.5 e, por isso, não serão repetidas aqui. Para facilitar a navegação, reproduzimos o conteúdo do quadro 3 no quadro abaixo (9), reunindo todos os itens do nosso *corpus* de análise. Os códigos coloridos indicam a categoria a qual cada item pertence segundo sua natureza e abordagem que faz do conteúdo, conforme apresentado na seção 5.1. Tais códigos estão com o recurso de hiperlink ativo na versão digital deste documento, redirecionando o(a) leitor(a) para o local exato onde discutimos cada item.

Quadro 9 – Itens sobre circuitos elétricos das provas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do ENEM aplicadas entre 2009 e 2018.

Prova				Prova			
Ano	Caderno	Item	Código	Ano	Caderno	Item	Código
2009	azul	45	<a href="#">09-45</a>	2014	azul	57	<a href="#">14-57</a>
2010	azul	48	<a href="#">10-48</a>	2015	azul	68	<a href="#">15-68</a>
		70	<a href="#">10-70</a>	2016	azul	59	<a href="#">16-59</a>
2011	azul	60	<a href="#">11-60</a>			74	<a href="#">16-74</a>
		70	<a href="#">11-70</a>	2017	amarelo	108	<a href="#">17-108</a>
2012	azul	73	<a href="#">12-73</a>			111	<a href="#">17-111</a>
		72	<a href="#">13-72</a>			130	<a href="#">17-130</a>
2013	azul	75	<a href="#">13-75</a>	2018	amarelo	106	<a href="#">18-106</a>
		79	<a href="#">13-79</a>			109	<a href="#">18-109</a>
		83	<a href="#">13-83</a>				

Fonte: Produzido pela autora.

<sup>1</sup> As análises detalhadas dos itens, tal como as que trouxemos no corpo da dissertação, encontram-se arquivadas em formato de documento manuscrito com a autora.

<sup>2</sup> Lembrando que itens de natureza interdisciplinar ou que abordam simultaneamente a circuitos elétricos outros conteúdos da Física não fazem parte do nosso *corpus* de análise e, portanto, não serão apresentados ou analisados aqui.

## B.1 ENEM 2010, prova azul, item 48 (10-48)

Figura 22 – ENEM 2010, prova azul, item 48.

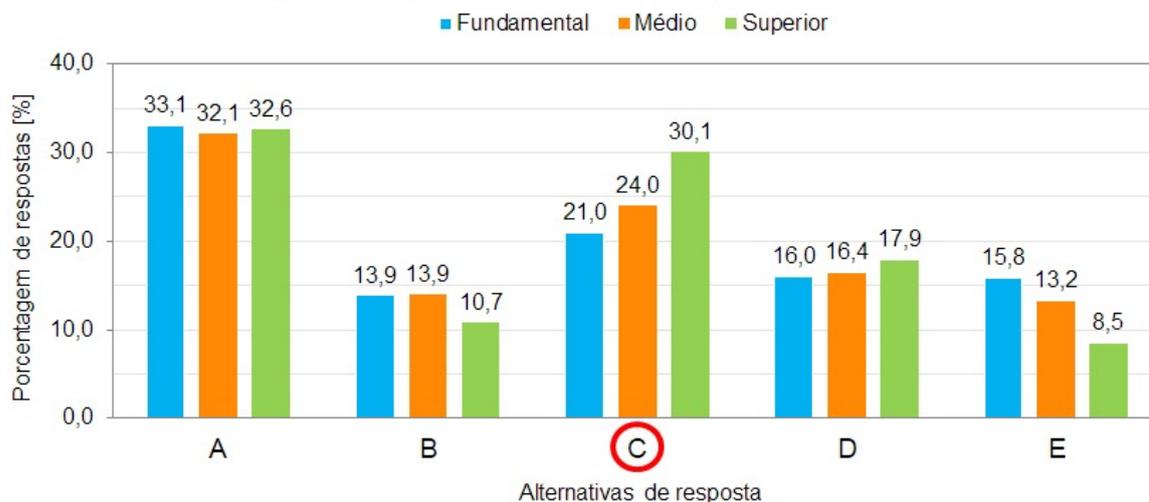
Todo carro possui uma caixa de fusíveis, que são utilizados para proteção dos circuitos elétricos. Os fusíveis são constituídos de um material de baixo ponto de fusão, como o estanho, por exemplo, e se fundem quando percorridos por uma corrente elétrica igual ou maior do que aquela que são capazes de suportar. O quadro a seguir mostra uma série de fusíveis e os valores de corrente por eles suportados.

Fusível	Corrente Elétrica (A)
Azul	1,5
Amarelo	2,5
Laranja	5,0
Preto	7,5
Vermelho	10,0

Um farol usa uma lâmpada de gás halogênio de 55 W de potência que opera com 36 V. Os dois faróis são ligados separadamente, com um fusível para cada um, mas, após um mau funcionamento, o motorista passou a conectá-los em paralelo, usando apenas um fusível. Dessa forma, admitindo-se que a fiação suporte a carga dos dois faróis, o menor valor de fusível adequado para proteção desse novo circuito é o

- A azul.
- B preto.
- C laranja.
- D amarelo.
- E vermelho.

Item 10-48: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais			
N	ID	Escolaridade de ambos os pais	N	IF	IC
1058417	0,203	Ensino Fundamental	86960	0,210	0,048
		Ensino Médio	160359	0,240	0,051
		Ensino Superior	63926	0,301	0,093

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 10 – Resumo da análise do item 10-48.

**Parâmetros para categorização**

Quadro 8

Natureza:	Quantitativa
Diagramas de circuitos:	Utiliza (descrito no enunciado)
Resolução:	Resolução algébrica
Categoria:	Vermelha

**Problemas de elaboração do item**

Quadro 4

Detalhismo exagerado para induzir o erro  
 Operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova  
 Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)

**Distratores principais**

Quadros 6 e 7

Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
A	x	x	x	Fusível com sobrecarga não rompe o circuito	Resolução algorítmica sem respaldo conceitual	Divisão por inteiro

Fonte: Produzido pela autora.

## B.2 ENEM 2010, prova azul, item 70 (10-70)

Figura 23 – ENEM 2010, prova azul, item 70.

Observe a tabela seguinte. Ela traz especificações técnicas constantes no manual de instruções fornecido pelo fabricante de uma torneira elétrica.

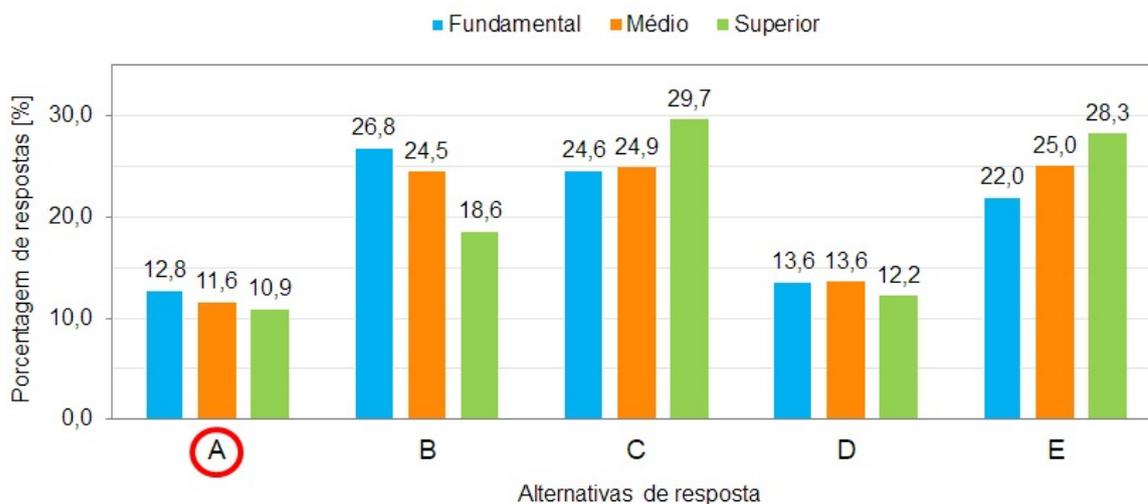
Especificações Técnicas				
Modelo	Torneira			
	127		220	
Tensão Nominal (Volts~)				
	(Frio) Desligado			
Potência Nominal (Watts) (Morno)	2 800	3 200	2 800	3 200
	(Quente)			
Corrente Nominal (Ampères)	35,4	43,3	20,4	25,0
Fiação Mínima (Até 30 m)	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>
Fiação Mínima (Acima 30 m)	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>
Disjuntor (Ampères)	40	50	25	30

Disponível em: [http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/-Manual\\_Torneira\\_Suprema\\_roo.pdf](http://www.cardal.com.br/manualprod/Manuais/Torneira%20Suprema/-Manual_Torneira_Suprema_roo.pdf)

Considerando que o modelo de maior potência da versão 220 V da torneira suprema foi inadvertidamente conectada a uma rede com tensão nominal de 127 V, e que o aparelho está configurado para trabalhar em sua máxima potência. Qual o valor aproximado da potência ao ligar a torneira?

- A** 1.830 W
- B** 2.800 W
- C** 3.200 W
- D** 4.030 W
- E** 5.500 W

Item 10-70: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1058417	0,009	Ensino Fundamental		86960	0,127	0,033
		Ensino Médio		160359	0,116	0,036
		Ensino Superior		63926	0,109	0,060

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 11 – Resumo da análise do item 10-70.

Parâmetros para categorização						
Quadro 8						
Natureza:	Quantitativa					
Diagramas de circuitos:	Não utiliza					
Resolução:	Resolução algébrica					
Categoria:	Laranja					

Problemas de elaboração do item						
Quadro 4						
Informações (texto, tabela, imagens) excessivas ou confusas						
Detalhismo exagerado para induzir o erro						
Operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova						
Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)						

Distratores principais						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
B	x	x		Resistência não inerente ao resistor	-	Cópia de algum valor apresentado em destaque e erro decorrente da dificuldade de compreender a apresentação do item
C	x	x	x	Aplicação incorreta de equações	Resistência não inerente ao resistor e bateria como fonte de corrente constante	Cópia de algum valor apresentado em destaque e erro decorrente da dificuldade de compreender a apresentação do item
E	x	x	x	Resistência não inerente ao resistor	-	Cópia de algum valor apresentado em destaque e erro decorrente da dificuldade de compreender a apresentação do item

Fonte: Produzido pela autora.

### B.3 ENEM 2011, prova azul, item 60 (11-60)

Figura 24 – ENEM 2011, prova azul, item 60.

Em um manual de um chuveiro elétrico são encontradas informações sobre algumas características técnicas, ilustradas no quadro, como a tensão de alimentação, a potência dissipada, o dimensionamento do disjuntor ou fusível, e a área da seção transversal dos condutores utilizados.

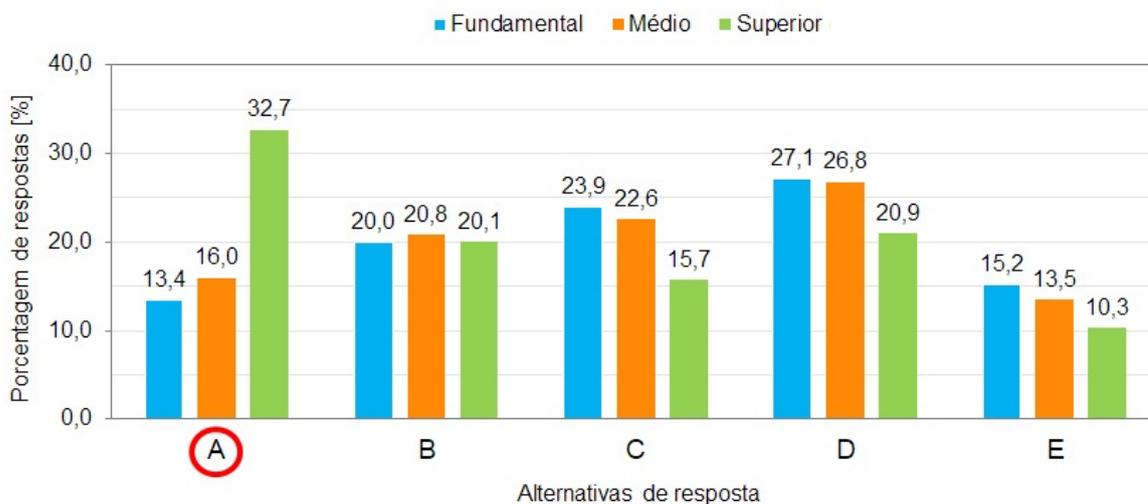
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Especificação			
Modelo		A	B
Tensão (V ~)		127	220
Potência (Watt)	Seletor de Temperatura Multitemperaturas	○	0
		●	2 440
		●●	4 400
		●●●	5 500
Disjuntor ou Fusível (Ampère)		50	30
Seção dos condutores (mm <sup>2</sup> )		10	4

Uma pessoa adquiriu um chuveiro do modelo A e, ao ler o manual, verificou que precisava ligá-lo a um disjuntor de 50 amperes. No entanto, intrigou-se com o fato de que o disjuntor a ser utilizado para uma correta instalação de um chuveiro do modelo B devia possuir amperagem 40% menor.

Considerando-se os chuveiros de modelos A e B, funcionando à mesma potência de 4 400 W, a razão entre as suas respectivas resistências elétricas,  $R_A$  e  $R_B$ , que justifica a diferença de dimensionamento dos disjuntores, é mais próxima de:

- A) 0,3.
- B) 0,6.
- C) 0,8.
- D) 1,7.
- E) 3,0.

Item 11-60: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1238519	0,166	Ensino Fundamental		79345	0,134	0,027
		Ensino Médio		12091	0,160	0,023
		Ensino Superior		61159	0,327	0,054

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

## Quadro 12 – Resumo da análise do item 11-60.

**Parâmetros para categorização**

Quadro 8

Natureza:	Quantitativa
Diagramas de circuitos:	Não utiliza
Resolução:	Resolução algébrica
Categoria:	Laranja

**Problemas de elaboração do item**

Quadro 4

Operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova

**Distratores principais**

Quadros 6 e 7

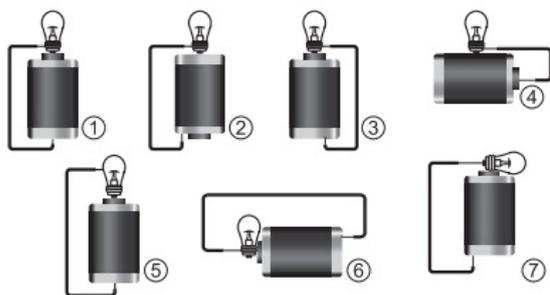
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
D	x	x	x	-	-	Divisão por inteiro
C	x	x		-	-	Divisão por inteiro
B	x	x	x	Aplicação incorreta de equações	-	Divisão por inteiro

Fonte: Produzido pela autora.

### B.4 ENEM 2011, prova azul, item 70 (11-70)

Figura 25 – ENEM 2011, prova azul, item 70.

Um curioso estudante, empolgado com a aula de circuito elétrico que assistiu na escola, resolve desmontar sua lanterna. Utilizando-se da lâmpada e da pilha, retiradas do equipamento, e de um fio com as extremidades descascadas, faz as seguintes ligações com a intenção de acender a lâmpada:

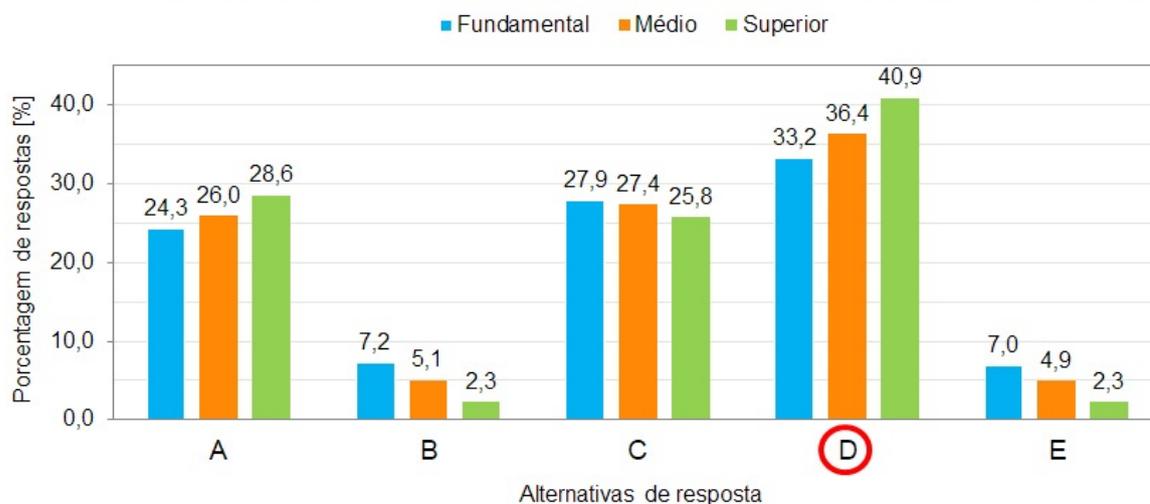


GONÇALVES FILHO, A.; BAROLLI, E. *Instalação Elétrica: investigando e aprendendo*. São Paulo: Scipione, 1997 (adaptado).

Tendo por base os esquemas mostrados, em quais casos a lâmpada acendeu?

- A (1), (3), (6)
- B (3), (4), (5)
- C (1), (3), (5)
- D (1), (3), (7)**
- E (1), (2), (5)

Item 11-70: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1238519	0,271	Ensino Fundamental		79345	0,332	0,112
		Ensino Médio		120919	0,364	0,151
		Ensino Superior		61159	0,409	0,210

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

## Quadro 13 – Resumo da análise do item 11-70.

<b>Parâmetros para categorização</b>						
Quadro 8						
Natureza:	Qualitativa					
Diagramas de circuitos:	Utiliza					
Resolução:	Resolução conceitual					
Categoria:	Verde					

<b>Problemas de elaboração do item</b>						
Quadro 4						
-						

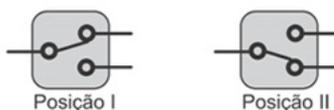
<b>Distratores principais</b>						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
C	x	x	x	Circuito aberto aceitável	Contatos da lâmpada incorretos	Padrão entre as alternativas
A	x	x	x	Contatos da lâmpada incorretos	-	-

Fonte: Produzido pela autora.

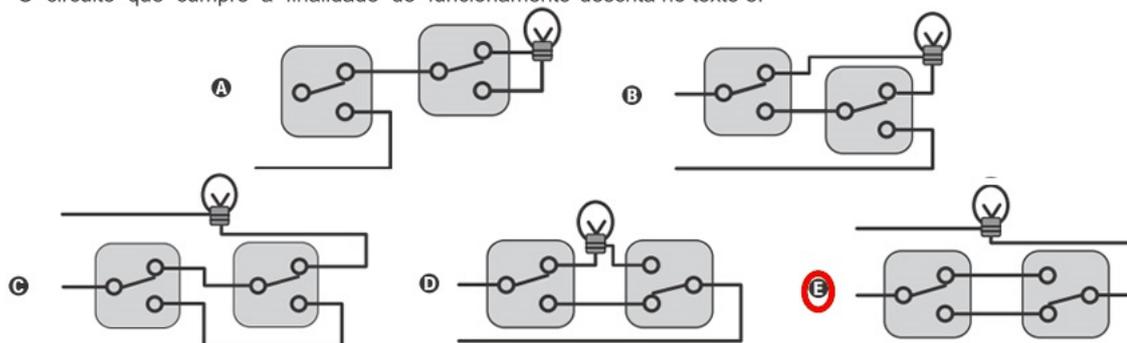
### B.5 ENEM 2012, prova azul, item 73 (12-73)

Figura 26 – ENEM 2012, prova azul, item 73.

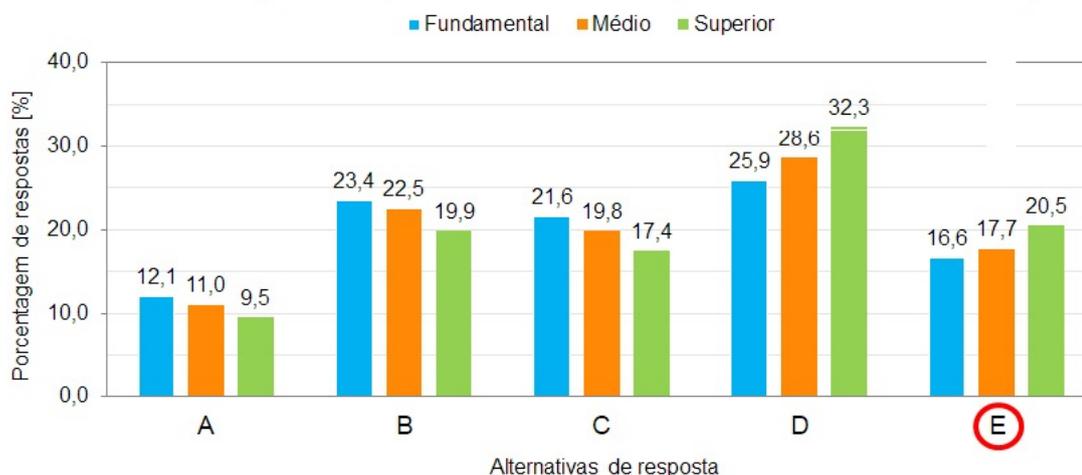
Para ligar ou desligar uma mesma lâmpada a partir de dois interruptores, conectam-se os interruptores para que a mudança de posição de um deles faça ligar ou desligar a lâmpada, não importando qual a posição do outro. Esta ligação é conhecida como interruptores paralelos. Este interruptor é uma chave de duas posições constituída por um polo e dois terminais, conforme mostrado nas figuras de um mesmo interruptor. Na Posição I a chave conecta o polo ao terminal superior, e na Posição II a chave o conecta ao terminal inferior.



O circuito que cumpre a finalidade de funcionamento descrita no texto é:



Item 12-73: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais			
N	ID	Escolaridade de ambos os pais	N	IF	IC
1089116	0,113	Ensino Fundamental	123397	0,166	0,025
		Ensino Médio	159484	0,177	0,033
		Ensino Superior	93415	0,205	0,053

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 14 – Resumo da análise do item 12-73.

<b>Parâmetros para categorização</b>						
Quadro 8						
Natureza:	Qualitativa					
Diagramas de circuitos:	Utiliza					
Resolução:	Resolução conceitual					
Categoria:	Verde					

<b>Problemas de elaboração do item</b>						
Quadro 4						
-						

<b>Distratores principais</b>						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
D	x	x	x	Curto-circuito aceitável	-	-
B	x	x		Circuito aberto aceitável	Modelo unipolar e corrente num fio interrompido	-
C	x			Circuito aberto aceitável	Modelo unipolar e corrente num fio interrompido	-

Fonte: Produzido pela autora.

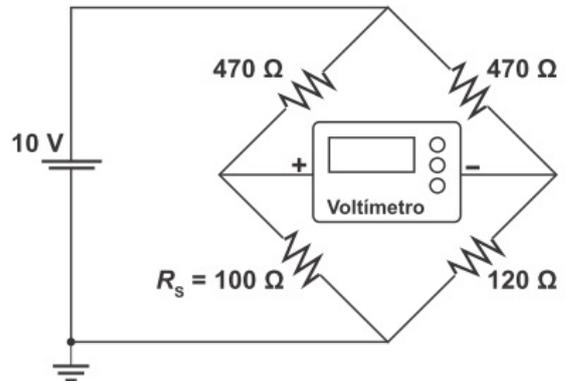
## B.6 ENEM 2013, prova azul, item 83 (13-83)

Figura 27 – ENEM 2013, prova azul, item 83.

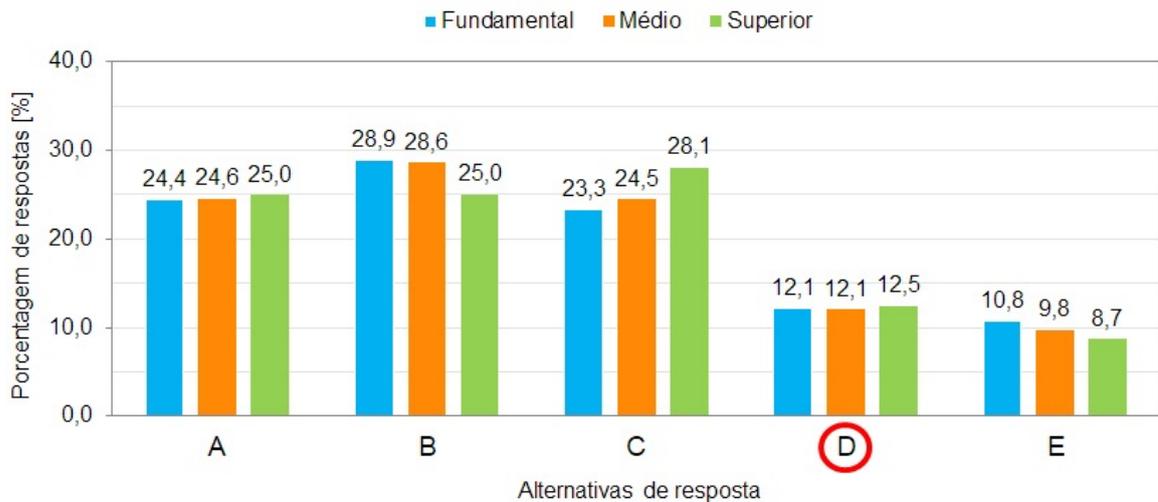
Medir temperatura é fundamental em muitas aplicações, e apresentar a leitura em mostradores digitais é bastante prático. O seu funcionamento é baseado na correspondência entre valores de temperatura e de diferença de potencial elétrico. Por exemplo, podemos usar o circuito elétrico apresentado, no qual o elemento sensor de temperatura ocupa um dos braços do circuito ( $R_s$ ) e a dependência da resistência com a temperatura é conhecida.

Para um valor de temperatura em que  $R_s = 100 \Omega$ , a leitura apresentada pelo voltímetro será de

- A + 6,2 V.
- B + 1,7 V.
- C + 0,3 V.
- D - 0,3 V.**
- E - 6,2 V.



Item 13-83: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1190007	0,056	Ensino Fundamental		135859	0,121	0,051
		Ensino Médio		176021	0,121	0,056
		Ensino Superior		100701	0,125	0,059

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

## Quadro 15 – Resumo da análise do item 13-83.

**Parâmetros para categorização**

Quadro 8

Natureza:	Quantitativa
Diagramas de circuitos:	Utiliza
Resolução:	Resolução algébrica
Categoria:	Vermelha

**Problemas de elaboração do item**

Quadro 4

Conteúdo não adequado ao currículo escolar  
 Contexto não adequado ao aluno de ensino médio  
 Operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova  
 Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)

**Distratores principais**

Quadros 6 e 7

Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
B	x	x	x	-	-	Distribuição quase aleatória entre as alternativas de valor positivo
A	x	x	x	-	-	
C	x	x	x	-	-	

Fonte: Produzido pela autora.

## B.7 ENEM 2015, prova azul, item 68 (15-68)

Figura 28 – ENEM 2015, prova azul, item 68.

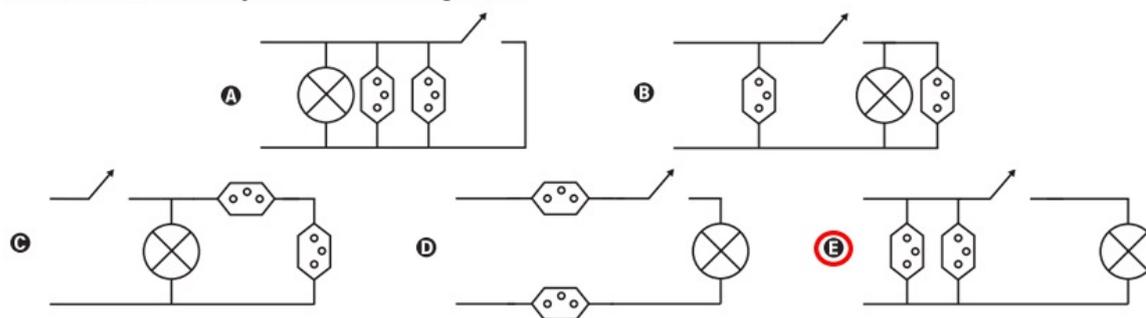
Um estudante, precisando instalar um computador, um monitor e uma lâmpada em seu quarto, verificou que precisaria fazer a instalação de duas tomadas e um interruptor na rede elétrica. Decidiu esboçar com antecedência o esquema elétrico.

“O circuito deve ser tal que as tomadas e a lâmpada devem estar submetidas à tensão nominal da rede elétrica e a lâmpada deve poder ser ligada ou desligada por um interruptor sem afetar os outros dispositivos” — pensou.

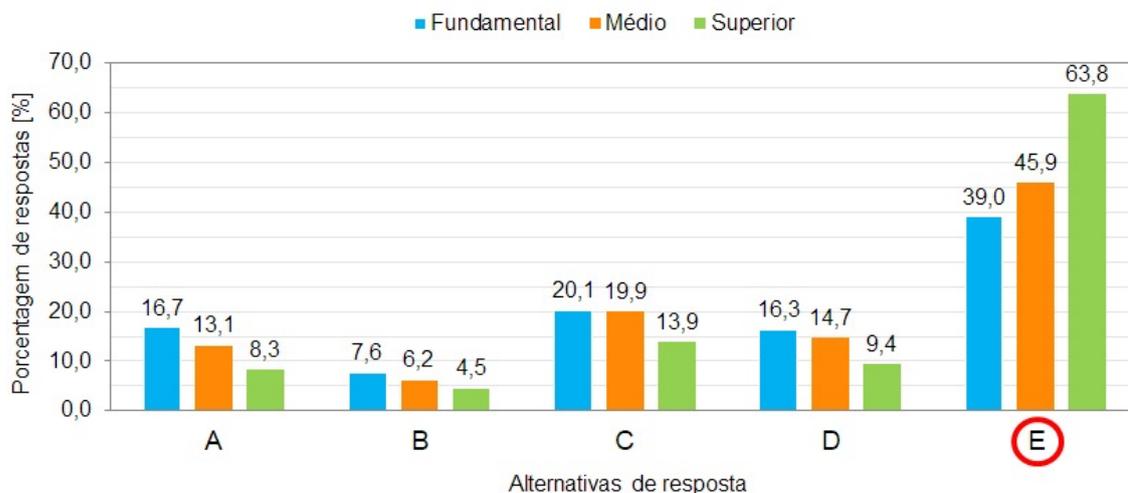
Símbolos adotados:

Lâmpada:  Tomada:  Interruptor: 

Qual dos circuitos esboçados atende às exigências?



Item 15-68: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1254330	0,400	Ensino Fundamental		58951	0,390	0,104
		Ensino Médio		208281	0,459	0,172
		Ensino Superior		104946	0,638	0,399

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 16 – Resumo da análise do item 15-68.

**Parâmetros para categorização**

Quadro 8

Natureza:	Qualitativa
Diagramas de circuitos:	Utiliza
Resolução:	Resolução conceitual
Categoria:	Verde

**Problemas de elaboração do item**

Quadro 4

-

**Distratores principais**

Quadros 6 e 7

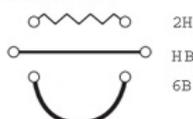
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
C	x	x	x	Circuito aberto aceitável	Confusão de conceitos e termos	-

Fonte: Produzido pela autora.

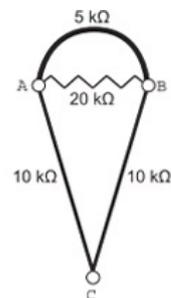
## B.8 ENEM 2016, prova azul, item 59 (16-59)

Figura 29 – ENEM 2016, prova azul, item 59.

Por apresentar significativa resistividade elétrica, o grafite pode ser utilizado para simular resistores elétricos em circuitos desenhados no papel, com o uso de lápis e lapiseiras. Dependendo da espessura e do comprimento das linhas desenhadas, é possível determinar a resistência elétrica de cada traçado produzido. No esquema foram utilizados três tipos de lápis diferentes (2H, HB e 6B) para efetuar três traçados distintos.



Munido dessas informações, um estudante pegou uma folha de papel e fez o desenho de um sorvete de casquinha utilizando-se desses traçados. Os valores encontrados nesse experimento, para as resistências elétricas ( $R$ ), medidas com o auxílio de um ohmímetro ligado nas extremidades das resistências, são mostrados na figura. Verificou-se que os resistores obedeciam à Lei de Ohm.

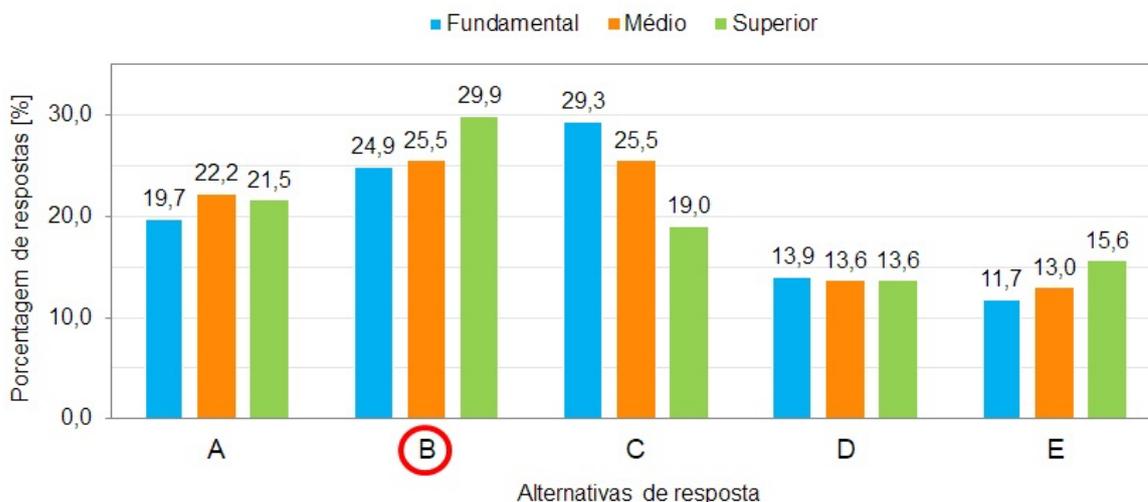


Na sequência, conectou o ohmímetro nos terminais A e B do desenho e, em seguida, conectou-o nos terminais B e C, anotando as leituras  $R_{AB}$  e  $R_{BC}$ , respectivamente.

Ao estabelecer a razão  $\frac{R_{AB}}{R_{BC}}$ , qual resultado o estudante obteve?

- A 1    
  B  $\frac{4}{7}$     
  C  $\frac{10}{27}$     
  D  $\frac{14}{81}$     
  E  $\frac{4}{81}$

Item 16-59: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1291946	0,151	Ensino Fundamental		62481	0,249	0,043
		Ensino Médio		214612	0,255	0,031
		Ensino Superior		107315	0,299	0,032

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

## Quadro 17 – Resumo da análise do item 16-59.

**Parâmetros para categorização**

Quadro 8

Natureza:	Quantitativa
Diagramas de circuitos:	Utiliza
Resolução:	Resolução algébrica
Categoria:	Vermelha

**Problemas de elaboração do item**

Quadro 4

Informações (texto, tabela, imagens) excessivas ou confusas  
 Operações matemáticas com números não adaptados às condições da prova  
 Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)

**Distratores principais**

Quadros 6 e 7

Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
C	x	x	x	-	-	-
A	x	x	x	De natureza semelhante à da DCCE “diagramas diferentes implicam em conexões elétricas diferentes”	Sobreposição de resistores	-

Fonte: Produzido pela autora.

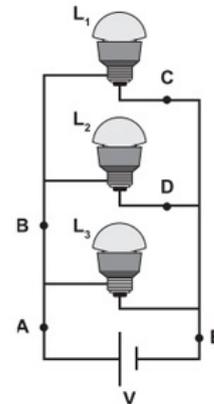
## B.9 ENEM 2016, prova azul, item 74 (16-74)

Figura 30 – ENEM 2016, prova azul, item 74.

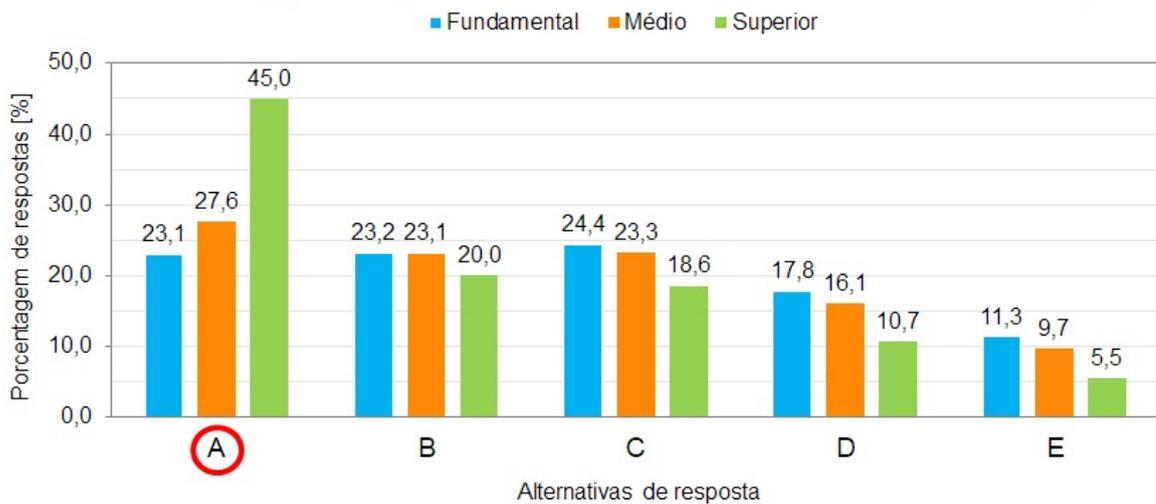
Três lâmpadas idênticas foram ligadas no circuito esquematizado. A bateria apresenta resistência interna desprezível, e os fios possuem resistência nula. Um técnico fez uma análise do circuito para prever a corrente elétrica nos pontos: A, B, C, D e E; e rotulou essas correntes de  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_D$  e  $I_E$ , respectivamente.

O técnico concluiu que as correntes que apresentam o mesmo valor são

- A**  $I_A = I_E$  e  $I_C = I_D$ .
- B**  $I_A = I_B = I_E$  e  $I_C = I_D$ .
- C**  $I_A = I_B$ , apenas.
- D**  $I_A = I_B = I_E$ , apenas.
- E**  $I_C = I_B$ , apenas.



Item 16-74: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1291946	0,263	Ensino Fundamental		62481	0,231	0,024
		Ensino Médio		214612	0,276	0,040
		Ensino Superior		107315	0,450	0,169

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 18 – Resumo da análise do item 16-74.

<b>Parâmetros para categorização</b>						
Quadro 8						
Natureza:	Qualitativa					
Diagramas de circuitos:	Utiliza					
Resolução:	Resolução conceitual					
Categoria:	Verde					

<b>Problemas de elaboração do item</b>						
Quadro 4						
-						

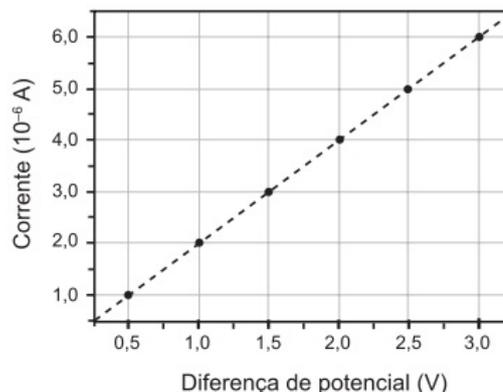
<b>Distratores principais</b>						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
C	x	x		De natureza semelhante à da DCCE “associação de resistores baseada na topologia”, tal como no item 09-45	Corrente consumida	-
B	x	x	x	De natureza semelhante à da DCCE “associação de resistores baseada na topologia”, tal como no item 09-45	-	-

Fonte: Produzido pela autora.

## B.10 ENEM 2017, prova amarela, item 108 (17-108)

Figura 31 – ENEM 2017, prova amarela, item 108.

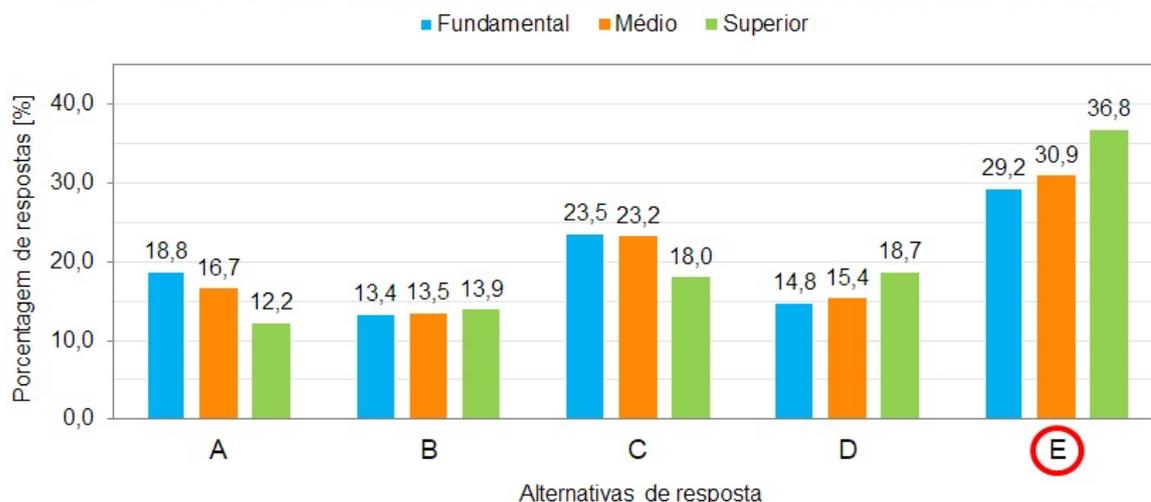
Dispositivos eletrônicos que utilizam materiais de baixo custo, como polímeros semicondutores, têm sido desenvolvidos para monitorar a concentração de amônia (gás tóxico e incolor) em granjas avícolas. A polianilina é um polímero semicondutor que tem o valor de sua resistência elétrica nominal quadruplicado quando exposta a altas concentrações de amônia. Na ausência de amônia, a polianilina se comporta como um resistor ôhmico e a sua resposta elétrica é mostrada no gráfico.



O valor da resistência elétrica da polianilina na presença de altas concentrações de amônia, em ohm, é igual a

- A  $0,5 \times 10^0$ .
- B  $2,0 \times 10^0$ .
- C  $2,5 \times 10^5$ .
- D  $5,0 \times 10^5$ .
- E  $2,0 \times 10^6$ .

Item 17-108: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1167212	0,192	Ensino Fundamental		53577	0,292	0,034
		Ensino Médio		203285	0,309	0,041
		Ensino Superior		108200	0,368	0,075

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 19 – Resumo da análise do item 17-108.

<b>Parâmetros para categorização</b>						
Quadro 8						
Natureza:	Quantitativa					
Diagramas de circuitos:	Não utiliza					
Resolução:	Resolução algébrica					
Categoria:	Laranja					

<b>Problemas de elaboração do item</b>						
Quadro 4						
Contexto não adequado ao aluno de ensino médio						
Detalhismo exagerado para induzir o erro						
Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)						

<b>Distratores principais</b>						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
C	x	x	x	-	-	-
A	x			-	-	Erro decorrente da dificuldade de compreender a apresentação do item
D			x	-	-	Erro decorrente da dificuldade de compreender a apresentação do item

Fonte: Produzido pela autora.

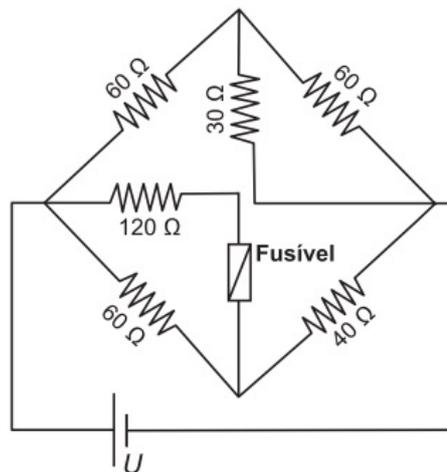
### B.11 ENEM 2017, prova amarela, item 111 (17-111)

Figura 32 – ENEM 2017, prova amarela, item 111.

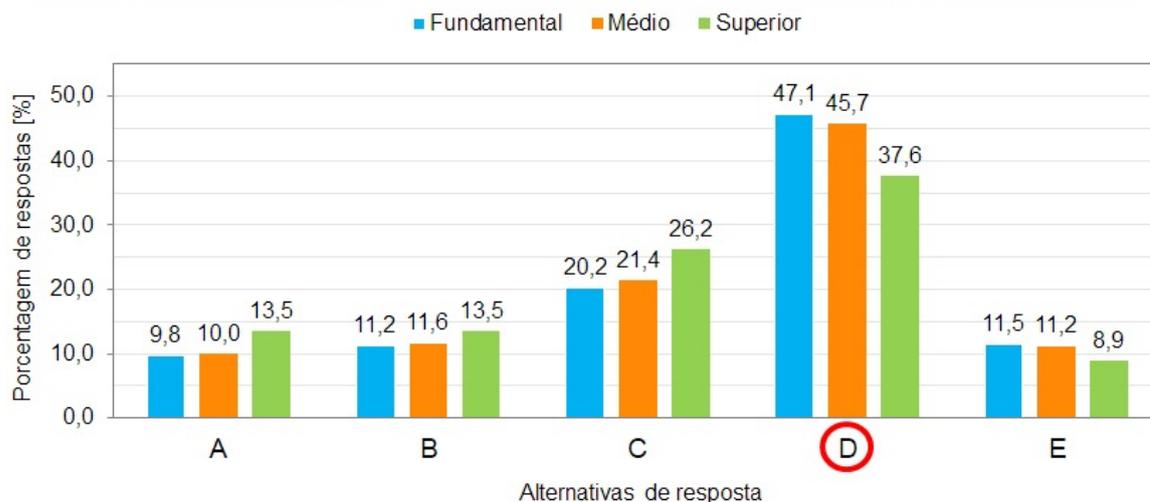
Fusível é um dispositivo de proteção contra sobrecorrente em circuitos. Quando a corrente que passa por esse componente elétrico é maior que sua máxima corrente nominal, o fusível queima. Dessa forma, evita que a corrente elevada danifique os aparelhos do circuito. Suponha que o circuito elétrico mostrado seja alimentado por uma fonte de tensão  $U$  e que o fusível suporte uma corrente nominal de 500 mA.

Qual é o máximo valor da tensão  $U$  para que o fusível não queime?

- A 20 V
- B 40 V
- C 60 V
- D 120 V
- E 185 V



Item 17-111: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais			
N	ID	Escolaridade de ambos os pais	N	IF	IC
1167212	0,121	Ensino Fundamental	53577	0,471	0,181
		Ensino Médio	203285	0,457	0,167
		Ensino Superior	108200	0,376	0,106

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 20 – Resumo da análise do item 17-111.

<b>Parâmetros para categorização</b>						
Quadro 8						
Natureza:	Quantitativa					
Diagramas de circuitos:	Utiliza					
Resolução:	Resolução algébrica					
Categoria:	Vermelha					

<b>Problemas de elaboração do item</b>						
Quadro 4						
Informações (texto, tabela, imagens) excessivas ou confusas						
Resolução multi-step (exige uma sequência de várias operações lógicas ou matemáticas)						

<b>Distratores principais</b>						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
D	x	x	x	-	Confusão de conceitos e termos	Cópia de algum valor apresentado em destaque
C	x	x	x	Corrente divide-se igualmente num nó	-	-

Fonte: Produzido pela autora.

## B.12 ENEM 2017, prova amarela, item 130 (17-130)

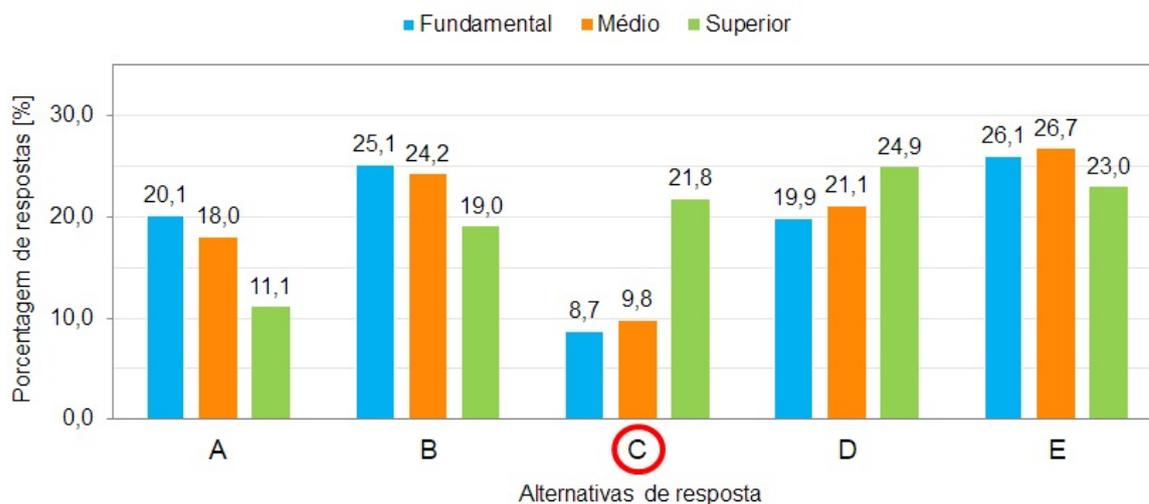
Figura 33 – ENEM 2017, prova amarela, item 130.

Em algumas residências, cercas eletrificadas são utilizadas com o objetivo de afastar possíveis invasores. Uma cerca eletrificada funciona com uma diferença de potencial elétrico de aproximadamente 10 000 V. Para que não seja letal, a corrente que pode ser transmitida através de uma pessoa não deve ser maior do que 0,01 A. Já a resistência elétrica corporal entre as mãos e os pés de uma pessoa é da ordem de 1 000  $\Omega$ .

Para que a corrente não seja letal a uma pessoa que toca a cerca eletrificada, o gerador de tensão deve possuir uma resistência interna que, em relação à do corpo humano, é

- A praticamente nula.
- B aproximadamente igual.
- C milhares de vezes maior.**
- D da ordem de 10 vezes maior.
- E da ordem de 10 vezes menor.

Item 17-130: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1167212	0,103	Ensino Fundamental		53577	0,087	0,038
		Ensino Médio		203285	0,098	0,034
		Ensino Superior		108200	0,218	0,023

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 21 – Resumo da análise do item 17-130.

<b>Parâmetros para categorização</b>						
Quadro 8						
Natureza:	Quantitativa					
Diagramas de circuitos:	Utiliza (descrito no enunciado)					
Resolução:	Resolução algébrica					
Categoria:	Vermelha					
<b>Problemas de elaboração do item</b>						
Quadro 4						
Conteúdo não adequado ao currículo escolar						
<b>Distratores principais</b>						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
E	x	x	x	-	-	Divisão por inteiro e padrão entre as alternativas
B	x	x		-	-	De natureza semelhante à “cópia de algum valor apresentado em destaque”
D			x	Aplicação incorreta de equações	-	Divisão por inteiro e padrão entre as alternativas

Fonte: Produzido pela autora.

### B.13 ENEM 2018, prova amarela, item 109 (18-109)

Figura 34 – ENEM 2018, prova amarela, item 109.

Alguns peixes, como o poraquê, a enguia-elétrica da Amazônia, podem produzir uma corrente elétrica quando se encontram em perigo. Um poraquê de 1 metro de comprimento, em perigo, produz uma corrente em torno de 2 ampères e uma voltagem de 600 volts.

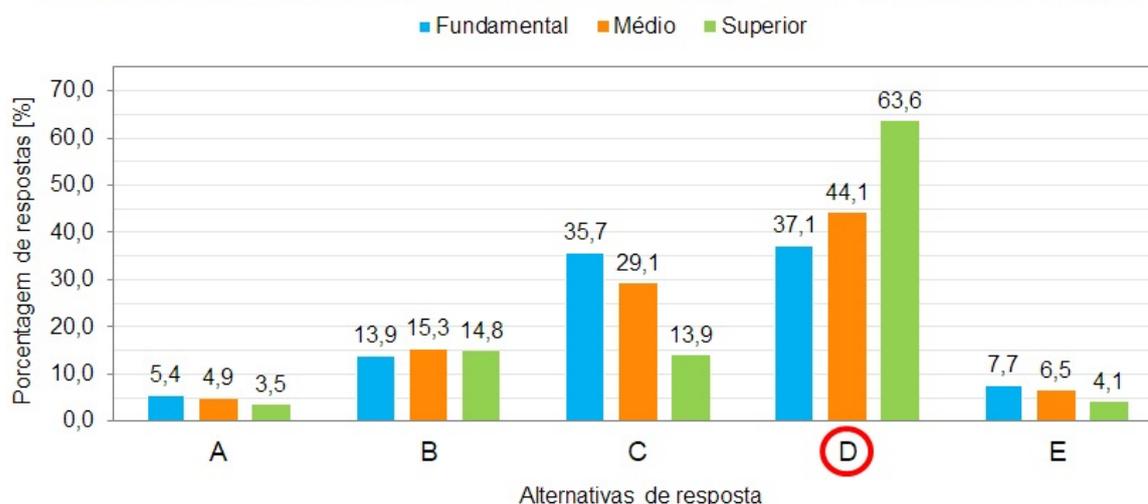
O quadro apresenta a potência aproximada de equipamentos elétricos.

Equipamento elétrico	Potência aproximada (watt)
Exaustor	150
Computador	300
Aspirador de pó	600
Churrasqueira elétrica	1 200
Secadora de roupas	3 600

O equipamento elétrico que tem potência similar àquela produzida por esse peixe em perigo é o(a)

- A exaustor.
- B computador.
- C aspirador de pó.
- D churrasqueira elétrica.
- E secadora de roupas.

Item 18-109: distribuições das respostas entre as alternativas para diferentes escolaridades dos pais



Dados gerais		Dados segundo a escolaridade dos pais				
N	ID	Escolaridade de ambos os pais		N	IF	IC
1110307	0,438	Ensino Fundamental		48065	0,371	0,172
		Ensino Médio		195216	0,441	0,198
		Ensino Superior		67769	0,636	0,404

Fonte: Produzida pela autora a partir dos microdados disponibilizados pelo INEP.

Quadro 22 – Resumo da análise do item 18-109.

<b>Parâmetros para categorização</b>						
Quadro 8						
Natureza:	Quantitativa					
Diagramas de circuitos:	Não utiliza					
Resolução:	Resolução algébrica					
Categoria:	laranja					
<b>Problemas de elaboração do item</b>						
Quadro 4						
-						
<b>Distratores principais</b>						
Quadros 6 e 7						
Distrator	Escolaridade dos pais			Motivos que induzem resposta a este distrator		
	Ensino Fundam.	Ensino Médio	Ensino Superior	CACE / DCCE principal	CACE / DCCE secundária	Outros motivos
C	x	x		Confusão de conceitos e termos	-	Cópia de algum valor apresentado em destaque

Fonte: Produzido pela autora.