



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS
PARA O ENSINO FUNDAMENTAL**

Rojans Coqueiro Rodrigues

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:
Marta Feijó Barroso

Rio de Janeiro
Dezembro de 2020

PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS
PARA O ENSINO FUNDAMENTAL

Rojans Coqueiro Rodrigues

Orientadora:
Marta Feijó Barroso

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dra. Marta Feijó Barroso (Presidente)

Dr. Fernando Lang da Silveira

Dra. Penha Maria Cardozo Dias

Dr. Reinaldo Faria de Melo e Souza

Rio de Janeiro
Dezembro de 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

R696 Rodrigues, Rojans Coqueiro
Proposta de sequência didática sobre circuitos elétricos para o Ensino Fundamental/ Rojans Coqueiro Rodrigues - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2020.
viii, 140 f.: il.;30cm.
Orientador: Marta Feijó Barroso
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2020.
Referências Bibliográficas: f. 73-75.
1. Ensino de Física. 2. Circuitos elétricos. 3. Ensino Fundamental. I. Marta Feijó Barroso. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Proposta de sequência didática sobre circuitos elétricos para o Ensino Fundamental.

Dedico esta dissertação à minha querida esposa e a meus pais, que sempre acreditaram em mim, me apoiaram e incentivaram ao longo desta trajetória.

Agradecimentos

Agradeço a Marta Feijó Barroso, minha atenciosa e dedicada orientadora por todo empenho e desprendimento ao longo desses anos em nossas conversas, presenciais e *on-line*.

Agradeço aos professores do programa pelas aulas e seminários incríveis que tanto acrescentaram à minha formação.

Agradeço a meus colegas professores que sempre me impulsionaram ao desenvolvimento acadêmico.

Agradeço aos meus colegas de turma pelas nossas tardes de aula que mais pareciam um descontraído momento de lazer.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS PARA O ENSINO FUNDAMENTAL

Rojans Coqueiro Rodrigues

Orientadora:
Marta Feijó Barroso

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho relata a elaboração e aplicação de materiais didáticos para o ensino de circuitos elétricos e de conceitos básicos sobre eletricidade para o Ensino Fundamental. Estes temas tornaram-se parte dos direitos de aprendizagem e desenvolvimento obrigatórios para o oitavo ano desta etapa da educação básica a partir da implementação da Base Nacional Comum Curricular, que sugere que o ensino tenha um caráter mais contextualizado e prático. A sequência didática elaborada foi fundamentada nos conhecimentos fornecidos pela pesquisa em ensino de física sobre atividades experimentais e sobre as concepções dos estudantes a respeito dos temas. As etapas de aplicação dos materiais didáticos permitiram verificar sua adequação; foram também observadas algumas evidências que apontam para similaridades das concepções e dificuldades dos estudantes em nível fundamental com as já relatadas na literatura, para os de níveis médio e superior, ou identificada em avaliações em larga escala.

Palavras-chave: Ensino de Física, Ensino Fundamental, Circuitos elétricos, BNCC

Rio de Janeiro
Dezembro de 2020

ABSTRACT

PROPOSAL FOR EDUCATIONAL SEQUENCE ON ELECTRICAL CIRCUITS FOR ELEMENTARY SCHOOL

Rojans Coqueiro Rodrigues

Supervisor:
Marta Feijó Barroso

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

We report the development and use in classroom contexts of instructional sequences on electrical circuits and basic concepts on electricity suitable for secondary school students. These themes are considered to be an essential part of the rights and development of learning required for students at basic education by national curriculum in the country; this curricular base suggests that teaching should be provided with a contextualized and practical character. The instructional sequence was based on the knowledge provided by research in physics education on experimental activities and on the students' conceptions about the chosen themes. The stages of application of the instructional materials provided verification of its adequacy; also, some evidences were observed that point to similarities between the conceptions and difficulties of the students in fundamental level with those already reported in the literature, for the medium and superior levels, or those identified in large-scale assessment.

Keywords: Physics Education, Secondary School, Electric Circuits, BNCC

Rio de Janeiro
December 2020

Sumário

Capítulo 1	Introdução.....	1
Capítulo 2	Justificativa	3
2.1	A base comum curricular e o ensino de circuitos elétricos	3
2.2	Algumas evidências das avaliações em larga escala sobre a aprendizagem em eletricidade	9
2.2.1	Análise de uma questão sobre eletricidade nas provas do PISA.....	10
2.2.2	Análise de algumas questões sobre eletricidade nas provas do ENEM....	11
2.2.3	Comentários.....	23
Capítulo 3	Proposta didática.....	26
3.1	Orientações curriculares e o ensino experimental de ciências.....	26
3.2	Algumas evidências da Pesquisa em Ensino sobre atividades práticas.....	31
3.3	Concepções alternativas e pré-instrucionais e aprendizagem de conceitos básicos em eletricidade.....	34
3.4	Desenvolvimento de uma proposta de sequência didática	38
3.5	Descrição do kit experimental	46
Capítulo 4	Aplicação dos tutoriais.....	51
4.1	Aplicação piloto	51
4.2	Aplicação preliminar	54
4.3	Aplicação definitiva	62
4.4	Discussão da aplicação	69
Capítulo 5	Considerações finais	71
	Referências Bibliográficas	73
	Apêndice A Questões de fenômenos elétricos nas provas do Enem entre 2009 2017 ..	76
	Apêndice B Material Didático Instrucional	77

Capítulo 1

Introdução

O uso de tecnologias derivadas de conhecimentos científicos sobre a eletricidade é indissociável da sociedade contemporânea. O desenvolvimento de modelos e a compreensão de fenômenos desta vasta área das ciências propiciaram grandes mudanças tecnológicas, sociais e culturais em toda a humanidade ao longo dos últimos dois séculos. Esta relação é tão profunda que para a maioria das pessoas é praticamente impossível imaginar a rotina diária sem o uso de equipamentos elétricos. No entanto, estes mesmos usuários desconhecem, mesmo após a instrução formal, os conhecimentos científicos por trás do funcionamento destes equipamentos, não sendo capazes de compreender e interpretar adequadamente o mundo físico e tecnológico no qual estão imersos.

Ao final de 2017, o país recebeu a versão final da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Fundamental, com a perspectiva que a sua implementação se desse a partir de 2019 nos diferentes sistemas de ensino do país. Um dos objetivos principais era o estabelecimento de direitos de aprendizagens essenciais comuns a todos os estudantes brasileiros.

Nessa base, ocorreram alterações estruturais, em relação ao que tradicionalmente ocorria nos currículos existentes, na apresentação dos temas e na descrição das competências e habilidades a serem desenvolvidos por estudantes do ensino fundamental na área de ciências da natureza. Em particular, temas relativos a conceitos de física e química deixaram de estar concentrados no último ano do ensino fundamental, distribuindo-se de forma mais homogênea ao longo dos nove anos desse nível de ensino – e os conhecimentos sobre circuitos elétricos, tanto de seus conceitos quanto da capacidade de agir sobre a situação concreta do cotidiano de sua utilização, passaram a ser apresentadas no 8º ano. Este trabalho dedicou-se a refletir e a propor novas abordagens para o ensino desse tema na etapa prevista pela BNCC.

Nesse trabalho, apresenta-se, no capítulo 2, uma revisão sobre os marcos legais que constituem a Base Nacional Comum Curricular, discutem-se os pressupostos de aprendizagem associados à área de ciências da natureza no documento aprovado e apresenta-se o corpo de objetos de conhecimento associados ao tema circuitos elétricos.

Este tema revela-se de difícil aprendizagem, e isso é indicado pelos resultados dos estudantes em avaliações em larga escala, tais como o Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA em sigla inglesa) e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), o que também é discutido neste capítulo. No Apêndice A, é apresentado o quadro das questões da prova de Ciências da Natureza do Exame Nacional do Ensino Médio que abordam os conceitos relativos a circuitos elétricos que foram utilizadas no trabalho.

No capítulo 3, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o tema do ensino de circuitos elétricos e sobre a utilização de atividades práticas, na literatura de pesquisa em ensino de física, e descreve-se, com base nos conhecimentos fornecidos pela pesquisa em ensino, a fundamentação para formulação de uma proposta de sequência didática sobre o tema.

No capítulo 4, relatam-se a proposta e sua aplicação em ambientes escolares do ensino fundamental, bem como as observações feitas durante a aplicação.

No capítulo 5, é feito um apanhado geral do trabalho e apresentam-se reflexões oriundas dele.

O material instrucional, apresentado de forma destacável no Apêndice B, consiste em um guia para a montagem do kit experimental e para a utilização pelo professor do material proposto, com os guias de atividades para o aluno inseridos no texto.

A partir da proposição desse conjunto de atividades na forma de uma sequência didática, pretende-se desenvolver uma abordagem de caráter mais prático e relacionado à reflexão decorrente da ação experimental, trazendo para temas do cotidiano o ensino de circuitos elétricos e dos conceitos físicos relacionados. Busca-se, assim, de forma pontual, desenvolver ações que minimizem as dificuldades de compreensão e interpretação do mundo pelos alunos do Ensino Fundamental, o que, segundo a BNCC, é um elemento fundamental para o exercício da cidadania e para uma ação transformadora da realidade.

Capítulo 2

Justificativa

Neste capítulo são apresentadas as justificativas para elaboração de um trabalho sobre circuitos elétricos e conceitos básicos em eletricidade para o público-alvo selecionado, de estudantes dos anos finais do ensino fundamental. Para isto, é apresentado um breve relato histórico da elaboração da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) como uma política de Estado, além da estrutura e fundamentação pedagógica deste instrumento normativo da Educação Básica brasileira. Também são apontadas as indicações explícitas da BNCC para o ensino deste tópico da Física no Ensino Fundamental.

Em seguida, é apresentado um estudo, a partir de dados relativos ao desempenho de estudantes em avaliações em larga escala, sobre a aprendizagem sobre circuitos elétricos e conceitos básicos de eletricidade ao final dos Ensinos Fundamental e Médio. Pretende-se elencar evidências sobre as dificuldades apresentadas pelos estudantes brasileiros no tema.

2.1 A base comum curricular e o ensino de circuitos elétricos

“A BNCC é um documento normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica” [Brasil 2017]. Esse texto inicia a recém aprovada BNCC para o ensino fundamental no país, homologada em dezembro de 2017. Ela é inicialmente fundamentada pela Constituição Federal de 1988 [Brasil 1988], onde se define no Artigo 210¹ a necessidade de estabelecer os conteúdos mínimos para o Ensino Fundamental (EF), com o objetivo de assegurar a formação básica comum. De acordo com este marco constitucional, a Lei de Diretrizes e Bases (LDB) de 1996 [Brasil 1996], em seu Artigo 9², que trata das atribuições da União,

¹Art. 210. Serão fixados conteúdos mínimos para o ensino fundamental, de maneira a assegurar formação básica comum e respeito aos valores culturais e artísticos, nacionais e regionais [Brasil 1988].

² Art. 9, inciso IV – A União incumbir-se-á de estabelecer, em colaboração com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, competências e diretrizes para a educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio, que nortearão os currículos e seus conteúdos mínimos, de modo a assegurar formação básica comum.

define o estabelecimento de competências e diretrizes para a educação básica que nortearão os currículos mínimos. O Artigo 26³ da LDB determina a existência de uma base nacional comum para o EF, e estende esta obrigatoriedade para o Ensino Médio (EM). Além disso, este mesmo artigo prevê uma complementação de acordo com as características sociais, culturais e econômicas regionais e locais.

Nos anos subsequentes à promulgação da LDB, a Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação (CEB/CNE) institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental (DCNs)⁴, a Resolução CNE/CEB N° 02/1998, atualizada em 2013⁵. Essas diretrizes constituem-se em um conjunto de definições doutrinárias sobre princípios, fundamentos e procedimentos a serem observados na organização pedagógica e curricular de cada unidade escolar. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) para o EF I (1° ao 5° ano), EF II (6° ao 9° ano) e EM, são consolidados e considerados como referenciais de qualidade para a educação brasileira; foram elaborados para auxiliar as equipes escolares, principalmente, no desenvolvimento do currículo.

No ano de 2010 foi realizada a Conferência Nacional da Educação (CONAE), que apresentou diversas proposições em seu documento final que serviram de base para o projeto de Lei do Plano Nacional da Educação (PNE – 2011/2020). Dentre estas diretrizes indicadas pela CONAE para uma nova política educacional de Estado figura a indicação de bases epistemológicas que garantam a configuração de um currículo que contemple uma base nacional e as especificidades regionais e locais. O PNE foi regulamentado em 2014, com vigência de 10 anos; é composto por 20 metas e 10 diretrizes. Dentre as estratégias das Metas 2 e 3, que tratam respectivamente da universalização do EF e do EM, são conferidos ao Ministério da Educação (MEC) a responsabilidade, em colaboração com os entes federados, relativa à elaboração, realização de consulta pública e encaminhamento de uma proposta de direitos e objetivos de aprendizagem e desenvolvimento para o EF e EM que configurariam uma

³ Art. 26 - Os currículos do ensino fundamental e médio devem ter uma base nacional comum, a ser complementada, em cada sistema de ensino e estabelecimento escolar, por uma parte diversificada, exigida pelas características regionais e locais da sociedade, da cultura, da economia e da clientela [Brasil 1996].

⁴ Resolução CEB/CNE 02/1998, disponível em http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=16261-rceb02-98&category_slug=agosto-2014-pdf&Itemid=30192, consultada em 15/10/2020.

⁵ Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica, 2013. Disponível em http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192, consultada em 15/10/2020.

base nacional comum. De igual modo, a Base também é tida como estratégia para o cumprimento da Meta 7, que aborda o fomento da qualidade da educação básica, e da Meta 15, sobre formação de professores para a educação básica.

A partir dos marcos legais expostos, torna-se claro que a BNCC é um elemento fundamental para as políticas de Estado em educação; foi objeto inicialmente de um processo de elaboração com ampla participação da sociedade civil por meio de consultas públicas. Duas versões preliminares foram publicadas em setembro de 2015 e maio de 2016; injunções políticas alteraram o processo da discussão dessa base, e em abril de 2017 MEC entregou ao Conselho Nacional de Educação (CNE) a versão final da Base para a Educação Infantil e EF para elaboração de um parecer e resolução⁶, ambos homologados em dezembro do mesmo ano⁷. A referida resolução “*instituiu a BNCC, como documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais como direito das crianças, jovens e adultos no âmbito da Educação Básica escolar*”. O Ensino Médio (EM) não está incluso nesta versão; a parte da BNCC que trata desta etapa da educação básica foi homologada apenas em 2018, após a drástica reformulação do ensino médio em decorrência da MP746/16, convertida na Lei 13415/17.

Um dos fundamentos pedagógicos da BNCC é o foco no desenvolvimento de competências. Este conceito é definido no artigo terceiro da portaria 157/2017 como a “*mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores, para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho.*” A Base fundamenta-se em dez competências gerais, e estrutura-se de forma a explicitar as competências que devem ser desenvolvidas em cada etapa ao longo de toda a Educação Básica. O Ensino Fundamental (EF) é dividido em cinco áreas de conhecimento (Linguagens, Matemática, Ciências da Natureza, Ciências Humanas e Ensino Religioso), que podem ser compostas por um ou mais componentes curriculares, como apresentado na Figura 2.1 [Brasil 2017, p.27].

A área de Ciências da Natureza possui oito competências específicas, apresentadas no Quadro 2.1, e um único componente curricular – Ciências – organizado em três unidades temáticas que se repetem ao longo de todo o EF: Matéria e Energia, Vida e Evolução, Terra e Universo.

⁶ CNE/CP n- 15/2017

⁷ PORTARIA N°-1570/2017

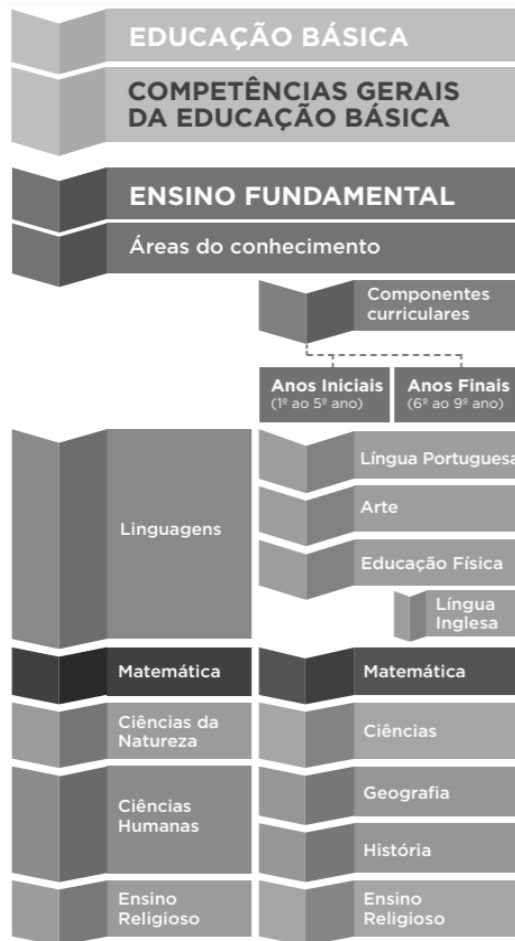


Figura 2.1. Estrutura da BNCC para o EF [Brasil 2017].

As unidades temáticas são estruturadas em um conjunto de habilidades com níveis crescentes de complexidade ao longo dos anos escolares. Por exemplo, a unidade temática Matéria e Energia parte da identificação e comparação de materiais de uso cotidiano e suas propriedades para os dois primeiros anos do EF, trata de modelos sobre a estrutura da matéria, da quantificação de reagentes químicos e da classificação e aplicação das radiações eletromagnéticas no último ano desta etapa escolar. Especificamente para o oitavo ano do EF a unidade temática Matéria e Energia contém habilidades relacionadas ao estudo de circuitos elétricos e geração e consumo de energia elétrica, como indica o Quadro 2.2.

A organização do componente curricular de Ciências em unidades temáticas se deu com o objetivo de orientar a elaboração dos currículos, e assim, assegurar as aprendizagens essenciais no EF, expressas pelas competências e habilidades. Tais aprendizagens devem compor o processo formativo de todos os educandos como direito

de desenvolvimento pleno, preparação para o exercício da cidadania e qualificação para o trabalho.

1.	Compreender as Ciências da Natureza como empreendimento humano, e o conhecimento científico como provisório, cultural e histórico.
2.	Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
3.	Analisar, compreender e explicar características, fenômenos e processos relativos ao mundo natural, social e tecnológico (incluindo o digital), como também as relações que se estabelecem entre eles, exercitando a curiosidade para fazer perguntas, buscar respostas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das Ciências da Natureza.
4.	Avaliar aplicações e implicações políticas, socioambientais e culturais da ciência e de suas tecnologias para propor alternativas aos desafios do mundo contemporâneo, incluindo aqueles relativos ao mundo do trabalho.
5.	Construir argumentos com base em dados, evidências e informações confiáveis e negociar e defender ideias e pontos de vista que promovam a consciência socioambiental e o respeito a si próprio e ao outro, acolhendo e valorizando a diversidade de indivíduos e de grupos sociais, sem preconceitos de qualquer natureza.
6.	Utilizar diferentes linguagens e tecnologias digitais de informação e comunicação para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos e resolver problemas das Ciências da Natureza de forma crítica, significativa, reflexiva e ética.
7.	Conhecer, apreciar e cuidar de si, do seu corpo e bem-estar, compreendendo-se na diversidade humana, fazendo-se respeitar e respeitando o outro, recorrendo aos conhecimentos das Ciências da Natureza e às suas tecnologias.
8.	Agir pessoal e coletivamente com respeito, autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, recorrendo aos conhecimentos das Ciências da Natureza para tomar decisões frente a questões científico-tecnológicas e socioambientais e a respeito da saúde individual e coletiva, com base em princípios éticos, democráticos, sustentáveis e solidários

Quadro 2.1. Competências específicas de Ciências da Natureza para o EF [Brasil 2017].

Neste sentido, o conceito de competência se assemelha ao utilizado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) na

estruturação do Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA)⁸ e pelo Instituto Nacional de Educação e Pesquisa (INEP) na elaboração do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) de 1998 até 2008 [Gonçalves Jr 2012; Gonçalves Jr & Barroso 2014]. Apesar de ter sofrido significativa mudança em seus objetivos em 2009, o Enem ainda apresenta competências e habilidades em sua estruturação; essas passaram a ser apresentadas em uma matriz específica para cada área de conhecimento [Gonçalves Jr 2012; Gonçalves Jr & Barroso 2014].

(EF08CI01) Identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades.
(EF08CI02) Construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais.
(EF08CI03) Classificar equipamentos elétricos residenciais (chuveiro, ferro, lâmpadas, TV, rádio, geladeira etc.) de acordo com o tipo de transformação de energia (da energia elétrica para a térmica, luminosa, sonora e mecânica, por exemplo).
(EF08CI04) Calcular o consumo de eletrodomésticos a partir dos dados de potência (descritos no próprio equipamento) e tempo médio de uso para avaliar o impacto de cada equipamento no consumo doméstico mensal.
(EF08CI05) Propor ações coletivas para otimizar o uso de energia elétrica em sua escola e/ou comunidade, com base na seleção de equipamentos segundo critérios de sustentabilidade (consumo de energia e eficiência energética) e hábitos de consumo responsável.
(EF08CI06) Discutir e avaliar usinas de geração de energia elétrica (termelétricas, hidrelétricas, eólicas etc.), suas semelhanças e diferenças, seus impactos socioambientais, e como essa energia chega e é usada em sua cidade, comunidade, casa ou escola.

Quadro 2.2. Habilidades da unidade temática Matéria e Energia para o 8º ano do EF [Brasil 2017].

⁸OECD. Global Competency for an Inclusive World. Paris: OECD, 2016. Disponível em: <<http://www.oecd.org/pisa/aboutpisa/Global-competency-for-an-inclusive-world.pdf>>.

2.2 Algumas evidências das avaliações em larga escala sobre a aprendizagem em eletricidade

Os processos de avaliação em larga escala, tais como o PISA e o Enem, são alvos de questionamentos e críticas pelos mais diversos motivos; porém, a despeito destes, é possível refletir sobre as informações a respeito da situação de aprendizagem que elas revelam [Barroso 2018]. Para isto, *“deve-se reconhecer que as avaliações em larga escala não conseguem avaliar um quadro completo da aprendizagem em suas múltiplas dimensões e, portanto, adota-se uma definição de um construto complexo (“aprendizagem”) a partir do desempenho na resolução de questões.”* [Rubini 2019]. Nos dois exames mencionados, como também na BNCC, este construto é expresso por meio de competências e habilidades.

O PISA avalia, a cada três anos, em uma amostra de alunos entre 15 e 16 anos, o letramento em Linguagens (foco em 2000, 2009 e 2018), em Matemática (foco em 2003 e 2012) e em Ciências (foco em 2006 e 2015). Define, em 2006, o letramento científico como a *“capacidade de usar o conhecimento científico para identificar questões e chegar a conclusões baseadas em evidências para entender e ajudar a tomar decisões a respeito do mundo e as mudanças causadas a ele pela atividade humana”*⁹.

O Enem é aplicado anualmente, desde 1998, e se tornou na última década a principal forma de acesso ao nível superior no Brasil, tanto em instituições públicas quanto privadas; por esta razão, apesar de não se tratar de uma avaliação obrigatória ou amostral, ele representa uma boa ferramenta para a análise da aprendizagem ao final do ensino médio [Barroso 2018].

As duas avaliações utilizam a metodologia da Teoria de Resposta ao Item (TRI) para atribuir um escore aos respondentes, e as médias das provas foram normalizadas no primeiro ano de aplicação (em 2006 no caso do PISA de Ciências e 2009 para os concluintes do ensino médio no Enem) em 500 pontos e desvio padrão de 100 pontos. As avaliações que são construídas com base na TRI permitem a análise individual de cada questão da prova, independentemente dos demais itens do teste [Gonçalves Jr 2012]. A partir desta característica, analisaremos a seguir algumas questões relacionadas aos conhecimentos físicos em eletricidade, a fim de observar evidências relevantes para o nosso trabalho.

⁹ Original: “Scientific literacy is the capacity to use scientific knowledge, to identify questions and to draw evidence-based conclusions in order to understand and help make decisions about the natural world and the changes made to it through human activity.”

2.2.1 Análise de uma questão sobre eletricidade nas provas do PISA

Os itens do PISA não são totalmente liberados; dos que tiveram conteúdo divulgado, a unidade denominada “Roupas” aborda fenômenos elétricos, e seu texto-base está apresentado no Quadro 2.3¹⁰.

Leia o texto e responda às questões que se seguem.

ROUPAS

Uma equipe de cientistas britânicos está desenvolvendo roupas “inteligentes” que darão às crianças deficientes o poder da “fala”. Crianças usando um colete feito de tecido especial, ligado a um sintetizador de fala, poderão fazer-se entender simplesmente tocando de leve neste material sensível. O material é feito de um tecido normal e de uma engenhosa malha de fibras impregnadas de carbono que podem conduzir eletricidade. Quando uma pressão é aplicada sobre o tecido, o padrão de sinais que passa pelas fibras condutoras é alterado e um chip de computador identifica onde a roupa foi tocada. Ele pode então, acionar um dispositivo eletrônico ao qual está ligado, cujo tamanho não é maior do que o de duas caixas de fósforo.

“O truque está em como confeccionar o tecido, fazendo com que os sinais passem através dele. Assim, fica impossível ver o dispositivo, pois ele está misturado à trama do tecido”, explica um dos cientistas.

Este material pode ser lavado, enrolado em torno de objetos ou amassado, sem danificar-se, e o cientista afirma que é possível produzi-lo em larga escala e a baixo custo.

Quadro 2.3. Texto-base da questão Roupas do PISA de Ciências.

A segunda questão desta unidade exige dos respondentes a capacidade de associar um dispositivo tecnológico com propriedades elétricas a um instrumento de medida, supostamente presente em laboratórios, capaz de verificar se o material está “conduzindo eletricidade” como mostra o Quadro 2.4. Dentre as opções apresentadas, há um único que pode fazer medidas elétricas (mesmo que seja discutível a sua adequação).

QUESTÃO 2: ROUPAS

Que instrumento de laboratório seria apropriado para verificar se o tecido está conduzindo eletricidade?

- A. Voltímetro
- B. Fotômetro
- C. Micrômetro
- D. Detector de Som

Quadro 2.4. Questão Roupas 2 do PISA de Ciências.

¹⁰ Disponível em: http://download.inep.gov.br/download/internacional/pisa/Itens_liberados_Ciencias.pdf; consultada em 11/09/2020.

Esta questão tem dificuldade¹¹ de 399, o que a põe no menor nível na escala de proficiência em Ciências (Tabela 2.1) elaborada com base na aplicação de 2006. Porém a baixa dificuldade não pode ser percebida como indicativo de percentuais expressivos de acertos de estudantes brasileiros, uma vez que 30,1% dos que participaram da avaliação em 2006 não alcançaram o nível mínimo de 335 pontos, enquanto para os países membros da OCDE este quantitativo é de apenas 5,2%.

Nível	Escore mínimo	O que os estudantes podem tipicamente fazer	Percentual do total (OCDE)	Percentual do total (Brasil)
1	334,9	No nível 1, estudantes têm um conhecimento tão limitado que só pode ser aplicado a umas poucas situações familiares. Eles podem apresentar explicações científicas que são óbvias, e que são consequência explícita de uma dada evidência.	94,8%	69,9%

Tabela 2.1. Nível 1 de proficiência em Ciência na prova do PISA 2006.
Fonte: Adaptado de Barroso (2018).

Ao compararmos o percentual de respostas corretas entre os alunos brasileiros com o de dois países tidos como referência em qualidade da educação, ou mesmo com a totalidade da avaliação, a diferença é alarmante.

	BRASIL	FINLÂNDIA	JAPÃO	(TODOS)
Errado	54,5	5,1	18,9	29,1
Correto	45,5	94,9	81,1	70,9

Tabela 2.2. Percentuais de acertos e erros das respostas válidas na questão Roupas 2.
Fonte: Barroso (2018).

Estes resultados apontam para uma evidência, a de que estudantes brasileiros com idade entre 15 e 16 anos têm dificuldade para responder questões simples que revelem algum conhecimento associado a atividades práticas ou instrumentos de medida [Barroso 2018].

2.2.2 Análise de algumas questões sobre eletricidade nas provas do Enem

Após a reformulação do exame em 2009, as provas passaram a ser elaboradas separadamente por áreas de conhecimento: Linguagens, Matemática, Ciências da Natureza e Ciências Humanas. As avaliações dessas áreas são orientadas por matrizes

¹¹ De forma simplificada, pode ser entendido na Teoria da Resposta ao Item como o valor do escore para o qual os respondentes têm 50% de probabilidade de acertar a questão.

de referência independentes e são compostas por 45 questões. Todas as matrizes são estruturadas em trinta habilidades, agrupadas em competências, e a cada questão é associada uma habilidade, o que, em tese, permite a abrangência total das matrizes de referência nas aplicações do exame.

Em Ciências da Natureza, as habilidades supostamente possibilitariam diferentes níveis de integração entre os conhecimentos conceituais e práticos dos componentes disciplinares de Física, Química e Biologia com questões tecnológicas, socioambientais, culturais e éticas. Além da descrição de habilidades e competências, são listados os objetos de conhecimento (conteúdos) por componente curricular.

Dentro do tema de interesse do presente trabalho, observa-se a existência de um grupo de objetos de conhecimento denominado *fenômenos elétricos*, ao qual pode-se associar todas as questões da habilidade 5, específica para circuitos elétricos (*H5 – Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano*). Além dessas questões, foram identificadas nas provas de 2009 a 2017 outras sobre eletricidade em mais habilidades, como detalhado na Tabela 2.3.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Habilidade 5	2	2	1	1	3	1	1	2	2	15
Outras habilidades	2	2	1	1	2	0	0	1	1	10
Física	16	16	15	16	16	15	15	15	16	140

Tabela 2.3. Quantidade de questões associadas ao grupo de objetos de conhecimento *fenômenos elétricos* comparada ao total de questões de Física nas provas de 2009 a 2017.

Fonte: Autoria própria com dados de Rubini (2019).

Das questões identificadas (listadas no Apêndice A), cinco foram selecionadas para a análise e são apresentadas na Tabela 2.4. Utiliza-se a notação Ano_Questão (aaaa_xx) para descrever a questão, com menção ao ano de aplicação da prova e ao número da questão na prova de cor azul. Os percentuais de marcação das alternativas consideram apenas os participantes do exame que estão no último ano do EM; esses dados e a metodologia utilizada para obtê-los estão apresentados em Rubini (2019).

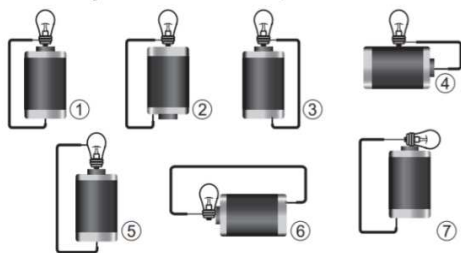
Ano_Questão	Hab.	Lembrete	% acerto	Discriminação "a"	Dificuldade "b"	Acerto casual "c"
2011_70	5	Lâmpada e pilha	34,7	0,41	2,00	0,05
2010_68	6	Relógio medidor	16,7	1,81	2,28	0,12
2012_61	23	Eficiência das lâmpadas	26,5	1,47	1,60	0,14
2013_46	20	Músculos artificiais	14,5	-1,63	-2,96	0,12
2013_79	3	Campo elétrico	19,4	0,08	28,24	0,12

Tabela 2.4. Lista de questões analisadas. Fonte: Autoria própria com dados de Rubini (2019).

A questão 2011_70, mostrada na Figura 2.2¹², apresenta algumas ligações com uma lâmpada de lanterna, uma pilha e um fio com as pontas desencapadas, e em seguida questiona em quais dos esquemas a lâmpada acenderia. As alternativas apresentam combinações de três esquemas; a lâmpada acende nas configurações 1, 2, 3 e 7, sendo o gabarito formado por 1, 3 e 7.

QUESTÃO 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:



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)

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

Figura 2.2. Questão 70 da prova azul de Ciências da Natureza do Enem 2011.

Das respostas incorretas, denominadas distratores, A e C são as duas mais marcadas, por respectivamente 25,2% e 27,7% dos concluintes, como indicado na Figura 2.3(b), e ambas se diferenciam do gabarito apenas pelo último esquema. O primeiro destes distratores apresenta como acendendo a lâmpada o esquema 6, no qual os dois polos da pilha são conectados pelo fio e pela rosca da lâmpada, colocando-a em curto-circuito; da Figura 2.3(a), observa-se que a escolha desta opção apresenta valores máximos da frequência relativa de marcação para estudantes com escores em torno de 600 pontos. A escolha da alternativa C, na qual um dos fios é conectado ao vidro da lâmpada, é maior entre os alunos com escore dois desvios padrão abaixo da média, e decresce monotonamente para alunos com escores maiores. A escolha do distrator C, como também B e E, todos incluindo o esquema 5 com a conexão no vidro, é feita por 40% dos concluintes do EM [Lopes 2015], e “indica não apenas a falta de compreensão de como fazer a ligação de uma lâmpada, mas também o desconhecimento de que o vidro é um isolante elétrico” [Rubini 2019]. Por estes resultados pode-se inferir que a dificuldade em atividades práticas evidenciada entre

¹² Todas as imagens apresentadas foram obtidas a partir das provas de cor azul do Enem, disponíveis na página do INEP.

alunos de 15 e 16 persiste entre os concluintes do EM, pelo menos no que se refere a circuitos elétricos [Barroso 2018].

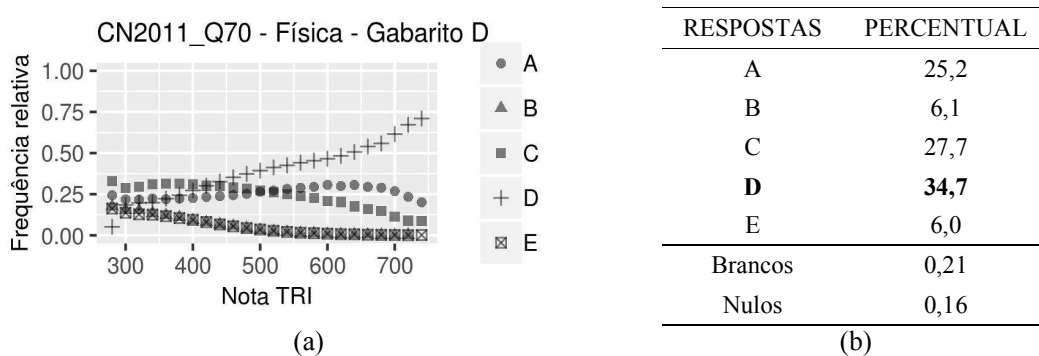


Figura 2.3. Questão 70 de 2011. (a) Frequência relativa de escolha de cada uma das alternativas em função da nota do aluno. (b) Percentual de escolha de cada uma das alternativas.

Fonte: Rubini (2019).

A Figura 2.4 [Rubini 2019] apresenta separadamente as frequências relativas de marcação das respostas da questão 2011_70 em função do escore para concluintes do sexo masculino e feminino. Enquanto os candidatos masculinos têm probabilidade superior à das mulheres com a mesma nota TRI de optar pelo gabarito, este padrão é invertido no distrator C (e também em B e E). Para o distrator A, os concluintes homens têm probabilidade praticamente constante, sendo inferior à das candidatas do sexo feminino na faixa de notas acima de 550 pontos.

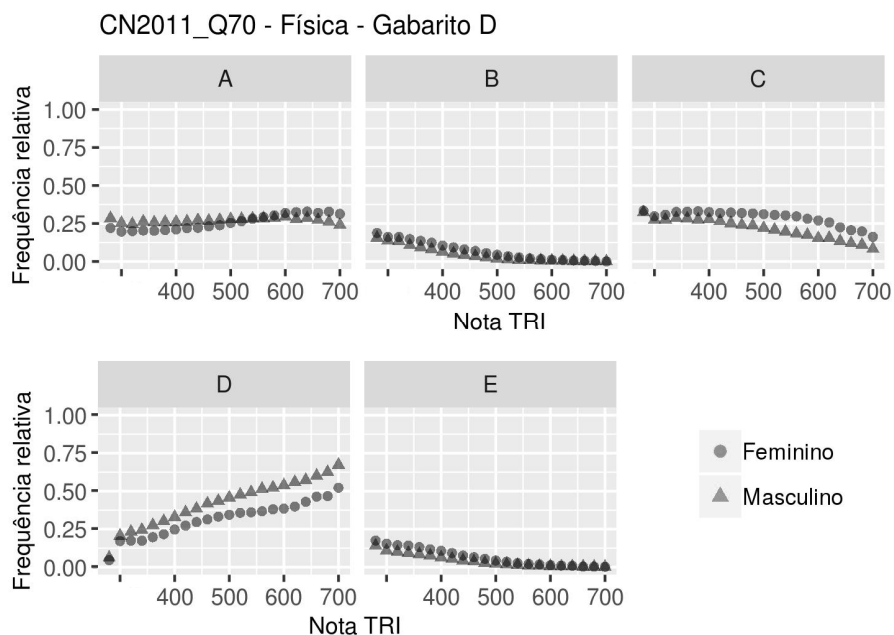


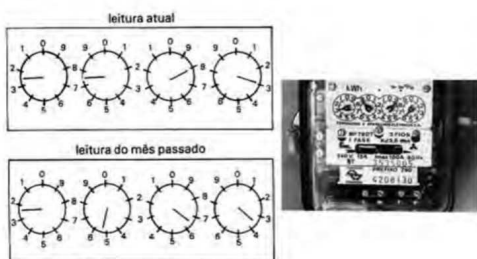
Figura 2.4. Questão 2011_70, frequência relativa por nota TRI, separadas por sexo dos respondentes. Fonte: Rubini (2019).

As duas questões analisadas anteriormente estão associadas a situações comuns em laboratório didático e revelam a dificuldade dos alunos brasileiros, seja no início ou fim do EM. As duas próximas questões envolvem equipamentos elétricos cotidianos, presentes em grande parte das residências. A questão 2010_68, apresentada na Figura 2.5, é classificada pelo INEP como pertencente a habilidade 6 de Ciências da Natureza (*H6 – relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum*) e exige do candidato a leitura de duas indicações de um relógio medidor de consumo de energia elétrica, seguida pelo cálculo do custo com base em uma tarifa por quilowatt-hora. O gabarito está apresentado na alternativa E, R\$ 44,00 referentes a 220 kWh de diferença entre a “leitura atual” (2783 kWh) e a “leitura no mês passado” (2563 kWh) e é escolhida por apenas 16,7% dos concluintes do EM, como apresentado na Figura 2.6(b).

Questão 68

A energia elétrica consumida nas residências é medida, em quilowatt-hora, por meio de um relógio medidor de consumo. Nesse relógio, da direita para esquerda, tem-se o ponteiro da unidade, da dezena, da centena e do milhar. Se um ponteiro estiver entre dois números, considera-se o último número ultrapassado pelo ponteiro. Suponha que as medidas indicadas nos esquemas seguintes tenham sido feitas em uma cidade em que o preço do quilowatt-hora fosse de R\$ 0,20.

O valor a ser pago pelo consumo de energia elétrica registrado seria de



- A R\$ 41,80.
- B R\$ 42,00.
- C R\$ 43,00.
- D R\$ 43,80.
- E R\$ 44,00.

FILHO, A.G.; BAROLLI, E. *Instalação Elétrica*. São Paulo: Scipione, 1997.

Figura 2.5. Questão 68 da prova azul de Ciências da Natureza do Enem 2010.

As alternativas incorretas apresentam valores próximos, que podem ser obtidos por mínimos equívocos de leitura de qualquer algarismo na figura. Esses erros são agravados por duas dificuldades intrínsecas do relógio medidor: escalas com o sentido de rotação alternados e identificação do algarismo quando o ponteiro está numa posição intermediária. Dificuldades semelhantes com dados fornecidos de forma gráfica foi identificada em investigações com outras questões do PISA e do ENEM por Barroso (2018):

os estudantes 15/16 anos de idade têm dificuldade com a interpretação de informações fornecidas em forma gráfica, e os

estudantes brasileiros têm dificuldade maior do que a dos estudantes de outros países. Ao final do ensino médio, essa dificuldade, de conectar informações apresentadas em diferentes formatos que envolvem gráficos e imagens, persiste de forma muito relevante, impactando nas condições de compreensão da realidade. (p. 57)

Das questões selecionadas para análise, e que não apresentam problemas psicométricos¹³, esta é a que tem os maiores parâmetros de dificuldade ($b=2,28$) e discriminação ($a=1,81$). A probabilidade de acerto em função da nota permanece praticamente constante até a média, quando inicia uma tendência de crescimento. Apenas os alunos com escores superiores a 600 pontos têm probabilidade maior de marcar o gabarito ao invés das outras alternativas de resposta, como indica a Figura 2.6-a.

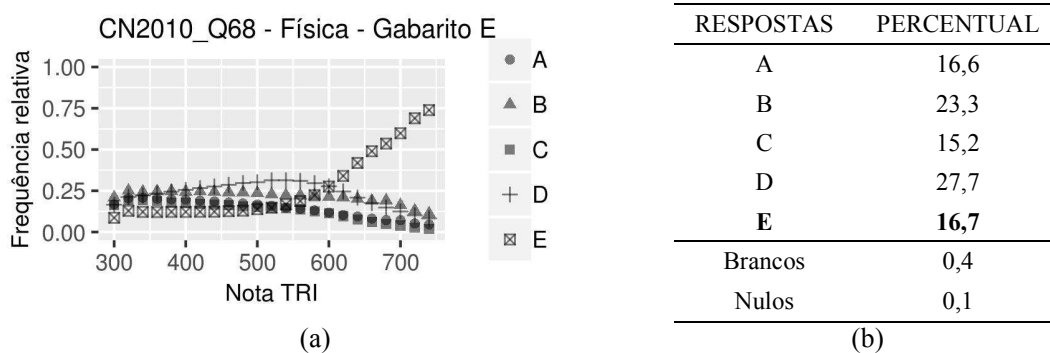


Figura 2.6. Questão 68 de 2010. (a) Frequência relativa de escolha de cada uma das alternativas em função da nota do aluno. (b) Percentual de escolha de cada uma das alternativas. Fonte: Rubini (2019).

A questão 2012_61, apresentada na Figura 2.7, também discute quantitativamente o consumo de energia elétrica em uma situação cotidiana. Ela é classificada pelo INEP como avaliando a habilidade 23 de Ciências da Natureza (*H23 – Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas*) e traz a comparação entre lâmpadas de tipos distintos. No texto-base são apresentados valores de fluxo luminoso em lúmen para lâmpadas incandescentes e fluorescentes de mesma potência, com os quais deve-se estabelecer uma terceira grandeza, eficiência, dada pela razão entre as anteriores¹⁴. As alternativas comparam essas grandezas aos

¹³ Psicometria é o estudo das medidas em psicologia e educação. Inclui a elaboração de modelos teóricos para a avaliação de testes. No caso, os problemas estão relacionados à adequação do modelo teórico da TRI e os dados empíricos - por exemplo com uma curva característica do item em que à medida que os escores aumentam os alunos escolhem em menor frequência a resposta correta.

¹⁴ Essa questão apresenta, segundo Silveira (CREF, em <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=questao-61-do-enem-2012>), uma imprecisão de linguagem ao fazer referência à razão “linear” e não “constante”.

pares, sendo o gabarito obtido pela relação de igualdade entre o fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente de 40 W e uma fluorescente de 8 W.

QUESTÃO 61

A eficiência das lâmpadas pode ser comparada utilizando a razão, considerada linear, entre a quantidade de luz produzida e o consumo. A quantidade de luz é medida pelo fluxo luminoso, cuja unidade é o lúmen (lm). O consumo está relacionado à potência elétrica da lâmpada que é medida em watt (W). Por exemplo, uma lâmpada incandescente de 40 W emite cerca de 600 lm, enquanto uma lâmpada fluorescente de 40 W emite cerca de 3 000 lm.

Disponível em: <http://tecnologia.terra.com.br>. Acesso em: 29 fev. 2012 (adaptado).

A eficiência de uma lâmpada incandescente de 40 W é

- A** maior que a de uma lâmpada fluorescente de 8 W, que produz menor quantidade de luz.
- B** maior que a de uma lâmpada fluorescente de 40 W, que produz menor quantidade de luz.
- C** menor que a de uma lâmpada fluorescente de 8 W, que produz a mesma quantidade de luz.
- D** menor que a de uma lâmpada fluorescente de 40 W, pois consome maior quantidade de energia.
- E** igual a de uma lâmpada fluorescente de 40 W, que consome a mesma quantidade de energia.

Figura 2.7. Questão 61 da prova azul de Ciências da Natureza do Enem 2012.

Os percentuais de marcação das respostas apresentados na Figura 2.8 revelam que o distrator D é o mais atrativo para os concluintes do EM, superando até a frequência de escolha do gabarito; esta opção aponta para uma possível dificuldade em analisar informações que se contraponham às suas ideias prévias. A percepção de que as lâmpadas incandescentes consomem maior quantidade de energia elétrica e são menos eficientes ignora as informações de potências iguais (40 W) existentes no texto-base e na resposta em questão. Aparentemente as informações de que o “*consumo está relacionado à potência elétrica*”, e de valores iguais de potência no texto-base e na alternativa D, não são suficientemente contundentes para convencer cerca de 40% dos alunos sobre a igualdade de consumo para diferentes tipos de lâmpadas.

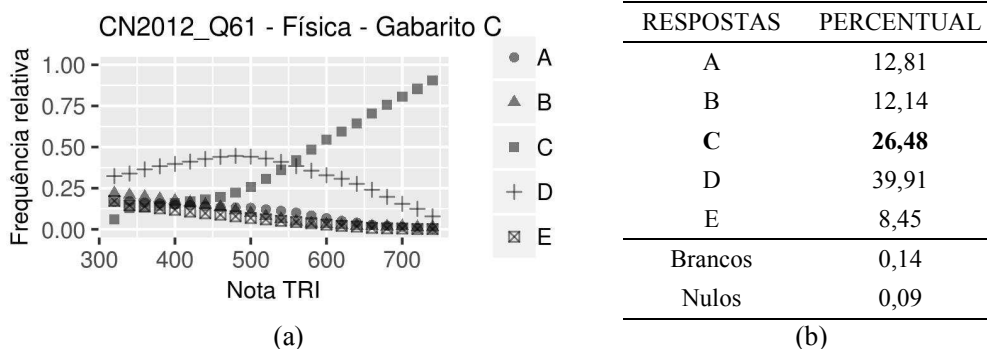


Figura 2.8. Questão 61 de 2012. (a) Frequência relativa de escolha de cada uma das alternativas em função da nota do aluno. (b) Percentual de escolha de cada uma das alternativas. Fonte: Rubini (2019).

Os percentuais significativos de marcação dos distratores nas questões 2010_68 e 2012_61 apontam uma dificuldade na resolução de questões que envolvam a resolução de cálculos e/ou raciocínios quantitativos sobre grandezas físicas; esta dificuldade foi

relatada por Barroso (2108) ao analisar um outro conjunto de questões das provas do ENEM:

os estudantes ao final do ensino médio apresentam dificuldade maior com questões que envolvem cálculos quantitativos, e principalmente com questões que envolvem raciocínios cognitivos mais complexos, típicos de resolução de problemas. (p. 61)

As curvas das Figura 2.6-a e Figura 2.8-a revelam que as questões 2010_68 e 2012_61 apresentam comportamentos psicométricos semelhantes, tendo a segunda parâmetros de discriminação e dificuldade menores ($a = 1,47$; $b = 1,60$); com isto, a curva característica do item, que apresenta o percentual de acerto em função do escore na prova, tem tendência de crescimento a partir de 450 pontos. Esta probabilidade se torna superior à da alternativa mais atrativa apenas para concluintes com escores superiores a 550 pontos. Os gráficos da Figura 2.9 e da Figura 2.10 revelam que, ao separar as curvas por sexo, o grupo feminino apresenta uma tendência ligeiramente maior de optar pela alternativa D, a alternativa errada mais atrativa em ambas as questões. Em contraponto, os concluintes do sexo masculino, com desempenho acima da média, têm maior tendência de optar pelo gabarito das duas questões do que as concluintes de mesma nota.

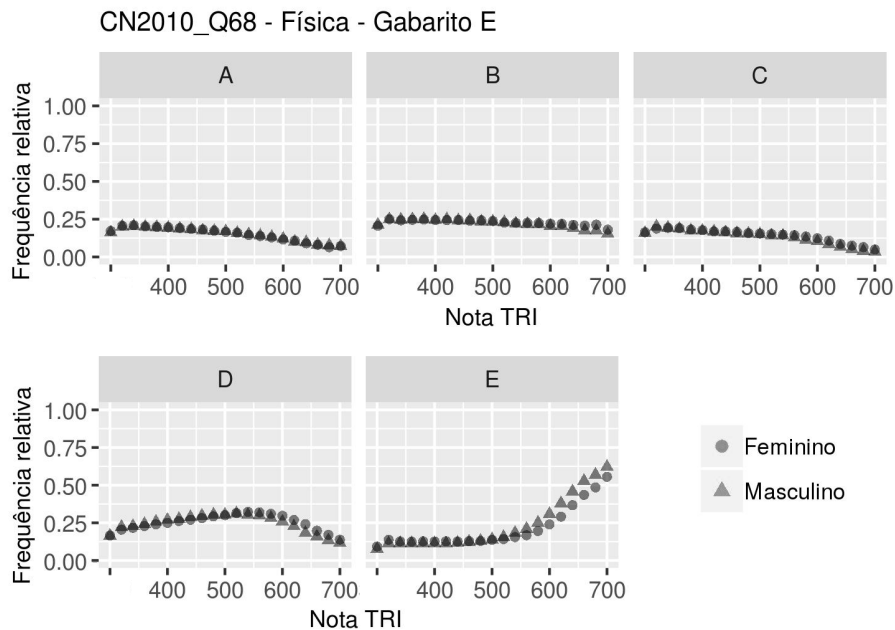


Figura 2.9. Questão 2010_68, frequência relativa por nota TRI, separadas por sexo dos respondentes. Fonte: Rubini (2019).

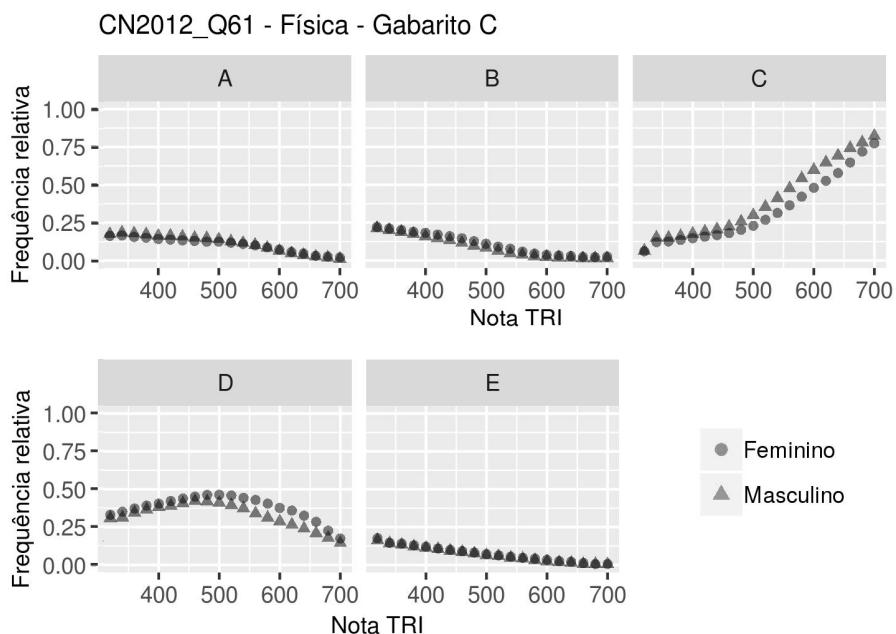


Figura 2.10. Questão 2012_61, frequência relativa por nota TRI, separadas por sexo dos respondentes. Fonte: Rubini (2019)

As análises das duas questões anteriores trazem indícios de que os alunos ao final do EM apresentam dificuldades para interpretar informações sobre grandezas elétricas de uso cotidiano em situações simples ou complexas; estas dificuldades se agravam quando os dados são apresentados de forma gráfica, e existe uma diferença no desempenho favorável aos alunos do sexo masculino.

As questões 2013_46 e 2013_79, apresentadas respectivamente nas Figuras 2.11 e 2.14, são inteiramente conceituais, e envolvem a compreensão de um modelo adequado para a corrente elétrica em duas situações diferentes. Na primeira delas, é apresentado um dispositivo tecnológico denominado músculo artificial, que se movimenta como resposta a correntes elétricas. O INEP a classifica como da habilidade 20 de Ciências da Natureza (*H20 – Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes*). A corrente elétrica é estabelecida no eletrólito polimérico em decorrência da diferença de potencial resultante dos processos de oxidação e redução nos polímeros condutores externos. A aplicação de uma d.d.p. nas extremidades da camada central, meio condutor com um sal inorgânico, implica no surgimento de um campo elétrico que orienta o fluxo de íons neste meio, como descrito no gabarito (alternativa B).

QUESTÃO 46

Músculos artificiais são dispositivos feitos com plásticos inteligentes que respondem a uma corrente elétrica com um movimento mecânico. A oxidação e redução de um polímero condutor criam cargas positivas e/ou negativas no material, que são compensadas com a inserção ou expulsão de cátions ou ânions. Por exemplo, na figura os filmes escuros são de polipirrol e o filme branco é de um eletrólito polimérico contendo um sal inorgânico. Quando o polipirrol sofre oxidação, há a inserção de ânions para compensar a carga positiva no polímero e o filme se expande. Na outra face do dispositivo o filme de polipirrol sofre redução, expulsando ânions, e o filme se contrai. Pela montagem, em sanduíche, o sistema todo se movimenta de forma harmônica, conforme mostrado na figura.

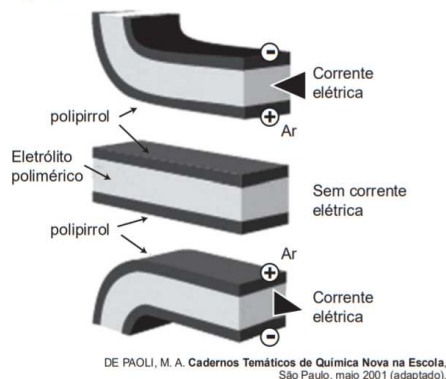


Figura 2.11. Questão 46 da prova de Ciências da Natureza do Enem 2013.

A camada central de eletrólito polimérico é importante porque

- A absorve a irradiação de partículas carregadas, emitidas pelo aquecimento elétrico dos filmes de polipirrol.
- B permite a difusão dos íons promovida pela aplicação de diferença de potencial, fechando o circuito elétrico.
- C mantém um gradiente térmico no material para promover a dilatação/contração térmica de cada filme de polipirrol.
- D permite a condução de elétrons livres, promovida pela aplicação de diferença de potencial, gerando corrente elétrica.
- E promove a polarização das moléculas poliméricas, o que resulta no movimento gerado pela aplicação de diferença de potencial.

É observado, na Figura 2.12(b), que o gabarito é a alternativa de menor frequência relativa de marcação. Em oposição, a resposta D é escolhida por 30% dos concluintes do EM e é predominante entre os estudantes com melhor desempenho. Nela, a corrente elétrica é relacionada à condução de elétrons livres no eletrólito polimérico. Para Rinaldi (2017), este erro se deve ao fato da literatura sobre eletrodinâmica no EM discutir predominantemente a corrente elétrica como fluxo de elétrons livres em condutores. A análise do comportamento das curvas separadas por sexo da alternativa D indica um pico um pouco superior para as mulheres, como apresenta a Figura 2.13..

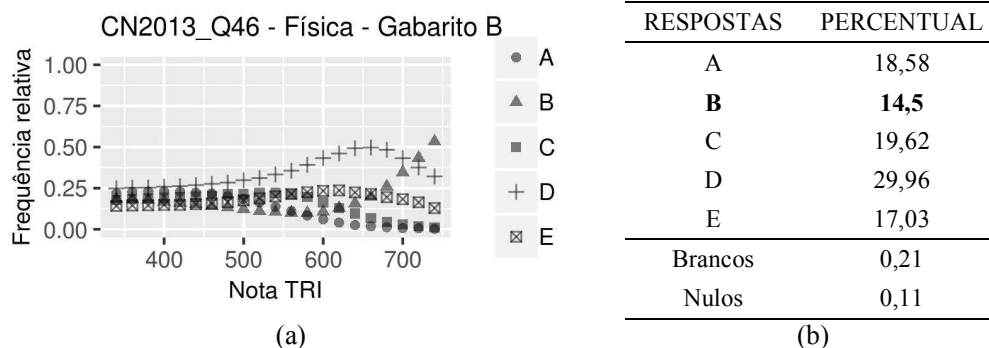


Figura 2.12. Questão 46 de 2013. (a) Frequência relativa de escolha de cada uma das alternativas em função da nota do aluno. (b) Percentual de escolha de cada uma das alternativas. Fonte: Rubini (2019).

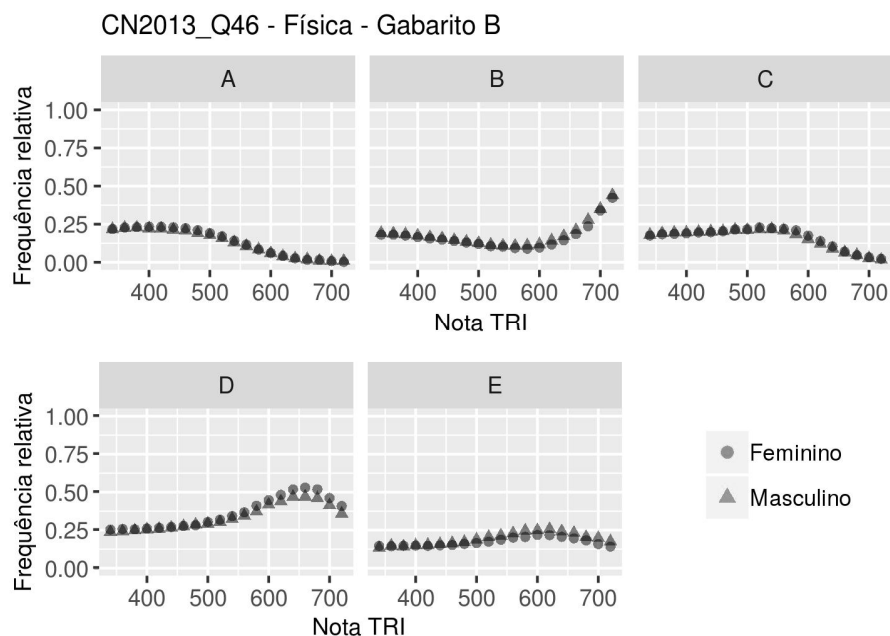


Figura 2.13. Questão 2013_46, frequência relativa por nota TRI, separadas por sexo dos respondentes. Fonte: Rubini (2019).

Também na prova de 2013, a questão 79, na Figura 2.14, discute modelos científicos para a corrente elétrica e compara esses modelos com modelos do senso comum, como previsto por sua habilidade (*H3 – Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas*).

QUESTÃO 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.

Figura 2.14. Questão 79 da prova de Ciências da Natureza do Enem 2013.

No texto-base é apresentada a explicação popularmente atribuída para acendimento praticamente instantâneo de uma lâmpada quando acionada uma chave interruptora num circuito. Uma resposta cientificamente adequada para este fenômeno é dada por Chabay e Sherwood (2015):

a luz acende imediatamente, porque o rearranjo das cargas superficiais no circuito ocorre mais ou menos na velocidade da luz. O estado estacionário final do texto do circuito é estabelecido em alguns

nanossegundos, após o qual o mar de elétrons circula lenta e majestosamente ao redor e ao redor, em todo o circuito, incluindo através do interruptor e dos fios e da lâmpada. [...] Os elétrons não precisam se mover do interruptor para a lâmpada; já há muitos elétrons no filamento do bulbo. Tudo o que é necessário é começar a estabelecer a distribuição de carga superficial em estado estacionário apropriada, muito rapidamente, e então os elétrons que já estão no filamento começam a se mover, impulsionados pelo novo campo elétrico não nulo no fio. (p. 734, tradução nossa¹⁵).

Portanto, a resposta correta faz uso da conexão dos conceitos físicos de campo elétrico e corrente elétrica, que é pouco enfatizado nos livros-texto usuais [Fonseca 2020]. Conseqüentemente, a frequência relativa de acertos em função do escore dos concluintes é praticamente constante, não sendo possível analisar diferenças entre o desempenho dos alunos no exame com a escolha do gabarito. Isto a torna inadequada segundo a TRI com um parâmetro de discriminação muito pequeno ($a = 0,08$) e de dificuldade muito grande ($b = 28,24$).

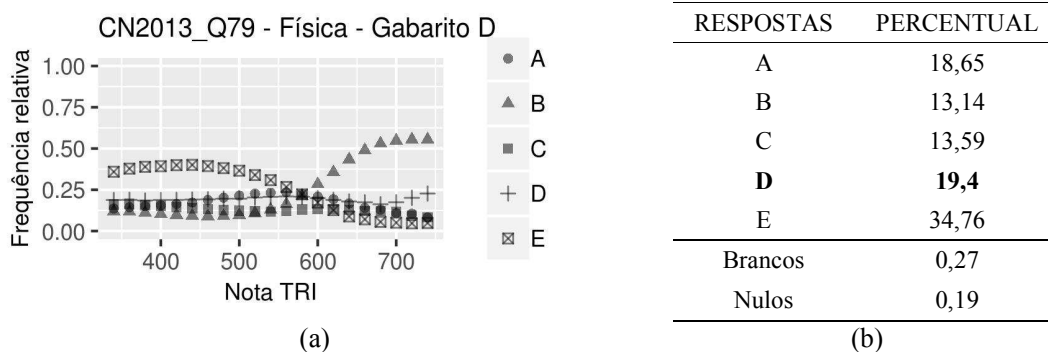


Figura 2.15. Questão 79 de 2013. (a) Frequência relativa de escolha de cada uma das alternativas em função da nota do aluno. (b) Percentual de escolha de cada uma das alternativas. **Fonte:** Rubini (2019).

Contudo, a análise do comportamento das curvas descritas pela frequência relativa das outras alternativas pode revelar permanência de concepções pré-científicas e/ou o reforço de modelos incipientes. Três das quatro respostas erradas fazem menção ao termo carga elétrica e totalizam 61% das marcações. As alternativas B e E têm comportamentos opostos, sendo que a primeira ocorre predominantemente para alunos

¹⁵ Texto original: “the light comes on right away, because the rearrangement of surface charges in the circuit takes place at about the speed of light. The final steady state of the circuit is established in a few nanoseconds, after which the electron sea circulates slowly and majestically around and around, everywhere in the circuit, including through the switch and the wires and the light bulb. [...] The electrons don’t have to move from the switch to the light bulb; there are already plenty of electrons in the bulb filament. All that is required is to begin to establish the appropriate steady-state surface-charge distribution, very quickly, and then the electrons that are already in the filament start moving, propelled by the new nonzero electric field in the wire.” (p. 734)

com notas superiores a 600 pontos e a segunda é mais frequente para alunos com notas inferiores a 550 pontos. Elas referem-se, respectivamente, a cargas negativas móveis que “atravessam” o circuito e à ideia de cargas opostas que se chocam no filamento da lâmpada. Além disso, como visto no quinto gráfico da Figura 2.16, a percepção do fenômeno a partir de duas cargas opostas é ainda mais presente entre as alunas com notas abaixo de 550 pontos do que entre os alunos de mesmo desempenho. A única resposta errada que não cita a palavra carga faz uso da ideia de um fluido elétrico, presente ao longo da história das pesquisas em eletricidade [Jardim & Guerra 2018; Assis 2018], sendo assinalada por quase 19% dos concluintes do EM, com um pico de frequência entre aqueles com notas em torno de 550 pontos.

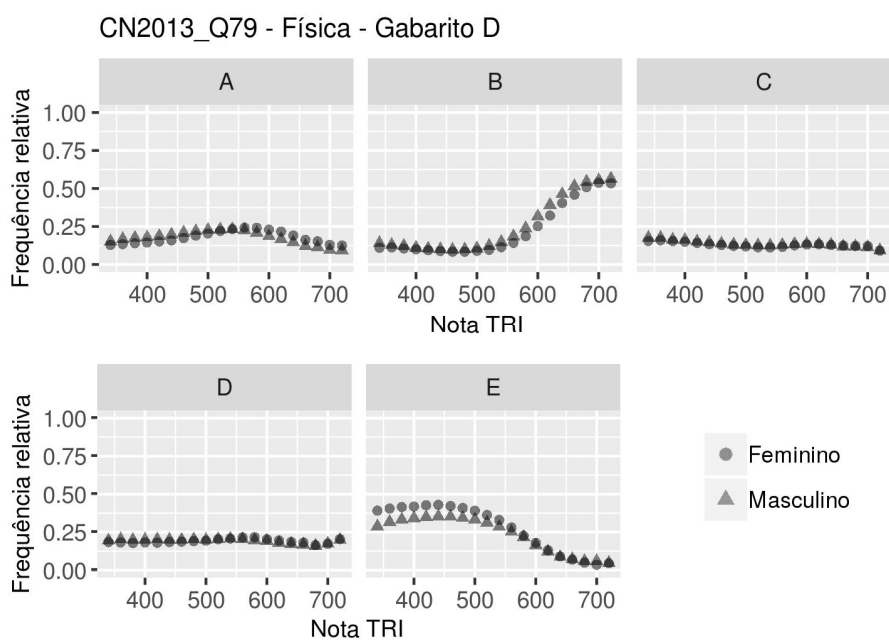


Figura 2.16. Questão 2012_61, frequência relativa por nota TRI, separadas por sexo dos respondentes. Fonte: Rubini (2019)

2.2.3 Comentários.

Numa análise mais geral das questões identificadas como pertencentes ao objeto de conhecimento *fenômenos elétricos* na matriz de referência do ENEM, há evidências de que a dificuldade dos concluintes no EM neste tópico é maior que a apresentada no conjunto global de questões de Física ou de Ciências da Natureza. Nos Gráficos 2.1, 2.2 e 2.3 são representados, separadamente para estes três grupos, os percentuais de questões por faixas de acertos. No primeiro deles identifica-se um pico acentuado de 40% dos itens na faixa de 10% a 20% de respostas corretas; este padrão é suavizado

para as questões de Física e Ciências da Natureza onde há maiores frequências na faixa de 20% a 30%.

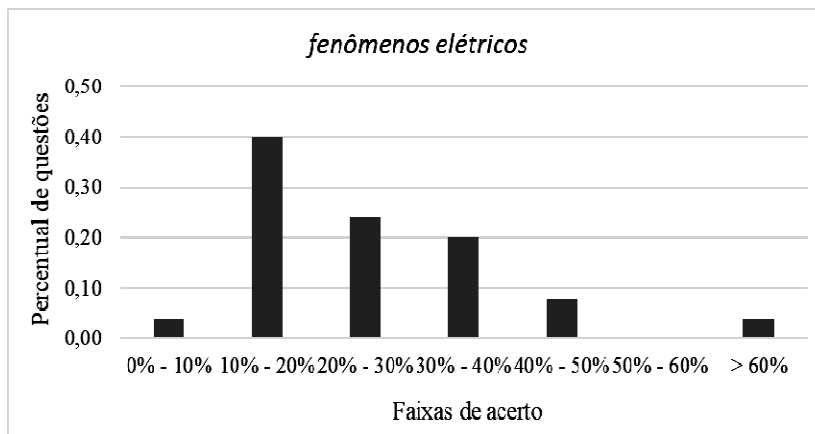


Gráfico 2.1: Percentual de questões sobre *fenômenos elétricos* por faixas de acerto, nas provas do Enem de 2009 a 2017. Fonte: Autoria própria com dados de Rubini (2019).

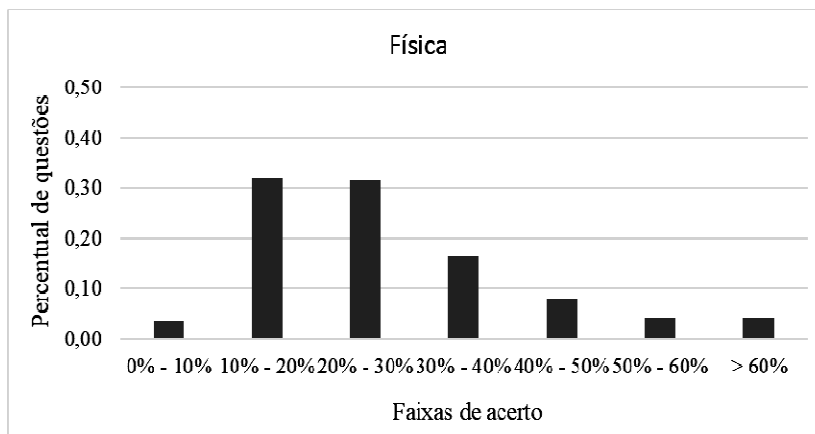


Gráfico 2.2: Percentual de questões de Física por faixas de acerto, nas provas do Enem de 2009 a 2017. Fonte: Autoria própria com dados de Rubini (2019).

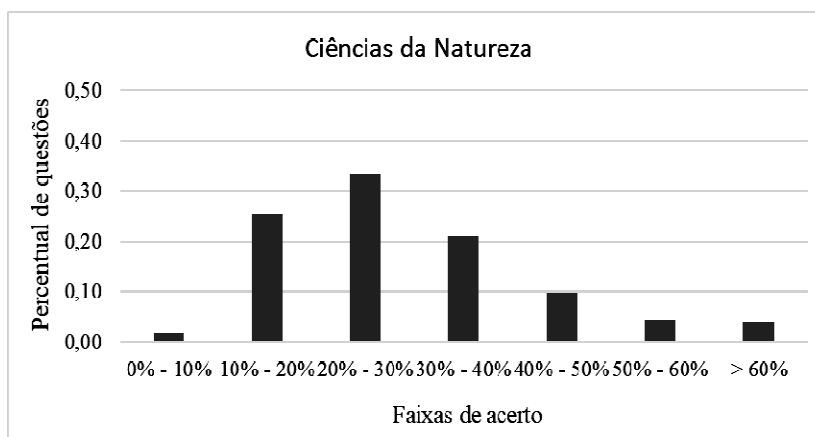


Gráfico 2.3: Percentual de questões de Ciências da Natureza por faixas de acerto, nas provas do Enem de 2009 a 2017. Fonte: Autoria própria com dados de Rubini (2019).

Este padrão de maior dificuldade nas questões de eletricidade é aparentemente acentuado quando se discrimina o percentual de acertos conforme o sexo do concluinte. A Tabela 2.5 indica a maior diferença do desempenho médio entre homens e mulheres, que cresce à medida que passamos do total de questões de Ciências da Natureza, de Física e de *fenômenos elétricos*.

Questões de ...	% acertos			diferença
	Geral	Fem.	Mas.	Fem. – Mas.
Ciências da Natureza	29,1%	27,8%	31,0%	-3,2%
Física	27,5%	26,0%	29,7%	-3,7%
fenômenos elétricos	25,5%	23,9%	27,9%	-4,0%

Tabela 2.5. Percentuais de acertos separados por sexos em questões de fenômenos elétricos, de Física e de Ciências da Natureza. Fonte: Autoria própria com dados de Rubini (2019)

Utilizando a análise de questões selecionadas do Pisa e Enem foi possível observar algumas evidências relevantes sobre a aprendizagem quanto ao tema da eletricidade em ingressantes e concluintes do EM. Os dois grupos de estudantes apresentam dificuldades na compreensão de situações básicas de laboratórios didáticos, o que reflete a ausência deste tipo de recurso em grande parte das escolas brasileiras [Barroso 2018]. Ao final do EM eles demonstram pouca compreensão das grandezas elétricas em situações cotidianas, que é agravada pela apresentação de informações na forma gráfica ou por imagens, e pela necessidade de cálculos quantitativos para resolução de problemas. Também apresentam versões reduzidas de modelos científicos em eletricidade que não são capazes de explicar adequadamente fenômenos associados ao uso tecnológico ou cotidiano. Além disso, foram identificadas algumas evidências de distinção no desempenho quando observados os dados separadamente por sexo dos concluintes do EM, mesmo que não seja possível, nem mesmo do conjunto de objetos de estudo do presente trabalho, identificar as causas deste resultado.

No próximo capítulo, apresentam-se resultados de levantamentos sobre os conhecimentos sobre processos de ensino e aprendizagem no tema circuitos elétricos que embasam a proposta de sequência didática deste trabalho.

Capítulo 3

Proposta didática

A proposição da habilidade “*construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fio e lâmpadas ...*” pela BNCC torna claro o desejável caráter experimental para sequências didáticas que englobem a Unidade Temática Matéria e Energia no 8º ano do EF. Da mesma forma, pode-se consultar a página eletrônica do MEC sobre a BNCC e observar a presença de diversos materiais complementares; em particular, o “Material Suplementar para o Redator de Currículo”¹ aponta que o verbo *construir* da habilidade citada engloba as ações de planejar e elaborar circuitos com diferentes componentes eletrônicos e compreender suas funções, além de propiciar o conhecimento sobre corrente elétrica, condutores e isolantes.

Com este entendimento, iniciamos este capítulo com uma fundamentação teórica sobre a relação entre as orientações curriculares em diferentes momentos históricos e o ensino experimental de ciências. Em seguida é apresentado um pequeno levantamento sobre as evidências obtidas pela pesquisa em Ensino de Ciências, e relatada na literatura, sobre atividades experimentais.

Também é apresentada, na seção 3.3, uma fundamentação teórica sobre as concepções verificadas entre alunos da educação básica acerca da eletricidade, principalmente em relação aos modelos para corrente elétrica. Esses levantamentos subsidiam a elaboração da proposta didática deste trabalho, que é apresentada na 3.4, onde são descritas as atividades planejadas, materiais e metodologia a ser utilizadas ao longo das aulas. Por fim, é apresentado o *kit* experimental desenvolvido para subsidiar as atividades práticas.

3.1 Orientações curriculares e o ensino experimental de ciências

A pouca eficácia do ensino tradicional de ciências parece ser consenso entre professores, estudantes e sociedade. De maneira geral, indica-se que os professores da educação básica devem ter em mente que as desejáveis melhorias para o ensino de

¹ Na página do MEC, em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/pro-bncc/material-de-apoio/>. Consultado em 15/10/2020.

ciências se dariam pela inserção de aulas práticas no currículo [Borges 2002; Brasil 1998]. Em contraponto, relata-se historicamente que as atividades experimentais estão presentes em cursos formais de ciência em nível elementar desde o século XIX [Gaspar 2014]. A representação e descrição de aparatos experimentais para demonstração em sala de aula era um recurso frequente nos livros didáticos deste período. Esta metodologia perdurou até o fim da década de 1950 e apresentava três características básicas [Gaspar 2014]: o professor detinha a autoridade do saber; o aluno mantinha atitude passiva, sendo dele exigido a reprodução das palavras do professor e do livro texto; e a prioridade constituía-se do cumprimento dos conteúdos do currículo.

A corrida tecnológica impulsionada pelo conflito entre os Estados Unidos e União Soviética ao longo do século XX, especificamente o lançamento do satélite artificial soviético Sputnik, motivou reformas educacionais e curriculares em países ocidentais desde a segunda metade do século passado [Chassot 2004]. Grandes projetos de elaboração de materiais didáticos em língua inglesa foram desenvolvidos – Physical Science Study Committee (PSSC), Harvard Project Physics e Nuffield Physics Project – e, com diferentes enfoques e graus de prioridade, as práticas experimentais estão presentes nos materiais propostos pelos projetos.

No Brasil, como em outros países, a aplicação de materiais do PSSC foi restrita e teve curta duração. Além da incorporação de materiais estrangeiros, uma iniciativa similar foi desenvolvida pelo Instituto de Física da USP, o Projeto de Ensino de Física (PEF). Para Gaspar (2014), uma causa comum para o fracasso dos projetos citados era ideia que os alunos poderiam redescobrir as leis científicas por meio de atividades experimentais. Schnetzler (2004 apud Chassot 2004), elenca críticas às seguintes características das metodologias propostas pelos grandes projetos:

- A ênfase na aprendizagem por descoberta, por meio da qual o aluno iria construir conceitos e princípios científicos com base na observação e na coleta de dados experimentais, sendo que, para tal construção, o aluno partiria do zero. [...]
- A mitificação do método científico, como método todo-poderoso, que levava às descobertas das verdades científicas com base em observações objetivas e neutras. Tal método – decomposto em suas várias etapas de: i) observação cuidadosa e coleta sistemática de dados experimentais; ii) busca de regularidades; iii) elaboração de generalizações; e iv) comunicação de verdades [...] (p. 42)

Esta discussão sobre as metodologias experimentais desses projetos também é abordada em um breve histórico do ensino de Ciências Naturais presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) [Brasil 1997]:

A preocupação em desenvolver atividade experimental começou a ter presença marcante nos projetos de ensino e nos cursos de formação de professores. As atividades práticas chegaram a ser proclamadas com o a grande solução para o ensino de Ciências, as grandes facilitadoras do processo de transmissão do saber científico.

O objetivo fundamental do ensino de Ciências passou a ser o de dar condições para o aluno identificar problemas a partir de observações sobre um fato, levantar hipóteses, testá-las, refutá-las e abandoná-las quando fosse o caso, trabalhando de forma a tirar conclusões sozinho. O aluno deveria ser capaz de “redescobrir” o já conhecido pela ciência, apropriando-se da sua forma de trabalho, compreendida então com o “o método científico”: uma sequência rígida de etapas preestabelecidas. (p. 19)

Paralelamente, o sistema educacional brasileiro em nível básico e superior passou por uma ampliação numérica substancial no fim da década de 1960 e início da década de 1970. Por meio de decretos (5540/68 e 5692/71), a quantidade de vagas nos diversos níveis educacionais foi subitamente ampliada, sem serem consideradas medidas que assegurassem a qualidade do ensino [Barros 2002]. Moreira (2003) e Barros (2002) associam o surgimento da Pesquisa em Ensino de Física² a tal cenário, nacional e internacionalmente, e ambos destacam a consolidação e vasta produção desta área de conhecimento no Brasil. Entretanto, Moreira (2003) ressalta que essa pesquisa não é sinônimo de desenvolvimento curricular, instrucional ou profissional do professorado. Na mesma direção, Borges (2002) destaca que os resultados obtidos por pesquisadores em ensino são objetos desconhecidos por governantes e professores.

Ao longo das décadas subsequentes, o papel das atividades experimentais e o uso do laboratório didático, bem como seus desafios, limitações e potencialidades esteve presente dentre os mais diversos temas da Pesquisa em Ensino de Física [Barros 2002]. A perspectiva do ensino experimental por redescoberta foi superada, e linhas objetivas sobre a importância, o caráter e a estruturação do trabalho experimental/prático foram estabelecidos [Borges 2002; Millar 2004], a despeito de ser um campo de conhecimentos ainda em desenvolvimento. Aparentemente as orientações curriculares desenvolvidas no Brasil após o processo de redemocratização, no final da década de 1980, incorporaram o conhecimento produzido pela pesquisa, tais como

² No artigo citado, Moreira utiliza o termo Pesquisa em Ensino de Ciências, da qual a física é uma das componentes.

concepções alternativas, mudança conceitual, construtivismo, investigação [Moreira 2003], como pode ser destacado em trechos dos PCNs [Brasil 1997]:

A contrapartida didática à pesquisa das concepções alternativas é o modelo de aprendizagem por mudança conceitual, núcleo de diferentes correntes construtivistas. São dois seus pressupostos básicos: a aprendizagem provém do envolvimento ativo do aluno com a construção do conhecimento e as ideias prévias dos alunos têm papel fundamental no processo de aprendizagem, que só é possível embasada naquilo que ele já sabe. Tais pressupostos não foram desconsiderados em currículos oficiais recentes. (p. 21)

e na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) [Brasil 2017]:

Nessa perspectiva, a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos do Ensino Fundamental o acesso à **diversidade de conhecimentos científicos** produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais **processos, práticas e procedimentos da investigação científica**. [...]

Para tanto, é imprescindível que eles sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de atividades investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações. Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas predefinidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório. (p. 319-320)

O termo investigação/investigativas é reiteradamente utilizado na área de Ciências Naturais da BNCC. Entretanto, a discussão desenvolvida sobre o tema é superficial e não fornece elementos satisfatórios a professores e gestores sobre sua dimensão e efetivo significado dentro da Pesquisa em Ensino. A própria Sociedade Brasileira de Física (SBF), em meio à consulta pública para elaboração da Base, por meio de um grupo de trabalho designado por sua diretoria, teceu um conjunto de considerações sobre o documento preliminar da Base [SBF 2015], em que destaca a falta de clareza quanto ao que se entende por “investigação”. Outro ponto assinalado no parecer é a incerteza quanto ao caráter da proposta da BNCC, seja como um currículo ideal ou um currículo mínimo, já que sua extensão é incompatível com os espaços e tempos escolares atuais. Especificamente para o Ensino Fundamental, o parecer aponta a necessidade de que os conteúdos conceituais sejam indicados dentro de uma progressão de aprendizagem e graus de abstrações. Em uma análise pontual dos objetos de interesse do presente trabalho, apresentados no Quadro 3.1, referentes às habilidades

e temas previstos no 8º ano do Ensino Fundamental, é possível verificar que esta análise, feita em relação à versão preliminar, se aplica também à versão promulgada.

OBJETOS DE CONHECIMENTO	HABILIDADES
Fontes e tipos de energia	(EF08CI01) Identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades. (EF08CI06) Discutir e avaliar usinas de geração de energia elétrica (termelétricas, hidrelétricas, eólicas etc.), suas semelhanças e diferenças, seus impactos socioambientais, e como essa energia chega e é usada em sua cidade, comunidade, casa ou escola.
Circuitos elétricos	(EF08CI02) Construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais.
Transformação de energia	(EF08CI03) Classificar equipamentos elétricos residenciais (chuveiro, ferro, lâmpadas, TV, rádio, geladeira etc.) de acordo com o tipo de transformação de energia (da energia elétrica para a térmica, luminosa, sonora e mecânica, por exemplo).
Cálculo de consumo de energia elétrica	(EF08CI04) Calcular o consumo de eletrodomésticos a partir dos dados de potência (descritos no próprio equipamento) e tempo médio de uso para avaliar o impacto de cada equipamento no consumo doméstico mensal.
Uso consciente de energia elétrica	(EF08CI05) Propor ações coletivas para otimizar o uso de energia elétrica em sua escola e/ou comunidade, com base na seleção de equipamentos segundo critérios de sustentabilidade (consumo de energia e eficiência energética) e hábitos de consumo responsável.

Quadro 3.1: Unidade temática Matéria e energia para o 8º ano do Ensino Fundamental.

Fonte: Brasil 2017, p. 348 – 349.

Os objetos de conhecimento e habilidades apresentados no Quadro 3.1 não esclarecem como as “práticas de investigação” sugeridas são apropriadas por esta unidade temática, como requeria a SBF para toda o componente curricular de Ciências. Além disso, conceitos de eletricidade como corrente, condutividade, diferença de potencial, efeito Joule e outros não são sequer citados ou elencados em graus progressivos de aprendizagem. Apesar de a habilidade específica de circuitos elétricos (EF08CI02) induzir a ideia de uma abordagem prática, ela não aponta quais conceitos serão estudados, e não esclarece quais são as supostas similaridades que embasariam a comparação proposta entre os circuitos de pilhas e lâmpadas e os circuitos residenciais.

A ênfase às práticas de investigação dada pela BNCC, se dissociada de uma sólida fundamentação sobre os objetivos das atividades práticas em ambiente escolar, e

de como alcançá-los, pode levar a relações equivocadas entre o que se espera do aluno nesse contexto com as atividades de um pesquisador em ciências em sua prática profissional [Millar 2004; Borges 2002]. Supor que os alunos na educação básica tenham a capacidade de conduzir sistematicamente um processo que envolva observações, investigações e produção de sínteses finais pode se demonstrar completamente inefetivo [Arons 1997]. As tentativas de incluir atividades de investigação no currículo principal geralmente também resultam em práticas que são decepcionantemente diferentes da pretendida [Millar 2004].

3.2 Algumas evidências da Pesquisa em Ensino sobre atividades práticas

Há bons motivos para a utilização de práticas de laboratório nos cursos de física. A Física é uma ciência experimental, que lida com o mundo material. É natural, portanto, que seu ensino e aprendizagem envolvam a observação e manipulação de objetos reais. [Vieira 2013]

Embora exista uma sensação intuitiva sobre a necessidade de práticas de laboratório no ensino de ciências, a dificuldade de demonstrar a efetividade deste recurso põe a sua aplicabilidade em xeque em diversos momentos [Arons 1997]. Para muitos educadores, há dúvidas significativas sobre a eficácia das atividades práticas tais como são praticadas atualmente. Hodson (1990 apud Millar 2004) afirma que, da forma como são praticadas em diversas escolas, as atividades experimentais são mal concebidas, confusas e improdutivas, e para muitos alunos o que acontece no laboratório pouco contribui para o aprendizado científico. Em parte, isso se deve à predominância de atividades estruturadas no formato de *laboratório tradicional* [Borges 2002], caracterizadas por ações práticas, em que os alunos trabalham geralmente em grupos, sob as coordenadas de um roteiro rígido, realizam observações e medidas sobre fenômenos previamente determinados, com o objetivo de verificar uma lei científica, ilustrar conceitos ou aprender a utilizar algum instrumento, técnica ou procedimento específico. Dados os devidos méritos a esses objetivos, é observado que os alunos que concluem unidades de ensino baseadas neste tipo de atividade apresentam resultados de aprendizagem fracos [Arons 1997]. Borges (2002) enumera um conjunto de críticas que confirmam para tais resultados:

As principais críticas que se fazem a estas atividades práticas é que elas não são efetivamente relacionadas aos conceitos físicos; que

muitas delas não são relevantes do ponto de vista dos estudantes, já que tanto o problema como o procedimento para resolvê-lo estão previamente determinados; que as operações de montagem dos equipamentos, as atividades de coleta de dados e os cálculos para obter respostas esperadas consomem muito ou todo o tempo disponível. Com isso, os estudantes dedicam pouco tempo à análise e interpretação dos resultados e do próprio significado da atividade realizada. Em geral, eles percebem as atividades práticas como eventos isolados onde o objetivo é chegar à 'resposta certa' (p. 6)

Apesar da pouca eficácia de muitas atividades experimentais atuais em subsidiar o desenvolvimento da compreensão dos alunos sobre conceitos científicos, o *trabalho prático*³ não deve ser abordado como um “*extra opcional*”, mas sim como um componente essencial, uma vez que as ideias sobre o mundo físico se desenvolvem por meio da ação sobre ele [Millar 2004]. O processo investigativo, em um sentido mais amplo, é apontado pela BNCC como elemento central na formação dos alunos, que deve ser estruturado por meio de situações didáticas que possibilitem uma leitura reflexiva do mundo com base em seus conhecimentos [Brasil 2017]. Assim, o trabalho prático que visa desenvolver o conhecimento científico dos alunos não corresponde, unicamente, a um processo de investigação sobre o mundo real, mas a um conjunto de atividades planejadas pelo professor para incentivar e apoiar os alunos em um processo de construções de significados pessoais alinhados aos conceitos científicos aceitos [Millar 2004].

Portanto, os objetivos das atividades práticas no ensino de ciências vão além da manipulação de experimentos reais e apreciação sensorial dos fenômenos. Arons (1997) sugere ser necessário o progresso em ações que conduzam os estudantes no cruzamento e superposição de investigações e pensamento crítico, com o objetivo de auxiliá-los no desenvolvimento de aprendizagens mais aprofundadas, melhores intuições a partir da manipulação e testagens, além de estabelecer combinações novas com base nas ideias que encontram no ambiente do laboratório, ou em uma tarefa prática fora dele. Para tal, Arons (1997) também estabelece uma lista de ações necessárias em atividades práticas, a qual não reivindica como única, completa ou exaustiva:

1. Observar fenômenos qualitativamente e interpretar as observações.
2. Formar conceitos como um resultado das observações.
3. Construir e testar modelos abstratos à luz da observação e formação de conceitos.

³ O autor define trabalho prático como qualquer atividade de ensino e aprendizagem que envolva, em algum momento, os alunos na observação ou manipulação de objetos reais e materiais, tanto no ambiente do laboratório didático quanto fora dele.

4. Submeter um equipamento a um exame mais próximo no contexto, descobrindo como ele funciona e como ele deveria ser utilizado (em vez de simplesmente receber a instrução de como funciona e o que ele deve fazer).
5. Decidir o que fazer com um equipamento bem como decidir quantas medidas fazer e como manipular e apresentar os dados.
6. Perguntar ou perseguir as questões “Como sabemos ...? Por que acreditamos ...? Qual é a evidência de ...?” inerentemente associadas com uma dada experiência.
7. Discriminar explicitamente entre observação e inferência em interpretar os resultados de experimentos e observações.
8. Fazer raciocínios hipotético-dedutivos (isto é, perguntar e abordar questões “O que aconteceria se ...?”) relacionados às situações do laboratório. Isto inclui visualizar, em abstrato, os efeitos de mudança de variáveis relevantes ou de condições de contorno, visualizar resultados em condições extremas ou limitadas, e, quando possível, formular uma hipótese a priori e depois testá-la realizando um experimento apropriadamente planejado. (p. 334, **tradução nossa**)

Para Millar (2004), o papel das atividades práticas no ensino de ciências, como indicado na Tabela 3.1, é ajudar os alunos a relacionarem dois domínios do conhecimento: o domínio dos objetos e propriedades observáveis, e o domínio das ideias.

Para ajudar os alunos a ...		Domínio conceitual
1	identificar objetos e fenômenos e familiarizar-se com eles	domínio dos objetos e propriedades observáveis
2	aprender um fato (ou fatos)	
3	aprender um conceito	domínio das ideias
4	aprender um relacionamento	
5	aprender uma teoria / modelo	

Tabela 3.1: Possíveis resultados de aprendizagem pretendidos (objetivos de aprendizagem) de uma tarefa destinada a melhorar o conhecimento científico dos alunos.

Fonte: adaptado de Millar 2004, p. 10

Além disso, tais atividades se dão de forma mais eficaz quando [Millar 2004]:

os objetivos de aprendizado são claros e limitados por tarefa; o projeto da tarefa destaca os principais objetivos e mantém o "ruído" no mínimo; uma estratégia explícita é usada para estimular o pensamento dos alunos de antemão; o projeto da tarefa auxilie os alunos a estabelecer vínculos entre dois domínios do conhecimento. (p.20)

A inadequação pedagógica de diversas atividades práticas tradicionalmente utilizadas nas aulas de ciências indica uma fundamentação epistemológica equivocada

baseada em uma visão empirista da ciência e indutiva do ‘método científico’ [Borges 2002]. Esta concepção de ciência não distingue o laboratório escolar do laboratório de pesquisa e julga que em ambos o conhecimento, seja o aprendido pelo aluno ou o desenvolvido pelo pesquisador, emerge de um corpo de observações neutras capazes de subsidiar explicações e generalizações. Ao conferir um papel preponderante à observação de fenômenos e objetos reais, um *indutivista ingênuo* ignora as teorias prévias e preconceitos internalizados pelos cientistas [Chalmers 1993]; da mesma forma, as práticas em laboratório tradicional desconsideram as ideias prévias dos alunos [Millar 2004; Borges 2002]. Os resultados da pesquisa em Ensino de Ciências mostram claramente que as concepções pré-instrucionais influenciam ou impedem a aprendizagem de conceitos científicos, pois essas ideias prévias se opõem fortemente a eles [Duit & Rhoneck 1998].

3.3 Concepções alternativas e pré-instrucionais e aprendizagem de conceitos básicos em eletricidade

Com base no princípio que aprender é um processo ativo de construção por parte do aluno a partir da sua base de conhecimento já existente, o ponto central da aprendizagem de qualquer área são os seus conhecimentos prévios [Duit & Rhoneck, 1998]. As pesquisas em Ensino de Física têm demonstrado que os conceitos mais básicos de circuitos simples de corrente contínua oferecem sérias dificuldades a muitos estudantes; além disso, os efeitos observáveis em atividades práticas não são facilmente ligados a abstrações tais como “carga elétrica”, “corrente”, “energia”, “eletricidade” etc. [Arons 1997]. Por outro lado, tais termos são conhecidos pelos alunos e utilizados indistintamente na linguagem livre do senso comum, associados às próprias concepções concebidas na vivência cotidiana [Pacca *et al.* 2003].

Uma das consequências dessas concepções é identificada por Duit e Rhoneck (1998) como *efeito linear e causal entre baterias e lâmpadas*, caracterizado por explanações fenomenológicas gerais que relacionam o acendimento de uma lâmpada em um circuito simples ao consumo de um agente, denominado “energia” ou “corrente elétrica”, que é armazenado em pilhas e baterias e liberado para a lâmpada quando conectadas por um fio. Na pesquisa realizada por Pacca e colaboradores (2003) com alunos de Ensino Médio, são verificados argumentos que indicam para a existência deste efeito:

- *Toda a eletricidade está somente na pilha, quando você envolve o fio na pilha para a lâmpada e com isso fará que a lâmpada se acenda, ou seja vai haver radiação.*
- *A lâmpada acende porque existe eletricidade (energia) que é armazenada por substâncias químicas no interior da pilha.* (p. 158)

Tais explicações não apontam para a necessidade de um circuito fechado, e para muitos alunos basta apenas um fio entre a pilha e a lâmpada para que a segunda acenda. E, quando há menção direta a dois fios, é utilizada uma versão complementar de dois tipos de corrente/energia emitidos por cada um dos polos, positivo e negativo, combinadas e consumidas no filamento:

- *A lâmpada acende porque na pilha existem polos (positivo/negativo) e quando ligamos os dois polos cria-se uma força chamada Energia, que acende a lâmpada*
- *O polo positivo sobe pelo fio do lado esquerdo da lâmpada e o polo negativo sobe através do fio de cobre, pelo lado direito do fio da lâmpada; as duas se equilibram na molinha da lâmpada, fazendo-a acender* (p. 158)

O efeito linear e causal entre baterias e lâmpadas se vale da concepção alternativa de *consumo da corrente elétrica*, a qual permanece atrativa mesmo após a instrução [Duit & Rhoneck 1998]. Possivelmente, esta persistência se dá pela percepção cotidiana do esgotamento de pilhas e baterias e pela falta de distinção conceitual concreta entre energia e corrente [Arons 1997; Andrade *et al.* 2018]. Tanto o efeito linear e causal como consumo de corrente elétrica podem ser observados nos seguintes modelos mentais apresentados por estudantes, relativos aos fenômenos elétricos em circuitos simples, identificados na literatura por Andrade e colaboradores (2018):

Modelo I – A corrente elétrica é emitida pela fonte (bateria, pilha ou gerador) a partir de um dos polos e é consumida durante sua passagem no circuito, de modo que sua intensidade diminui ao ultrapassar algum elemento do circuito.

Modelo II – Correntes elétricas deixam a fonte a partir de ambos os polos, sendo usadas quando se encontram nos elementos do circuito.
(p. 2)

Em tarefas elaboradas para identificação da concepção alternativa de consumo da corrente elétrica em um circuito similar ao da Figura 3.1, apenas uma pequena fração dos respondentes opta pela alternativa de conservação. Duit e Rhoneck (1998) indicam que, quando submetidos às três alternativas contidas na primeira coluna do Quadro 3.1, a maioria dos alunos escolhe a opção 1 ou 2, relacionadas ao consumo total ou parcial

respectivamente. De igual modo, Chabay e Sherwood (2015)⁴ indicam que, quando é solicitada uma resposta livre, a maioria dos alunos submetidos a este tipo de tarefa fornecem sentenças similares às da segunda coluna do Quadro 3.2.

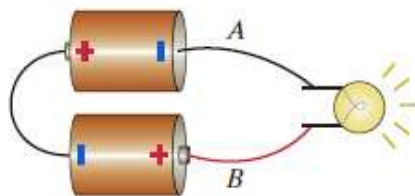


Figura 3.1: Um circuito simples contendo uma lâmpada e duas pilhas em série
Fonte: Chabay e Sherwood (2015)

1: "A lâmpada usa toda a corrente elétrica."	1. Não deve haver corrente alguma em B, porque toda a corrente de elétrons proveniente da extremidade negativa da bateria é consumida na lâmpada.
2: "A lâmpada usa um pouco da corrente elétrica."	2. A corrente em B deve ser menor que a corrente em A, porque parte da corrente é usada para fazer a lâmpada emitir luz e calor.
3: "Toda a corrente elétrica que vai da bateria à lâmpada retorna à bateria."	3. A corrente deve ser a mesma em A e em B.

Quadro 3.2: Possíveis respostas de alunos dadas em tarefas que se referem a consumo de corrente elétrica. Fonte: Adaptado de Duit & Rhoneck (1998) e Chabay & Sherwood (2015)

Os outros modelos mentais identificados por Andrade e colaboradores (2018) remetem a duas concepções alternativas denominadas por Duit e Rhoneck (1998) de *raciocínio sequencial* e *raciocínio local*. Na primeira delas os estudantes analisam um circuito em termos de “antes” e “depois” de um determinado elemento, sendo a corrente elétrica a transmissora de informações sobre uma mudança realizada no circuito. A segunda refere-se ao fato que os estudantes focam sua atenção em um ponto no circuito ignorando o restante. Por exemplo, muitos estudantes consideram as pilhas e baterias como fonte de corrente constante e não de tensão, independentemente do circuito conectado a elas.

Modelo III – A intensidade da corrente é determinada pelo elemento através do qual ela está passando. Ela não pode ser influenciada por um elemento onde ainda não passou. Ou seja, a corrente é vista como algo que atravessa o circuito ponto a ponto, afetando cada elemento no momento que o atinge. Assim, uma mudança em um ponto do circuito não afeta o comportamento do circuito nos pontos anteriores.

⁴ A tarefa por eles descrita se refere a corrente de elétrons orientada do terminal negativo do conjunto de pilhas para o positivo através da lâmpada.

Modelo IV – A corrente é uma propriedade exclusiva do gerador. Ela é independente dos demais elementos do circuito. (p. 2)

Os conceitos de força eletromotriz, tensão e diferença de potencial figuram entre os mais difíceis na eletricidade básica [Duit & Rhoneck 1998], seja em campos eletrostáticos ou em circuitos elétricos, nos quais sua relevância e aplicabilidade são ainda mais obscuras [Arons 1997]. Embora tais conceitos sejam de uso cotidiano, eles podem ser verbalizados pelos alunos sem ter a devida clareza de seus significados cientificamente aceitos. Em argumentações pré-instrucionais, a tensão é relacionada à “força de uma bateria” e é confundida com os conceitos de corrente ou energia mesmo após a instrução [Duit & Rhoneck 1998]. Para Pacca e colaboradores (2003) a palavra *força* quando empregada no contexto de circuitos elétricos aparentemente tenta explicar a diferença de potencial.

Dado o amplo espectro de concepções alternativas e pré-instrucionais sobre conceitos físicos em eletricidade básica e sua persistência mesmo após a instrução, fica clara a inadequação de uma estratégia pedagógica que suponha uma formulação conceitual rigorosa desde o início. Para Arons (1997), parece prudente iniciar a instrução de conceitos físicos desta área com ideias bastante primitivas e intuitivas, e depois refiná-las e redefini-las à medida que os alunos se apropriam da estrutura conceitual cientificamente aceita. Em geral, o processo percorrido pelos estudantes no desenvolvimento conceitual no sentido da visão da física é longo e difícil, permeado por idas e vindas, desenvolvimentos paralelos e becos sem saída [Duit & Rhoneck 1998]. Desta forma, torna-se claro o papel do docente na condução das atividades didáticas, tendo sempre clareza dos objetivos conceituais em cada etapa e das estratégias que serão utilizadas na comunicação desses conceitos.

Na próxima seção discutiremos como as evidências obtidas pela pesquisa em Ensino de Física tanto no campo das atividades experimentais quanto nas concepções alternativas e pré-instrucionais subsidiaram a elaboração da proposta didática apresentada neste trabalho.

3.4 Desenvolvimento de uma proposta de sequência didática

A sequência didática proposta neste trabalho foi desenvolvida com o objetivo de atender, parcialmente, aos objetos de conhecimentos e habilidades indicados para o 8º ano do E.F. na unidade temática Matéria e Energia, como apresentado anteriormente no Quadro 3.1. Com ela, pretende-se apoiar a construção e mobilização de estruturas conceituais e linguagens compatíveis com as cientificamente aceitas, além de propiciar situações concretas de manipulação de circuitos elétricos e componentes eletroeletrônicos.

Em um primeiro momento de estruturação da sequência, foram identificadas as habilidades propostas ao longo de todo o Ensino Fundamental (E.F.) que, direta ou indiretamente, envolvam conceitos ou fenômenos relacionados a eletricidade. Os resultados deste breve levantamento são apresentados na Tabela 3.2.

Ano Escolar	Objeto de Conhecimento	Habilidade
2º ano do E.F.	Prevenção de acidentes domésticos	(EF02CI03) Discutir os cuidados necessários à prevenção de acidentes domésticos (objetos cortantes e inflamáveis, eletricidade, produtos de limpeza, medicamentos etc.).
5º ano do E.F.	Propriedades físicas dos materiais	(EF05CI01) Explorar fenômenos da vida cotidiana que evidenciem propriedades físicas dos materiais – como densidade, condutibilidade térmica e elétrica, respostas a forças magnéticas, solubilidade, respostas a forças mecânicas (dureza, elasticidade etc.), entre outras.
	Ciclo hidrológico	(EF05CI02) Aplicar os conhecimentos sobre as mudanças de estado físico da água para explicar o ciclo hidrológico e analisar suas implicações na agricultura, no clima, na geração de energia elétrica, no provimento de água potável e no equilíbrio dos ecossistemas regionais (ou locais).
8º ano	ver Quadro 3.1	
9º ano do E.F.	Estrutura da matéria	(EF09CI03) Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica.

Tabela 3.2: Habilidades que abordam conceitos ou fenômenos elétricos.
Fonte: Adaptado de Brasil (2017)

Os conceitos e fenômenos em eletricidade identificados nos anos escolares precedentes ao 8º ano do E.F. são voltados para crianças de tenra idade e abordados em habilidades genéricas, o que dificulta um aprofundamento conceitual. Desta forma, partimos do princípio que mesmo se submetidos a um currículo orientado pela BNCC, ao ingressar no oitavo ano escolar, alvo deste trabalho, os alunos possivelmente

apresentarão as concepções pré instrucionais abordadas na seção anterior. Ademais, pela breve análise do tema eletricidade nesses anos escolares, a instrução formal pode reforçar as estruturas cognitivas alternativas e do senso comum apresentadas pelos estudantes.

Outra inferência que pode ser feita a partir das habilidades indicadas na Tabela 3.2 é a indisponibilidade, no 8º ano do EF, dos conceitos de carga elétrica, campo e potencial elétrico e outros, já que a estrutura da matéria e a composição do átomo são temas introduzidos apenas no ano subsequente. Portanto, parece adequado desenvolver uma sequência didática que não tenha início pela eletrostática, como é costume nos livros didáticos de Física da educação básica. Por exemplo, das coleções de Física aprovadas no Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018, apenas a grifada aborda a corrente e circuitos elétricos antes dos princípios eletrostáticos.

TÍTULO DA COLEÇÃO	AUTORES	EDITORA	EDIÇÃO-ANO
Física	Carron; Guimarães; Piqueira	Ática	2ª ed. – 2016
Compreendendo a física	Alberto Gaspar	Ática	3ª ed. – 2016
Física: Contexto & Aplicações	Antônio Máximo; Beatriz Alvarenga; Carla Guimarães	Scipione	2ª ed. – 2016
Ser Protagonista - Física	Adriana Benetti Marques Válio e colaboradores	SM	3ª ed. – 2016
Física para o Ensino Médio	Fuke; Kazuhito	Saraiva	4ª ed. – 2016
Física	Gualter; Helou; Newton	Saraiva	3ª ed. – 2016
Física: Interação e Tecnologia	Aurelio Gonçalves Filho; Carlos Toscano	Leya	2ª ed. – 2016
Física Aula por Aula	Benigno Barreto; Claudio Xavier	FTD	3ª ed. – 2016
Física	Bonjorno; Casemiro Clinton; Eduardo Prado	FTD	3ª ed. – 2016
Física em Contextos	Alexander Pogibin; Maurício Pietrocola; Renata De Andrade; Talita Raquel Romero	Editora do Brasil	1ª ed. – 2016
Física - Ciência e Tecnologia	Carlos Magno A. Torres e colaboradores	Moderna	4ª ed. – 2016
Conexões com a Física	Blaidi Sant'anna e colaboradores	Moderna	3ª ed. – 2016

Tabela 3.3: Coleções de Física aprovadas no PNLD 2018.
Fonte: Autoria própria com dados do Guia digital do PNLD⁵.

⁵ Disponível em: <https://www.fnnde.gov.br/pnld-2018/index.html>

Para Arons (1997), o fator determinante quanto à definição do que introduzir primeiro – eletrostática ou eletrodinâmica – é a preferência do próprio professor. Contudo, ele acredita que o conjunto de fenômenos de conexão entre essas duas áreas é frequentemente omitido, ao ponto de se observar, em muitos livros didáticos, um salto descontínuo do conceito de “carga” para o de “corrente elétrica”, não tornando claro para os alunos “Como sabemos ...? Por que acreditamos ...? Qual é a evidência de que corrente elétrica é carga em movimento?”. A adoção de uma sequência como as usuais nos livros didáticos de Física propostos para o Ensino Médio pelo PNLD implicaria na inserção de novos objetos de conhecimentos e habilidades à já extensa lista da BNCC, e realizar uma ampla discussão sobre as conexões entre essas duas áreas. Arons (1997) afirma que esta transição deve considerar as discussões experimentais e históricas ao longo do desenvolvimento dos conceitos, mas isto poderia ser confuso e improdutivo para a maioria dos estudantes em níveis introdutórios.

Uma outra etapa do desenvolvimento, posterior aos levantamentos já citados, foi a busca de materiais didáticos que optam por uma linha similar à escolhida. Nela foram identificados os materiais do GREF⁶, *Physics by Inquiry* [McDermott *et al.* 1996], *Tutorials in Introductory Physics* [McDermott *et al.* 1998], *Tutorials in Introductory Physics – Homework* [McDermott *et al.* 2002], Capítulo 7 da Parte I e Capítulo 6 da Parte II do livro *Teaching Introductory Physics* [Arons 1997]. Também foi selecionado o livro *Matter & Interactions* [Chabay & Sherwood 2015], Capítulos 18 e 19, no qual a relação entre campo elétrico e corrente elétrica é abordada conceitual e experimentalmente, embasando um desenvolvimento sólido e gradual de conceitos. Esses materiais subsidiaram a elaboração de atividades como também as discussões conceituais devidamente estruturadas para o ano escolar alvo.

A sequência didática proposta é indicada na Tabela 3.4 e seu texto integral é apresentado de maneira destacável no Apêndice B deste trabalho. Ela se atém apenas aos conceitos e fenômenos da eletrodinâmica, visando o acesso a conhecimentos científicos historicamente construídos e a aproximação dos estudantes aos processos, procedimentos e práticas de investigação, e foi organizada em trabalhos práticos de construção circuitos simples e análise de fenômenos. Nesse contexto, sob a orientação do professor, pretende-se apoiar as atividades de manipulação e familiarização de componentes eletroeletrônicos pelos alunos, além de propiciar a observação fenômenos

⁶ Disponível em: <http://www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html>

e a formação gradual de modelos mentais que incorporem os conceitos científicos aceitos aos já apresentados por eles através de raciocínios indutivos e dedutivos. Os roteiros e *kits* foram desenvolvidos para aplicação em salas de aula com os alunos organizados em grupos com cerca de quatro alunos, visando a interação entre eles e o desenvolvimento da autonomia. Novos componentes de circuitos elétricos são apresentados a cada etapa, a fim de facilitar a construção dos circuitos e a compreensão da função de cada um deles. Contudo, vale ressaltar que não se espera deles a redescoberta individual, ou em grupos, dos conceitos científicos, mas que sejam conduzidos num processo de comunicação dos conhecimentos cientificamente aceitos pelo professor com apoio das atividades.

ID	Atividade	Componentes de circuitos apresentados na atividade	Conceito abordado	Nº de aulas
01	Lâmpada, fio e pilha	pilha comum 1,5 V, lâmpada incandescente e fio flexível de cobre.	Circuito	1
02	Acende ou não acende	conectores jacaré, soquete, e objetos condutores e isolantes.	Condutores e isolantes	1
03	Fechado ou aberto	suporte para duas pilhas, interruptores, diodos retificadores.	Corrente elétrica e convenção de um sentido	2
04	Lâmpada e mais lâmpadas		Resistividade, resistência e resistores	2
05	Medindo a corrente elétrica	fio de níquel-cromo (filamento incandescente e reostato), amperímetro digital, motor elétrico, LED, <i>buzzer</i> .	Conservação da corrente elétrica e Lei dos nós	3
06	Sapos, pilhas e baterias?	voltímetro digital, célula fotovoltaica, gerador.	Tensão, força eletromotriz e diferença de potencial	2
07	Potência		Potência	2
08	O que é cobrado na “conta de luz”?		Consumo de energia elétrica	2

Tabela 3.4: Sequência didática proposta.

A primeira atividade propõe aos alunos o desafio de acender uma lâmpada incandescente de lanterna com apenas uma pilha comum e um pedaço fio. Eles devem ser encorajados a desenvolver o maior número de tentativas e a registrá-las, até que obtenham as quatro possíveis soluções exemplificadas na Figura 3.2. Esses registros são utilizados em uma discussão posterior sobre as similaridades e diferenças entre os arranjos em que a lâmpada acende ou não acende, assim pretende-se conduzi-los à percepção de que a lâmpada, tal como a pilha e o fio, possui dois terminais intrínsecos (rosca e ponta metálica na parte inferior), e que o resultado esperado só ocorrerá se os três elementos são conectados ponta a ponta em um ciclo. Ao longo de toda a atividade o instrutor deve prestar atenção a argumentações utilizadas pelos alunos que façam uso de ideias relacionadas ao *efeito linear e causal entre baterias e lâmpadas*, e/ou que utilizem indistintamente os termos “energia”, “eletricidade” e “corrente elétrica”, a fim de não as reforçar ao longo das atividades experimentais.

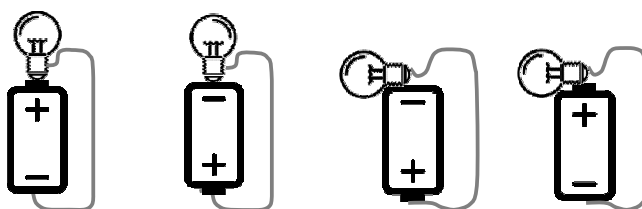


Figura 3.2: Soluções típicas da Atividade 1

O trabalho de casa correlato apresenta representações de possíveis montagens com uma pilha, uma lâmpada e um pedaço de fio desencapado, como mostrado na Figura 3.3, e solicita que sejam assinalados em quais deles a lâmpada acenderia. Espera-se que nesta etapa de instrução os esquemas com circuitos incompletos ao redor dos terminais da pilha não sejam atrativos. Contudo, as montagens em que a pilha é posta em curto-circuito, apresentados na Figura 3.3, apenas serão descartadas se verificadas experimentalmente e cuidadosamente analisadas em sala de aula.

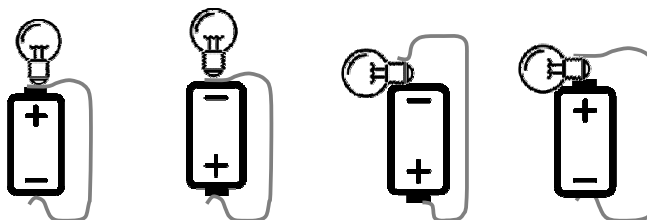


Figura 3.3: Esquemas em que a pilha é posta e curto-circuito

A segunda atividade tem o objetivo de subsidiar fenomenologicamente uma classificação de materiais como condutores ou isolantes, quando submetidos a pequenas

tensões. Para tal, os alunos projetam e constroem, sob a orientação do professor, um circuito de teste conectando ponta a ponto os materiais disponíveis: uma pilha comum, fios com conectores jacarés, uma lâmpada com soquete e um pedaço de arame ou outro condutor, como apresentado na Figura 3.4. Em seguida, os outros itens de teste são entregues aos grupos que os classificam conforme o funcionamento da lâmpada. Ao serem perguntados sobre uma nomenclatura para as classificações desenvolvidas, os termos “condutor” e “isolante” são lembrados por alguns deles de suas experiências cotidianas. Esta classificação é estendida para o ar e aos materiais que compõem a lâmpada e o soquete.

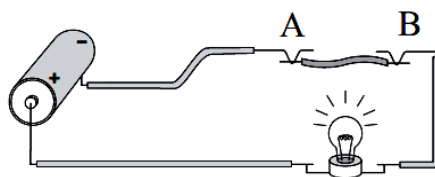


Figura 3.4: Exemplo de circuito de teste na Atividade 2. Fonte: Assis 2018

Após a formação dos conceitos preliminares de *circuito*, *condutores* e *isolantes*, a sequência didática propõe a construção de um modelo de corrente elétrica que possa ser evidenciado e testado em atividades práticas com circuitos. Na Atividade 3, são construídos circuitos de teste, similares aos utilizados anteriormente, para a observação e análise do acendimento da lâmpada quando são inseridos e manipulados interruptores e diodos retificadores. As ações e reflexões são orientadas para contestar o raciocínio sequencial de análise de circuitos, ou seja, ao fechar ou abrir um circuito com interruptores o efeito observável de emissão de luz, ou interrupção, ocorre independentemente da posição relativa entre este componente e a lâmpada.

Nas construções com diodos pretende-se introduzir a percepção de um sentido para a corrente elétrica e que esta flui em um único sentido, ao contrário do modelo pré-instrucional de que a corrente é emitida nos dois polos da bateria na direção da lâmpada. Devido à queda de tensão causada pelos diodos (0,7 V para os de silício), é necessária a utilização de duas pilhas tipo AA de 1,5 V, preferencialmente com suportes. A corrente elétrica passa a ser compreendida como um fluxo estabelecido ou interrompido quase que instantaneamente em todo os pontos dos elementos condutores. O professor deve ter em mente que as evidências experimentais não provam a existência desse fluxo, nem determinam sua natureza, mas que o modelo construído é uma formação conceitual plausível diante das observações. A atividade é complementada pelo trabalho de casa,

que explora a representação gráfica do fluxo de corrente em circuitos, com representações pictóricas ou convencionais de circuitos, e a estrutura da lâmpada e do soquete, trazendo a percepção que estes também são atravessados pela corrente.

A partir do modelo de corrente definido, na Atividade 4 são analisadas associações de lâmpadas em série e em paralelo, tendo seus brilhos como indicadores qualitativos da intensidade de corrente elétrica que atravessa cada uma. Busca-se desenvolver algumas evidências que se oponham às ideias de consumo de corrente, da bateria como fonte constante de corrente e do aumento da resistência do circuito independente do arranjo entre as lâmpadas, seja em série ou paralelo. O conceito de *resistência* emerge naturalmente, como uma propriedade do circuito se opor à passagem de corrente elétrica, sendo extrapolado para os conceitos de *resistividade*, *resistores* e para uma redefinição de *condutores* e *isolantes*. As montagens indicadas não requerem o conhecimento de novos componentes eletrônicos e sua prévia observação e manipulação; por esta razão, cremos ser instrutiva a utilização de simuladores computacionais. A Figura 3.5 e a Figura 3.6 apresentam dois exemplos de montagens com lâmpadas em série e em paralelo, respectivamente, em dois simuladores: Lâmpada e mais Lâmpadas do LIMC-UFRJ⁷ e kit para montar circuito DC do PhET-University of Colorado⁸.

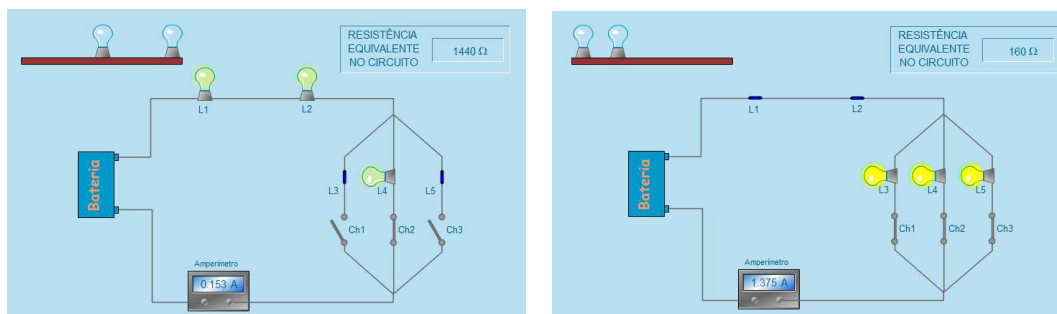


Figura 3.5: Exemplos de circuitos com lâmpadas em série e em paralelos no simulador Lâmpada e mais Lâmpadas do LIMC-UFRJ

⁷ Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/>

⁸ Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html

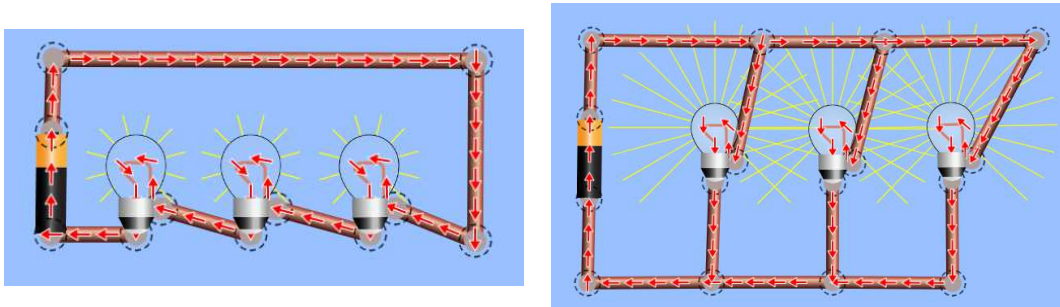


Figura 3.6: Exemplo de circuitos com lâmpadas em série e em paralelo no simulador Kit para montar circuito DC de PhET-University of Colorado.

Na Atividade 5, a corrente elétrica é quantificada, inicialmente pela deflexão de uma bússola colocada nas proximidades dos fios do circuito, e em seguida pelo uso de um multímetro digital como amperímetro. A atenção quanto à correta regulação e utilização deste equipamento de medida é fundamental para que sejam evitados possíveis acidentes e danos. As tarefas práticas são mais rigidamente guiadas para a tomada de medidas em múltiplas posições e em diferentes circuitos construídos com lâmpadas, reostatos, motores, LEDs e *buzzers*. Esses dados devem ser obtidos e analisados com cuidado e sob a orientação do professor, uma vez que está identificado na literatura [Duit & Rhoneck 1998] que as concepções pré-instrucionais, inclusive de consumo de corrente, podem suplantam evidências empíricas. A formulação conceitual é proposta em termos de um *princípio da conservação da corrente elétrica* e da *lei dos nós*, que são adequações propositais do *princípio da conservação das cargas* em circuitos em estado estacionário.

O papel das pilhas como fonte de diferença de potencial é introduzido na Atividade 6 com um texto histórico sobre a divergência entre Galvani e Volta relativa à eletricidade animal, que culmina no desenvolvimento de primeiras versões de pilhas e baterias. Em seguida, a partir da observação do brilho de uma única lâmpada submetida a diferentes quantidades de pilhas em série, é apresentado o conceito de força eletromotriz (*fem*). Esta grandeza é medida com um multímetro regulado na escala de até 20V em corrente contínua através dos terminais de pilhas, individualmente ou associadas em série, de uma mini célula fotovoltaica e de um pequeno gerador DC (ou dínamo). A regulação do multímetro deve ser realizada pelo próprio professor, ou sob sua supervisão, a fim de evitar possíveis danos ao equipamento; por esta mesma razão, se faz necessário instruir os alunos para não modificar as conexões dos cabos no multímetro e a posição da chave seletora. Por fim, a diferença de potencial entre os

terminais dos componentes de circuitos é definida, mensurada e discutida. No trabalho de casa correspondente a esta atividade são apresentados esquemas e fotografias de medidas de força eletromotriz através dos terminais de pilhas comuns e de baterias com limões e pares metálicos de cobre e zinco com voltímetros.

Com a definição dos conceitos de *corrente elétrica*, *tensão*, *força eletromotriz* e *diferença de potencial*, a sequência didática é orientada para discussões práticas dos conceitos de potência e energia nas Atividades 7 e 8, respectivamente. Estas contemplam as habilidades relacionadas às transformações de energia e à quantificação e otimização do consumo de energia elétrica (EF08CI03⁹ - EF08CI04¹⁰ - EF08CI05¹¹). A potência de equipamentos elétricos é contextualizada por um texto jornalístico e exemplifica com dados do Programa Nacional de Etiquetagem para três tipos de lâmpada que são comparadas conforme os dados apresentados. Em complemento à Atividade 7, o trabalho de casa apresenta a relação matemática entre potência, corrente elétrica e d.d.p., que é utilizada para calcular a corrente e dimensionar um disjuntor adequado a uma residência fictícia¹².

Especificamente, a Atividade 8 reforça a distinção entre corrente e energia, destacando o “consumo” de energia como um processo transformação conservativa. Alguns exemplos do cálculo da quantidade de energia elétrica, a partir da potência e do tempo de uso, são realizados com informações de eletrodomésticos¹³. As tarefas propostas exigem a manipulação matemática destas grandezas a fim de comparar o consumo, a eficiência e o custo associado a alguns equipamentos o que dá subsídios para a tomada de decisão e proposição de hábitos sustentáveis.

A sequência didática encontra-se no Apêndice B.

⁹ Classificar equipamentos elétricos residenciais (chuveiro, ferro, lâmpadas, TV, rádio, geladeira etc.) de acordo com o tipo de transformação de energia (da energia elétrica para a térmica, luminosa, sonora e mecânica, por exemplo).

¹⁰ Calcular o consumo de eletrodomésticos a partir dos dados de potência (descritos no próprio equipamento) e tempo médio de uso para avaliar o impacto de cada equipamento no consumo doméstico mensal.

¹¹ Propor ações coletivas para otimizar o uso de energia elétrica em sua escola e/ou comunidade, com base na seleção de equipamentos segundo critérios de sustentabilidade (consumo de energia e eficiência energética) e hábitos de consumo responsável.

¹² Esta tarefa foi adaptada da questão 19, prova azul, do Exame Nacional do Ensino Médio de 2009.

¹³ As informações de d.d.p., potência ou similares foram obtidas das etiquetas de equipamentos do autor e das planilhas fornecidas pelo INMETRO <http://www.inmetro.gov.br/CONSUMIDOR/TABELAS.ASP>

3.5 Descrição do *kit* experimental

Para realização das atividades experimentais propostas pela sequência didática, foi desenvolvido um *kit* com componentes elétricos e eletrônicos de pequenas dimensões. A escolha dos materiais se deu com os objetivos de facilitar a manipulação por parte dos alunos e de ser o mais intuitivo possível, para que eles dedicassem o máximo de tempo possível à análise dos fenômenos e discussões conceituais e não à simples manipulação dos materiais. A maior dificuldade no desenvolvimento do *kit* foi a obtenção de lâmpadas incandescentes com base rosca e seus respectivos soquetes. Estes itens caíram em desuso e sua comercialização é restrita a poucas empresas que ainda os possuem em estoque ou em *sites* de venda especializada. Por isto, se faz necessária a busca por materiais que atendem as especificidades didáticas das lâmpadas pingo d'água.

Tanto as lâmpadas quanto os soquetes foram obtidos por meio de doações de instituições de ensino. A Figura 3.7 apresenta uma visão geral dos itens que compõe o *kit*, descritos na Tabela 3.5.

Os itens 1, 3, 4, 5, 6 e 8 são facilmente encontrados em lojas especializadas de componentes eletrônicos, e os conectores dos fios e do suporte de pilhas foram soldados para facilitar a construção dos circuitos. Os motores DC são retirados de impressoras e foram comprados em uma loja de sucata eletrônica e as células fotovoltaicas em *sites* de comércio. Em todas as construções de circuitos com essas fontes são obtidas tensões da ordem máxima de 10 V, o que minimiza os riscos de choques elétricos.

Além dos itens apresentados na Figura 3.7, em atividades específicas são disponibilizados para cada grupo um multímetro digital, como o exemplificado na Figura 3.8, e um resistor variável construído com uma régua de madeira com 30 centímetros, dois bornes para pino banana, e um comprimento de fio de níquel cromo de 110 Ω /m, apresentado na Figura 3.9.

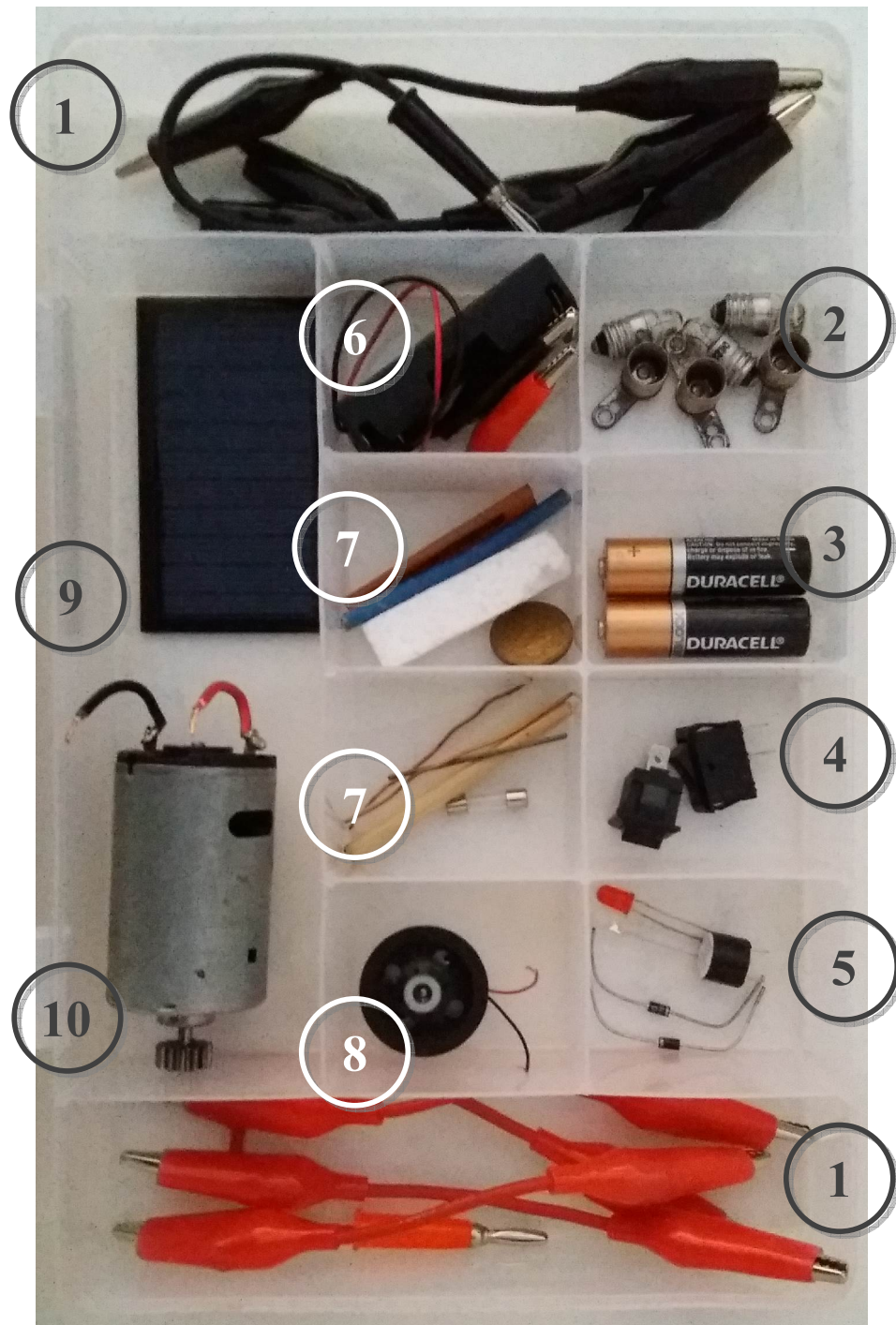


Figura 3.7: Itens do kit experimental

ID	Descrição	Quant.
1	Fios de cobre banana/jacaré preto	1
	Fios de cobre banana/jacaré vermelho	1
	Fios de cobre jacaré/jacaré preto	3
	Fios de cobre jacaré/jacaré vermelho	3
	Fio de cobre com as pontas desencapadas	1
2	Lâmpadas pingo d'água de 2,5 V (Modelo GE 222)	3
	Soquete para lâmpada E10 tipo rosca	3
3	Pilhas alcalinas AA	2
4	Chave gangorra com 2 terminais	2
5	LED vermelho 5 mm	1
	LED branco 5 mm	1
	<i>Buzzer</i> ativo 5,0 V	1
	Diodos retificadores 1N4004	2
6	Suporte para 2 pilhas AA	1
7	Materiais condutores e isolantes diversos	
8	Motor DC 5,9 V	1
9	Mini célula fotovoltaica (aproximadamente 5V)	1
10	Motor DC 12 V	1

Tabela 3.5: Itens do kit experimental



Figura 3.8: Multímetro digital



Figura 3.9: Resistor variável com fio de níquel cromo.

No próximo capítulo, será feito o relato da aplicação da sequência didática proposta em ambiente escolar

Capítulo 4

Aplicação dos tutoriais

Neste capítulo são apresentadas as etapas de aplicação, ao longo dos anos letivos de 2019 e 2020, das atividades práticas elaboradas na forma de tutoriais. Nas três primeiras seções são descritos os procedimentos realizados, as observações e resultados obtidos, respectivamente, nas aplicações piloto, preliminar e definitiva. A adequação do material, tanto os tutoriais impressos quanto os objetos físicos para desenvolvimento das atividades práticas, é verificada através do envolvimento e comprometimento de alunos pertencentes ao público-alvo. Os tutoriais respondidos foram coletados para posterior análise, e alguns resultados são apresentados mesmo que não apresentem número de respondentes que lhes forneçam relevância estatística.

A aplicação definitiva do material foi comprometida pela paralisação das atividades presenciais no ano letivo de 2020 em decorrência da pandemia de Covid-19. Considera-se que esta interrupção não compromete uma análise prévia do material proposto, que será retomada e aprofundada em um momento posterior.

4.1 Aplicação piloto

No início do segundo semestre de 2019, os tutoriais encontravam-se em fase inicial de desenvolvimento. Com o intuito de observar em uma situação prática algumas previsões descritas na literatura, decidiu-se aplicar atividades experimentais similares às que seriam desenvolvidas nos tutoriais.

A primeira das atividades foi ministrada a dois alunos da terceira série do ensino médio, sendo um de cada sexo. Esses apresentavam, nas aulas tradicionais de física, interesses e rendimentos distintos. Contudo, na realização da atividade, ambos tiveram o mesmo envolvimento na busca da solução do desafio proposto. Cada um recebeu do professor uma pilha tipo C, um pedaço de fio de cobre com as pontas desencapadas com cerca de 15 cm e uma lâmpada incandescente de lanterna. Em seguida, o professor solicitou que pudessem acender a lâmpada com apenas esses materiais.

Inicialmente, ambos utilizaram de um curto intervalo de tempo observando os itens. Em seguida, na primeira tentativa, eles conectaram o fio a um dos terminais da

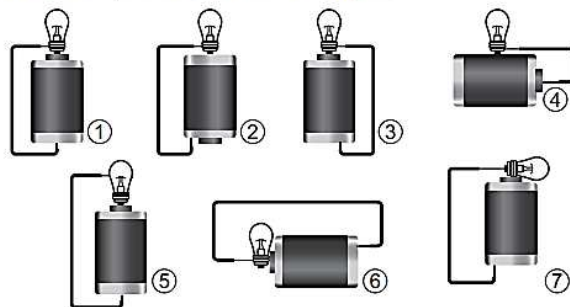
pilha e ao pino inferior da lâmpada. Após isto, cada um em seu ritmo, inverteram a polaridade na pilha e testaram o fio encostado em diferentes partes da lâmpada. Não encontrando a solução do problema em nenhuma dessas tentativas, os dois passaram a encostar o pino diretamente na pilha e numa ponta do fio, e ao mesmo tempo a outra ponta foi conectada ao polo oposto. Esta configuração submete a pilha a um curto-circuito, o que provoca nela um aquecimento sensível se mantida por um tempo.

A partir de desafios propostos pelo professor, os alunos obtêm uma solução para o problema, que denominaremos *solução ocasional*. Nela, os polos da pilha são conectados ao pino inferior da lâmpada e a uma das pontas do fio; ao mesmo tempo, a outra ponta é, ocasionalmente, conectada à carcaça metálica lateral da lâmpada. Contudo, neste estágio os alunos não foram capazes de indicar de forma assertiva em qual parte deveriam encostar esta ponta do fio.

Com o objetivo de aprofundar as observações dos alunos, foram apresentados a eles o texto-base e o comando da questão 70 da prova do Enem de 2011, como na Figura 4.1. Suas alternativas foram suprimidas para não direcionar os testes dos circuitos exibidos na questão.

QUESTÃO 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?

Figura 4.1. Questão 70, Enem 2011 (texto base e comando).

Dos circuitos representados na Figura 4.1, a lâmpada acende nos três primeiros e no último, e essas observações não geraram maiores discussões entre os dois alunos. No sexto circuito, a pilha é posta em curto; os alunos não conseguiram explicar porque

a lâmpada não funcionou, não sendo trivial a noção de um curto-circuito. O quinto circuito foi, sem dúvida, o que mais gerou debates e trocas entre eles. A aluna o testou diversas vezes enquanto o aluno afirmava que o vidro não era um condutor. Embora a turma da qual ambos faziam parte já tivesse estudado condutores e isolantes elétricos, esta informação não parecia relevante ao contexto para a aluna.

Ao término da atividade, o professor apresentou, como na Figura 4.2 (a), as alternativas da questão e solicitou que indicassem qual delas era a resposta mais adequada.

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

(a)

70	CONCLUINTE	PARTICIPANTES
A	24,90	24,18
B	6,48	6,68
C	27,67	26,63
D	34,15	35,64
E	6,33	6,39
Branco	0,28	0,29
Invalido	0,18	0,19

(b)

Fonte: Lopes, 2015

Figura 4.2: Questão 70 do Enem 2011, (a) alternativas da; (b) percentual de marcações por concluintes do gabarito e distratores

Com base nas observações realizadas ao longo da atividade, os alunos não tiveram dúvidas quanto a marcação do gabarito (alternativa D), apesar de não terem consolidado os conceitos necessários para descartar os distratores A e C.

A segunda etapa de aplicação piloto foi realizada com um aluno também da terceira série do ensino médio. Tinha por objetivo fornecer subsídios para a elaboração do tutorial da Atividade 3, na qual os alunos constroem e manipulam circuitos com chaves e díodos. Foram entregues a ele duas chaves gangorras, dois díodos retificadores 1N4004, uma bateria de 9 V, uma lâmpada incandescente de 12 V e 5 W com o respectivo soquete e alguns fios para conexões.

O aluno já conhecia alguns dos materiais, pois participava de atividades extracurriculares de robótica. Além disto, já estudara conceitos básicos de eletricidade e circuitos. Entretanto, a atividade pareceu-lhe desafiadora e instigante. O primeiro circuito solicitado deveria apresentar uma chave entre a lâmpada e cada polo da bateria. No segundo, as chaves deveriam ser substituídas pelos díodos.

A montagem, porém, revelou-se mais complexa do que esperado. O resultado pretendido só foi obtido com uma série de orientações do professor. Isto apontou para a

necessidade de se ter no tutorial uma ilustração esquemática do circuito desejado. Quanto à influência das chaves fechadas e/ou abertas, para ele foi simples tecer esta associação com o estado apresentado pela lâmpada em cada situação. A fim de ampliar a exploração das características dos materiais utilizados, o professor sugeriu fazer uma série de inversões na posição das chaves, as quais só foram compreendidas com o auxílio de gestos associados às trocas que deveriam ser feitas.

Após trocar as chaves de posição, e inverter o seu “sentido”, não se observou alteração no brilho da lâmpada. Esta análise inicial seria o ponto de partida para a investigação da função do diodo em um circuito. Antes de iniciar a substituição pelo novo material, o aluno verbalizou compreendê-lo em parte – *“O diodo só funciona numa direção”*. Contudo, ao montar o circuito, realizou diversas inversões no sentido dos diodos, até que conseguiu, de forma aleatória, o acendimento da lâmpada.

Ao ser interpelado sobre o sentido da corrente elétrica no circuito, e se o mesmo poderia ser evidenciado pelos diodos, o aluno não conseguiu articular uma resposta. Isso é uma evidência da não aplicação direta de conceitos estudados nas aulas da disciplina de Física em situações experimentais. Somente quando o professor questionou se os polos da bateria poderiam evidenciar este sentido, ele rapidamente o indicou, e em seguida o associou às marcas do diodo quando a lâmpada acendera. Sendo por fim questionado sobre o funcionamento do diodo, ele expandiu sua compreensão inicial – *“ele conduz corrente elétrica apenas no sentido da marca cinza”*.

4.2 Aplicação preliminar

Após a realização da aplicação piloto, conclui-se o desenvolvimento de uma versão inicial dos três primeiros tutoriais. Em caráter preliminar, estes foram aplicados a uma turma regular de 9º ano do EF com trinta e três alunos, no ano letivo de 2019. Os conceitos trabalhados nos tutoriais eram previstos pelo plano de curso dentro do período em que foram executados, com isso não havendo quebra na sequência de estudos da turma.

A carga horária semanal da disciplina de Física nesta turma era de três tempos com 45 minutos cada, distribuídos em dois tempos consecutivos nas segundas e um tempo isolado nas sextas-feiras. Na Tabela 4.1, apresentam-se as datas de aplicação de cada atividade.

Seg.	Atividade	Sex.	Atividade
		27/09/19	Ativ. 1 – Pilha, lâmpada e fio (Circuitos elétricos)
30/09	Ativ. 2 – Acende ou não acende (Condutores e isolantes)	04/10/19	Correção dos trabalhos de casa 1 e 2
07/10	Ativ. 3 – Fechado ou aberto (Corrente elétrica)	11/10/19	Correção do trabalho de casa 3

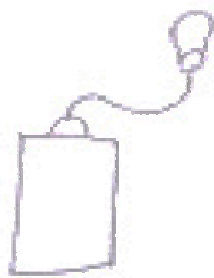
Tabela 4.1: Calendário de atividades na aplicação preliminar

Para realização da primeira atividade, os alunos se dispuseram em cinco bancadas formando grupos com aproximadamente seis deles. Para cada grupo foram entregues dois conjuntos de materiais (pilhas de 1,5 volts; lâmpadas de 12 V e 5 W; fios de cobre com as pontas desencapadas). Como a tensão nominal das lâmpadas era bem superior à da pilha, o brilho apresentado quando acesa era ínfimo. Apesar disso, os alunos conseguiram encontrar soluções para o desafio proposto e observar o acendimento da lâmpada.

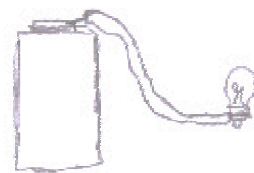
Como descrito por Duit & Rhoneck (1998), os alunos nesta etapa da educação formal geralmente apresentam a percepção de que existe uma relação causal entre a pilha e a lâmpada, ou seja, para eles existe um agente que se move de um para outro, chamado de eletricidade, energia ou corrente elétrica. Este “agente” é armazenado na pilha, conduzido pelos fios e consumido pela lâmpada. Isto foi evidenciado nas primeiras tentativas realizadas pela maioria dos grupos. Assim como na aplicação piloto, vários deles iniciaram pela conexão direta entre um dos polos da pilha e o pino inferior, ou a rosca da lâmpada. Portanto, inicialmente para eles, basta conectar linearmente os materiais; este raciocínio foi registrado em 70% dos relatos dos alunos participantes na forma de desenhos semelhantes aos da Figura 4.3 (b) e (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.3: Efeito linear causal entre lâmpadas e baterias - fotografia e representações pictóricas feitas pelos estudantes

Os alunos participantes desta aplicação também apresentaram a *solução ocasional*. Na Figura 4.4 um grupo provoca inicialmente um curto-circuito na pilha, e encosta a ponta inferior da lâmpada em um dos extremos desencapados do fio. Esta ação é registrada em 50% dos relatos. Com sucessivas pequenas variações nesta extremidade é observado o acendimento da lâmpada, o que é acompanhado por comemorações eufóricas.

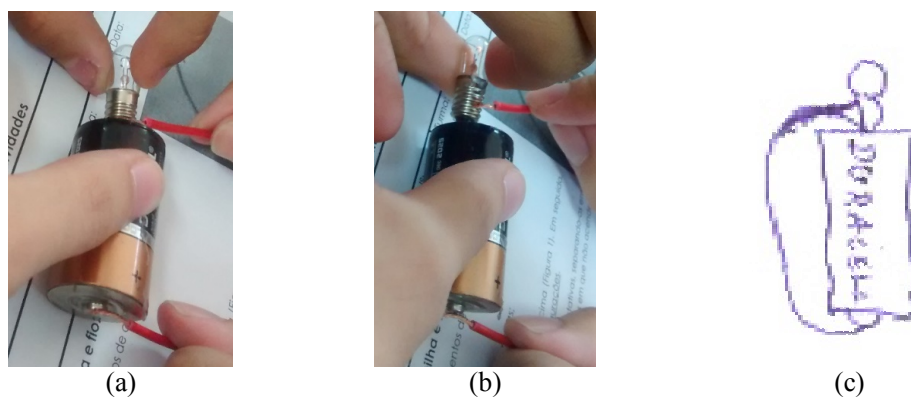


Figura 4.4: Solução ocasional do problema

Contudo, quando solicita-se a todos os grupos que repliquem o acendimento, nem todos o fazem prontamente. Nestes casos, o professor os questionou: “Em que parte da lâmpada foi conectada a ponta do fio?”. As respostas dadas são variadas: “no metal”; “na parte preta”; “no metal do lado”; etc.. E, a partir delas, são solicitados novos testes em cada uma das partes citadas. Este procedimento teve por objetivo consolidar a percepção de existência, também, de dois terminais na lâmpada: ponta inferior e rosca metálica.

Um ponto obscuro observado na conclusão desta atividade foi o baixo número de circuitos apontados em que a lâmpada acendeu. Apesar do aparente interesse e envolvimento com a experimentação e pela busca de soluções para problema, os alunos tomaram nota no máximo de duas possibilidades, com uma média de 1,2. Em nossa análise, isto foi gerado pela falta de prática em processos de investigação, principalmente quanto à coleta de um número apropriado de amostras, o que não foi devidamente orientado pelo enunciado do problema: “Com os materiais recebidos, tente acender a lâmpada em diferentes configurações. Desenhe no quadro abaixo **TODAS** as suas tentativas. Separando-as dois grupos: os que a lâmpada acendeu, e aquelas em que não acendeu.”

Respostas similares às mostradas na Figura 4.5 (a) são apresentadas por 84% dos alunos; destes, um quarto fez a conexão lâmpada/pilha pelo polo negativo e o restante pelo positivo. No mesmo sentido, 37% deles fizeram desenhos semelhantes à Figura 4.5 (b), dos quais 29% não distingue a polaridade da pilha e o restante utilizou o contato pelo polo positivo. Nenhum grupo fez referência a testes nos dois terminais da pilha. Assim, nenhum deles se aproximou do número desejado de respostas.

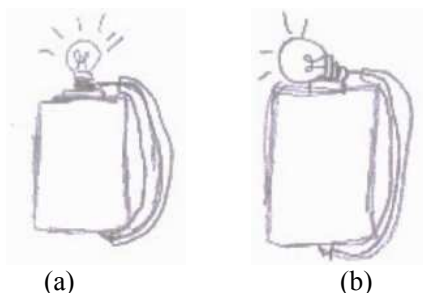


Figura 4.5: Exemplos dos tipos de respostas observados

Esta postura por parte dos alunos também foi percebida na questão que sucedeu os testes experimentais. Quando foi solicitado que diferenciassem por escrito os esquemas com lâmpada acesa e os que a mantém apagada, 40% deles não elaborou nenhuma resposta; todas as que foram apresentadas não citaram explicitamente os dois contatos metálicos da lâmpada nem mesmo a inversão de polaridade da pilha.

O trabalho de casa referente à primeira atividade solicitava que os alunos indicassem, dentre doze montagens, quais acenderiam. Este exercício visava retomar as observações experimentais realizadas em sala de aula. Os alunos tinham acesso às suas próprias anotações e esquemas já citados anteriormente. A frequência relativa de marcação para cada montagem é dada no Gráfico 4.1.

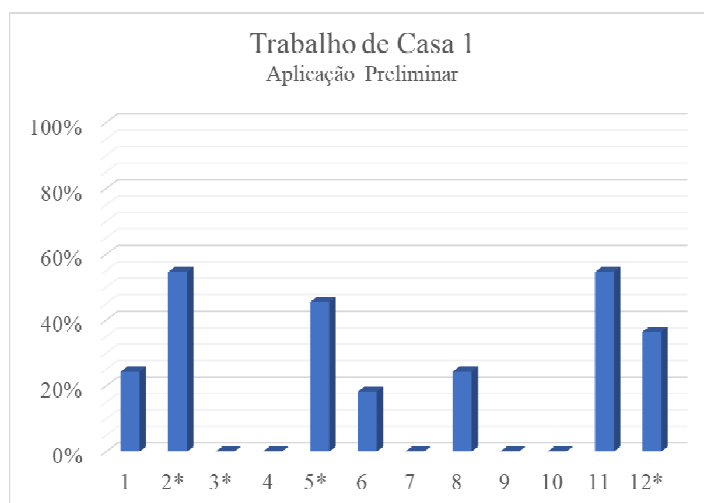


Gráfico 4.1: Frequência relativa de marcação das montagens do trabalho de casa 1.

Os itens (2), (3), (5) e (12) deveriam ser assinalados; neles o circuito é estabelecido através da conexão dos polos da pilha e os contatos metálicos da lâmpada. Com base nos resultados descritos anteriormente, não era esperada uma frequência relativa elevada para esses esquemas. Apesar disto, a ausência de escolha do esquema (3) acendeu um alerta, que provocou uma alteração na representação das montagens, a fim de facilitar a distinção entre os elementos fundamentais para análise. Essa mudança está apresentada na Figura 4.6.



Figura 4.6: Melhoria do layout dos circuitos do Trabalho de casa 1

Quanto à segunda atividade, os alunos foram dispostos de forma similar à primeira e receberam os *kits* contendo baterias de 9V, lâmpadas idênticas às já utilizadas com soquetes compatíveis, quatro fios com conectores jacarés e um conjunto de materiais para teste (arame, moedas, palito de madeira, grafite, isopor, plásticos, fio de cobre esmaltado com e sem as pontas raspadas, e outros).

Para um teste qualitativo da condutividade elétrica era esperada a construção de um circuito com os materiais fornecidos, um por um, em série com a lâmpada, e deveriam verificar o acendimento dessa. Os alunos foram orientados a manter a lâmpada acesa o mínimo de tempo possível para observação, evitando o esgotamento precoce da bateria. Assim, eles receberam instruções de desenroscar a lâmpada ao fim de um teste e enroscá-la para um novo.

Alguns grupos desenvolveram uma montagem alternativa em que o material testado era conectado em paralelo ao soquete, o que levou a observações opostas às desejadas. Foram orientados a corrigir os circuitos e retomaram as discussões propostas pelo tutorial. Este evento motivou o desenvolvimento de um exercício de representação simbólica do circuito, para que pudesse ser feita a verificação antes de sua construção física para a aplicação definitiva.

Em geral as respostas fornecidas foram similares às que são apresentadas nas Figuras 4.7, 4.8 e 4.9. Para denominar os materiais que não permitiam o acendimento da lâmpada, além do termo “*isolante*”, alguns alunos utilizaram “*acondutor*” ou “*não condutor*”. Essas respostas foram aceitas e evitou-se estabelecer uma única como correta ou mais adequada que as outras.

2) Qual o comportamento da lâmpada em cada grupo? Dependendo do material a lâmpada acende ou não

Figura 4.7: Resposta dada à Questão 2 da Atividade 2 (“Dependendo do material a lâmpada acende ou não”).

3) Defina, em equipe, uma nomenclatura para as classificações construídas. que acendem - condutores e que não acendem - acondutores

Figura 4.8: Resposta dada à Questão 3 da Atividade 2 (“que acendem – condutores; que não acendem – acondutores”).

Como uma extensão das classificações estabelecidas por cada grupo, indagou-se sobre a condutividade do ar. Em todos os questionários recolhidos o ar foi indicado como isolante, ou uma denominação equivalente.

4) Dentro das classificações desenvolvidas por sua equipe, identifique em qual delas se enquadra o ar? Isolante

Figura 4.9: Resposta dada à Questão 4 da Atividade 2 (“isolante”).

Na conclusão da atividade, quando questionados sobre uma possível influência da posição do material testado no circuito, foi praticamente unânime a resposta que não há interferência. Um exemplo está na Figura 4.10. Os poucos alunos que previam uma variação no brilho da lâmpada por conta dessa alteração eram incentivados pelos próprios colegas de grupo e pelo professor a confrontar sua hipótese com novos testes, e assim, convergiam ao resultado obtido pelos outros.

O fato do item de teste estar mais próximo do "pino + ou -" da bateria interfere nos resultados obtidos? Discuta esta questão com sua equipe e teste novamente. Não, ele acende dos dois lados "+ e -"

Figura 4.10: Resposta à Questão 5 da Atividade 2 (“não, ele acende dos dois lados ‘+ e -’”).

Embora tenha sido aplicado e corrigido positivamente em sala de aula, o Trabalho de Casa 2 não pôde ser recolhido para tomada de dados. No material utilizado nesta aplicação, os elementos da lâmpada e do soquete não foram indicados, como ocorre na versão final do tutorial presente no Apêndice. Cada aluno utilizou estratégias próprias na identificação do componente, seja nominalmente ou apontando por setas o que os levou a análises superficiais.

Foi observada certa facilidade na classificação dos componentes externos da lâmpada como condutores ou isolantes: rosca metálica, ponta metálica inferior e vidro.

Por outro lado, o material isolante entre os dois contatos da lâmpada não foi analisado por um número significativo de alunos e até mesmo alguns que o perceberam não foram assertivos quanto seu papel na separação entre os terminais. Na observação dos componentes do soquete eles identificaram o material existente entre as “*asas*” (nome dada por diversos deles) como couro ou borracha, classificando-o adequadamente como isolante.

A Atividade 3 foi iniciada com a exposição do circuito a ser construído no quadro branco, na qual o professor explicou o que simbolizavam as Caixas A e B e, com gestos, indicou como os materiais disponíveis deveriam ser alternados entre as duas posições e invertidos em uma mesma caixa. O texto aplicado solicitava que o primeiro circuito deveria conter uma chave e um fio de cobre, mas os alunos escolheram livremente outros objetos condutores, o que motivou a retirada da indicação do fio para as próximas aplicações.

Percebeu-se que a associação dos termos “*acesa*” ou “*apagada*” como evidência do estado do circuito como “*fechado*” ou “*aberto*”, respectivamente, não é feita de maneira direta, sendo necessário um processo de atribuição de significado para esses termos. As correlações estabelecidas variam entre incorretas (Figura 4.11.a), corretas (Figura 4.11.b) e inconclusivas (Figura 4.11.c).

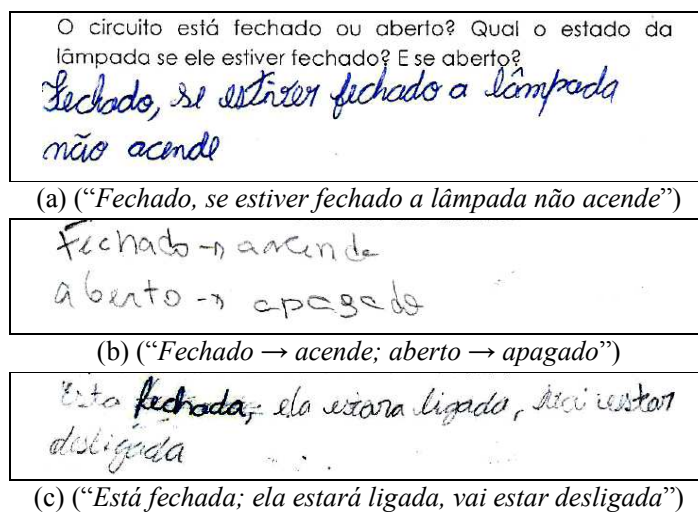


Figura 4.11: Respostas à Questão 5 item A da Atividade 3.

As divergências quanto à utilização dos termos em alguns grupos os levou a analisar e discutir essas duas condições e suas correlações. Um argumento apresentado por um aluno mostrou-se extremamente convincente para seus pares. Com o circuito montado e a lâmpada acesa, ele simplesmente soltou um jacaré e o afastou do material a

qual se conectava, desligando a lâmpada, e indicou verbalmente “*circuito aberto*” e em seguida, o encostou novamente acendendo a lâmpada e expressou “*fechado*”. Repetindo o movimento de afastar e encostar o jacaré, acompanhado pela verbalização “*circuito aberto, circuito fechado*” fez que seus companheiros compreendessem adequadamente esses termos. Tal procedimento foi repetido pelo professor em outros grupos que solicitaram ajuda, ou que não demonstraram compreensão do problema. Mas nesses casos o movimento não foi acompanhado da verbalização, e sim sucedido por questionamentos sobre a relação entre os termos citados, o que os levou a respostas adequadas.

A etapa posterior desta atividade requeria a construção e registro por meio de desenhos de circuitos similares aos anteriores, porém com um diodo retificador tipo 1N4004 e um condutor genérico nas Caixas A e B. Diferentemente da Atividade 1, nesta os alunos foram cuidadosos em seus registros: 80% deles desenharam as quatro montagens possíveis, como exemplificado na Figura 4.12.

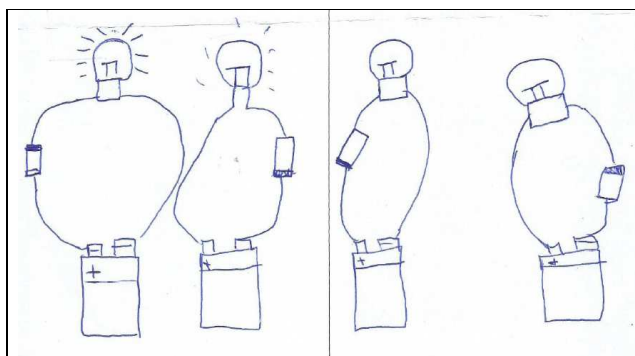


Figura 4.12: Resposta dada à Questão 7 item A da Atividade 3.

Os argumentos dados para justificar o acendimento da lâmpada com a presença do diodo são em um primeiro momento orientados pela posição dele no circuito e pela indicação de sua marca para a bateria ou para a lâmpada – “*desse lado só funciona com a marquinha apontando para a lâmpada, se trocar de posição a marquinha tem que apontar para a bateria*”. Essa discussão é em alguns grupos estendida à uma ideia de um fluxo da bateria para a lâmpada, que é denominado como energia, eletricidade ou até mesmo corrente com duas possíveis polaridades e que podem ou não ser conduzidas pelo diodo.

Foi observado que os termos “*corrente*”, “*energia*”, “*eletricidade*” ou “*cargas*” são utilizados sem distinção aparente de seus significados, como descreveram Pacca e colaboradores (2003). E mesmo que sejam associados a “*sentido*” ou

“*direção*”, essas argumentações divergem substancialmente do conceito físico de corrente elétrica convencional. Essas evidências são também observadas na resolução da Questão 1 do Trabalho de casa 3, na qual é solicitada a avaliação da discussão entre três estudantes sobre o funcionamento de um circuito elétrico simples. A permanência da ideia de relação causal entre baterias e lâmpadas (Estudante 1) não foi completamente descartada e foi reforçada por uma versão em que dois fluxos, um positivo e outro negativo, são lançados pela bateria e consumidos na lâmpada (Estudante 3). O argumento de um fluxo contínuo através da bateria e da lâmpada (Estudante 2) tem baixa aderência, mesmo que o esquema que o acompanha possa ser associado ao circuito com dois diodos amplamente escolhido no Exercício 2 imediatamente anterior.

4.3 Aplicação definitiva

O ano escolar de 2020 marcou a implementação de um novo currículo para o Ensino Fundamental II, orientado pela BNCC-EF, na unidade escolar em que se aplicou o material proposto. O planejamento anual da disciplina de Ciências no 8º ano foi estruturado para que no primeiro trimestre fossem trabalhados os objetos de conhecimento e habilidades da unidade temática Matéria e Energia concomitantemente aos da unidade Vida e Evolução. A carga horária semanal prevista para aplicação do material foi de uma aula semanal de 45 minutos, e a turma era composta por 42 alunos. O mesmo material também foi utilizado na disciplina de Física do 9º ano com disponibilidade de dois tempos semanais de 45 minutos não sequenciais, tendo esta turma o número de 41 alunos.

A primeira atividade foi aplicada nas duas turmas na primeira semana letiva, com os mesmos procedimentos descritos para aplicação preliminar na seção anterior. Foram utilizadas lâmpadas incandescentes com indicações nominais de 2,5 V e 0,3 A, o que gerou uma mudança significativa no brilho observável se comparado aos materiais da aplicação anterior. Outra mudança realizada foi a recomendação explícita no material impresso de quantos registros de acendimento da lâmpada eram esperados para se avançar na atividade. Todas as etapas experimentais desenvolvidas pelos alunos e descritas na aplicação piloto e preliminar também foram identificadas na aplicação definitiva nas turmas; além disso, não foram observadas diferenças significativas quanto ao envolvimento e participação dos alunos em solucionar o problema proposto.

O número de registro das montagens desenvolvidas com ou sem a lâmpada acesa aumentou significativamente. Dos 83 alunos participantes, foram coletadas as respostas de 67, e nessas se obteve uma média de 3,7 esquemas com a lâmpada acesa e 3,4 com a lâmpada apagada. Do total de materiais coletados, 85% apresentou alguma representação de uma tentativa baseada numa percepção do efeito linear e causal entre baterias e lâmpadas, e 71% deles têm esquemas com a pilha em curto-circuito. Na Figura 4.13, algumas das representações feitas pelos estudantes são apresentadas.

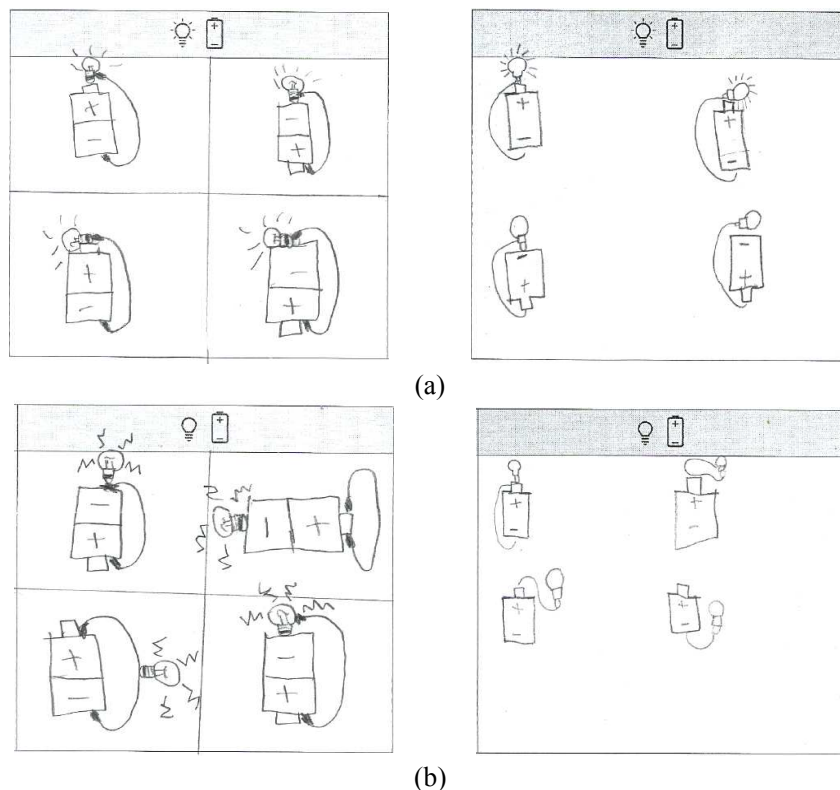


Figura 4.13: Representação das montagens desenvolvidas na Atividade 1 (Aplicação definitiva)

Da mesma forma, o número de alunos que apresentaram explicações por escrito para o acendimento da lâmpada aumentou de 60% na aplicação preliminar para 90%, e diversas dessas respostas faziam menção a ambos os polos da pilha e aos dois terminais da lâmpada. Não temos elementos que sustentem que estas variações estão associadas a um melhor aprendizado de um grupo do que do outro, ou que estejam relacionadas à participação dos alunos; destacamos apenas que a indicação explícita da quantidade desejada de respostas os levou a desenvolver uma tomada de dados e respostas mais completas. Na Figura 4.14, são apresentados exemplos das respostas dos alunos.

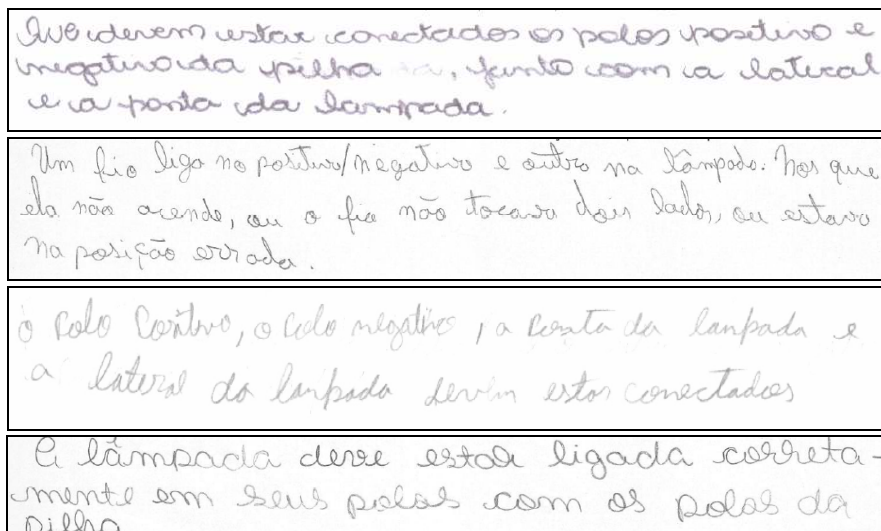


Figura 4.14: Exemplos de respostas escritas na Atividade 1 (Aplicação Definitiva) (“Que devem estar conectados os polos positivo e negativo da pilha, junto com a lateral e a ponta da lâmpada”; “Um fio liga no positivo / negativo e outro na lâmpada. Nos que ela não acende, ou o fio não toca os dois lados ou estava na posição errada.”; “O polo positivo, o polo negativo, a ponta da lâmpada e a lateral da lâmpada devem estar conectados”; “A lâmpada deve estar ligada corretamente em seus polos com os polos da pilha.”)

Com acesso a suas próprias anotações da Atividade 1, os alunos deveriam responder ao Trabalho de casa 1. O Gráfico 4.2 apresenta as frequências relativas de marcação dos 12 esquemas de montagens com uma pilha, um fio e uma lâmpada incandescente apresentados na tarefa. Esses dados foram obtidos a partir da devolução de 66 alunos das duas turmas. As alternativas que compunham o gabarito, (2), (3), (5) e (12), obtiveram frequências superiores a 80%. Aqueles que representavam uma situação em que a pilha é posta em curto-circuito, (1), (7), (8) e (11), formam o segundo grupo com maior número de resposta, porém com percentuais inferiores ao gabarito. Quanto aos circuitos abertos, (4), (6), (9) e (10), tiveram índices inferiores a 10%.

No Gráfico 4.3 esses dados são separados pelo sexo dos respondentes, não sendo evidenciadas grandes diferenças quanto ao gabarito. Os circuitos em curto tem frequência entre os alunos do sexo masculino de 13% a 18% acima das alunas; como o número de respostas obtidas (38 alunas e 28 alunos) é pequena, este resultado não é conclusivo.

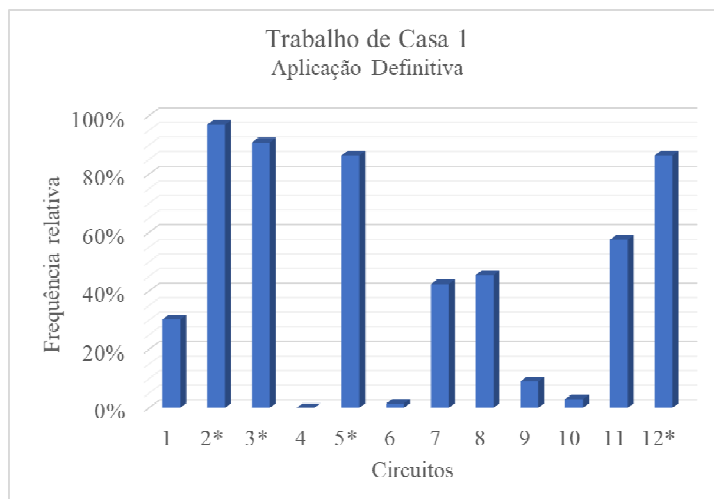


Gráfico 4.2: Frequências relativas de marcação dos circuitos do Trabalho de Casa 1 (Aplicação definitiva)

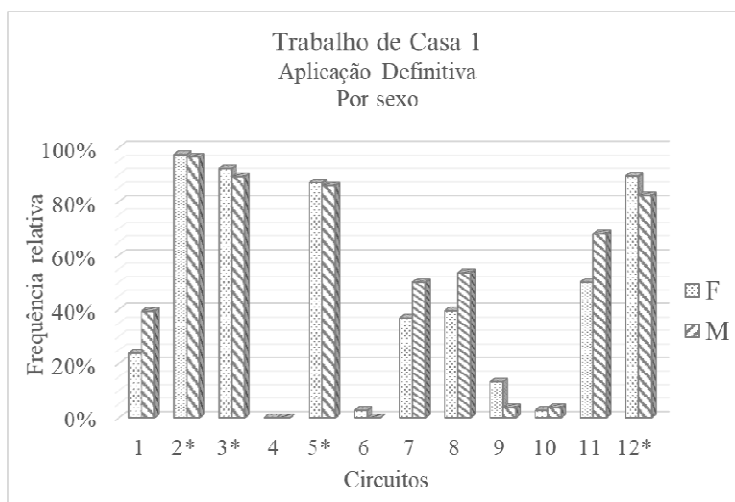


Gráfico 4.3: Frequências relativas de marcação dos circuitos do Trabalho de Casa 1 (Aplicação definitiva) separada por sexo

Para aplicação da Atividade 2, os alunos foram dispostos em grupos e para cada um destes foi entregue uma pilha, uma lâmpada de 2,5 V e 0,3 A com o respectivo soquete e dois fios. Mas, diferentemente da aplicação preliminar, os materiais de teste foram apresentados pelo professor e depois disponibilizados em uma caixa organizadora no centro da sala, onde cada grupo deveria selecioná-los e devolvê-los após a utilização. No início da atividade os alunos deveriam desenhar uma proposta de circuito para testar os materiais, e vários deles fizeram mais de um desenho, representando o teste de cada material como o exemplo da Figura 4.15.

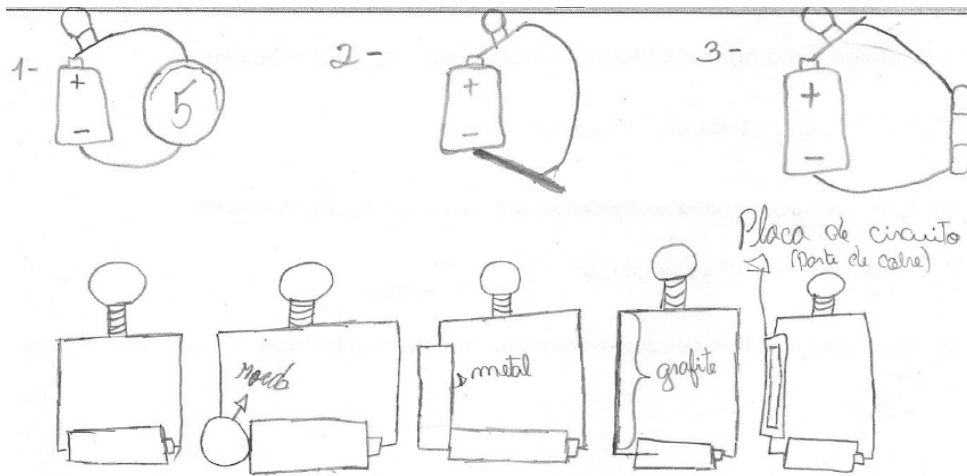


Figura 4.15: Exemplo de propostas de circuitos para a Atividade 2.

Os desenhos apresentados serviram como um instrumento de verificação prévia dos circuitos que seriam desenvolvidos com o objetivo de evitar construções equivocadas. Após os testes, os alunos classificaram os materiais conforme os efeitos observados e a forma de apresentação dos dados foi escolhida livremente por eles, em equipes, sem a interferência do professor. As formas de apresentação dos dados podem ser classificadas em quatro tipos: quadro com duas colunas (Figura 4.16-a), listas (Figura 4.16-b), correlação de colunas (Figura 4.16-c) e quadros com detalhes da instalação (Figura 4.16-d). As duas primeiras formas de apresentação dos dados correspondem respectivamente a 75% e 11% do total das respostas.

materiais (acende)	materiais (não acende)
anel de metal	esponja
cinto (parte de metal)	madeira
tesoura (parte de metal)	caneta
ferro do óculos	isopor
moeda	óculos plástico
"fio de metal" flexível	cola quente

(a)

- 1º-ferro da tesoura (acende)
- 2º- Cabo da tesoura (ñ acende)
- 3º- Cinto (acende)
- 4- Anel (acende)
- 5- pilha (acende)
- 6- COMPASSO (acende)
- 7- borracha (ñ acende)

(b)

Item	Não funciona	Funciona
pilha	X	
moeda		X
cola quente	X	
fio		X
grafite		X
tesoura	X	
placa de circuito plástico	X	X
ped. cobre/cabo		X
caneta		X
borracha		X

(c)

<p>Funciona</p> <p>acima: plaquinha para funcionar (sem que ligar o fio na parte de metal)</p> <p>fio de cobre (mas encapado)</p> <p>flexível (sem que conectar na parte de metal)</p> <p>fio de cobre com capa (sem que ligar o fio na parte do fio sobrando nos lados)</p> <p>moeda</p> <p>grafite</p>	<p>Não funciona</p> <p>palitinho</p> <p>cola quente</p> <p>isopor</p> <p>papelão</p> <p>plástico</p>
--	--

(d)

Figura 4.16: Exemplos de quadros elaborados na Atividade 2.

A partir dos dados coletados e de suas experiências pessoais os alunos definiram uma nomenclatura para a classificação dos materiais. Sem que fossem conduzidos aos termos cientificamente aceitos, dois terços das respostas coletadas utilizaram os termos “condutores” e “isolantes/não condutores/acondutores”, e uma pequena parcela desses fizeram menção aos termos “energia” e “eletricidade”. Apesar de não utilizarem tais nomenclaturas, o restante das respostas coletadas apresentou uma relação de oposição para os efeitos observados, e utilizaram definições conforme seu próprio vocabulário: *luz/apagou*, *transmissores/não transmissores*, *brilha/não brilha*, *ativadores/não ativadores* e etc.. Isso indica uma aparente compreensão da relação entre o material e o funcionamento do circuito.

No trabalho de casa associado à atividade de condutores e isolantes, os alunos classificaram os materiais que compõem a lâmpada e o soquete. Alguns exemplos são apresentados na Figura 4.17. Foi observado que os componentes do soquete e os elementos externos da lâmpada foram identificados adequadamente por grande parte deles, porém somente alguns se lançaram a analisar os elementos internos da lâmpada, e quando o fizeram não tiveram tanto êxito.

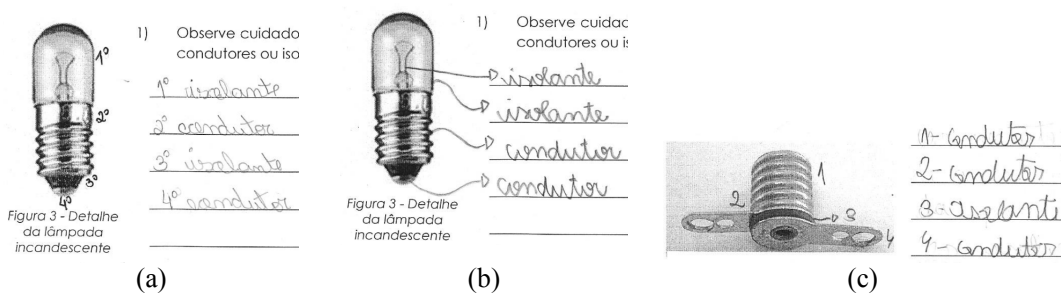


Figura 4.17: Exemplo de respostas do Trabalho de casa 2.

Devido à interrupção das aulas presenciais, ocasionada pelas medidas de isolamento social durante a pandemia de Covid-19, a aplicação da terceira atividade foi realizada apenas na turma de nono ano, que possuía o dobro de aulas semanais. Para a outra turma a atividade foi adaptada improvisadamente para aplicação remota, através da plataforma *Google Forms*, e não serão considerados no presente trabalho os resultados obtidos desta forma.

Com a obtenção das lâmpadas de 2,5 V e 0,3 A, a bateria de 9 V utilizada na para a Atividade 3 na aplicação piloto foi substituída por um par de pilhas AA de 1,5 V instaladas através de um suporte. Por conta desta alteração, a atividade foi iniciada na aplicação definitiva por uma análise do suporte de pilhas. Além das lâmpadas, foi obtida

uma chave tipo faca, apresentada isoladamente pelo professor à turma, antes da execução do *trailer* do filme “*Victor Frankenstein*”. A partir da observação de chaves do tipo faca, nas posições aberta e fechada, tanto na demonstração realizada em sala, quanto nas cenas presentes no *trailer*, os alunos construíram um circuito com uma chave tipo gangorra, duas pilhas conectadas ao suporte, uma lâmpada enroscada no soquete e um elemento condutor da Atividade 2.

Diferentemente da aplicação preliminar, na qual os alunos tiveram dificuldade de relacionar os termos *aberto* e *fechado* às posições da chave gangorra, nesta aplicação pareceu-nos que a inclusão das discussões preliminares facilitou a correlação entre essas condições e o brilho da lâmpada, já que 82% dos materiais coletados relacionam a lâmpada como acesa ao fato da chave estar fechada, sem receber orientações adicionais do professor. Em outra tarefa, ao descrever a função deste componente, 36% dos respondentes citaram expressamente o ato de fechar e abrir o “circuito”, e as palavras “energia”, “corrente elétrica” e “curto” são utilizadas indistintamente em outros 36% das respostas.

Na experiência seguinte, os alunos deveriam substituir a chave por um diodo retificador 1N4004, verificar sua influência no circuito em diferentes posições e sentidos e registrá-las na forma de desenhos, e posteriormente inferir quais são as características de funcionamento deste componente eletrônico. A Figura 4.18 apresenta um dos desenhos desenvolvidos e a Figura 4.19 algumas das respostas escritas, onde se verifica que conceitos abordados nas atividades anteriores são aplicados.

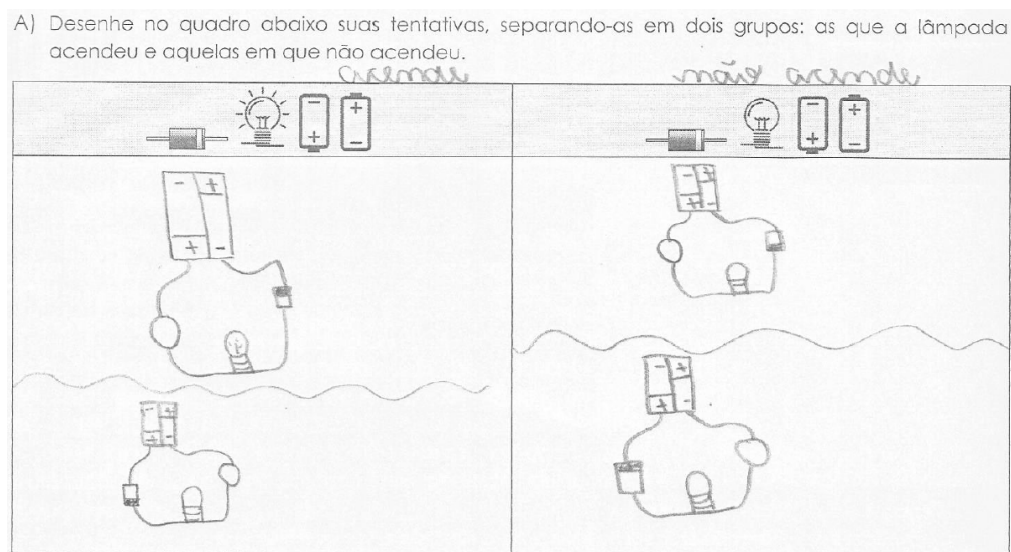


Figura 4.18: Exemplo de desenhos dos circuitos com diodo retificador

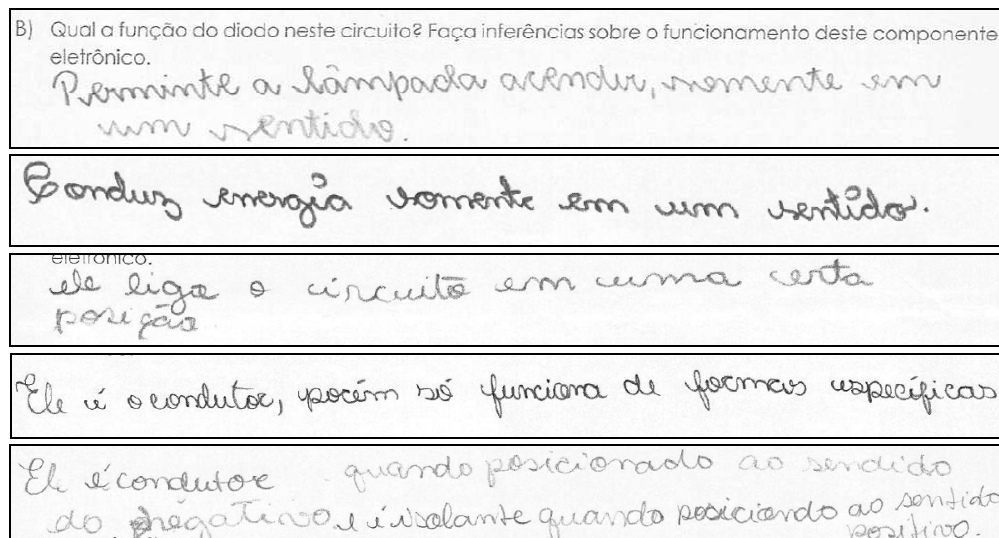


Figura 4.19: Exemplos das respostas sobre o funcionamento do diodo.

Nas tarefas do Trabalho de casa 3, o percentual de alunos que identificou corretamente os circuitos com duas chaves e dois diodos em que a lâmpada acenderia, foi de 79% e 86%, respectivamente. Quanto à representação da corrente elétrica através do circuito e da lâmpada, os alunos apresentaram, majoritariamente, idéias conflitantes, embora a maioria tenha optado pelo gabarito da Questão 2, que indica o sentido convencional da corrente. A opção de que existem duas correntes de polaridades opostas emitidas pelas pilhas e convergentes na lâmpada, como relatado na literatura, é ainda atrativa nesta etapa de instrução, a despeito das construções conceituais desenvolvidas e observações de sentidos nos circuitos com diodos.

As atividades subsequentes não foram aplicadas presencialmente às duas turmas, devido à pandemia de Covid-19. Ainda numa tentativa de adaptação da sequência didática proposta, a Atividade 4 foi aplicada por meio da plataforma *Google Forms*, e foram indicados dois simuladores, para construção e observação de circuitos com lâmpadas em série e em paralelo. Contudo, não há evidências que os alunos tenham desenvolvido as observações com a devida atenção sem o acompanhamento do professor, ou até mesmo que tenham utilizados os simuladores para responder aos questionários. Compreende-se que o uso desses aplicativos em substituição do circuito físico pode ser de grande valia para a atividade, desde que a figura do professor como um orientador seja preservado.

4.4 Discussão da aplicação

As etapas de aplicação descritas nas seções anteriores de parte da sequência didática proposta fornecem algumas evidências sobre a aplicabilidade do material ao ano escolar recomendado pela BNCC. A construção e observação de circuitos elétricos com os materiais fornecidos pelo *kit* experimental são aparentemente atividades atrativas para alunos desta faixa etária e de ambos os sexos. O envolvimento proporcionado pelo desafio de realizar atividades com materiais novos em roteiros não tão rigidamente guiados pode ser a base para uma construção conceitual consistente em eletricidade, baseada em um processo de comunicação e não de redescoberta.

Ao longo das atividades foram identificadas algumas concepções alternativas descritas na literatura, como também alguns comportamentos dos alunos em atividades sobre circuitos elétricos. Ter conhecimento de tais informações auxilia o planejamento da sequência didática, e evidencia o papel do professor na organização e condução implícita das atividades; o ponto que a autonomia que pode ser exigida dos alunos nas tarefas é variável, dependendo da complexidade das testagens, coletas e representação dos dados e desenvolvimento conceitual. O número de alunos por turma, a quantidade de materiais e a carga horária disponíveis são fatores de grande importância para tal planejamento.

Embora não se tenha aplicado o material em sua íntegra, o trabalho desenvolvido permite supor que as atividades propostas podem auxiliar na construção progressiva e gradual de conceitos em eletricidade básica e de circuitos elétricos de corrente contínua. Essas atividades também proporcionam uma experiência em atividades práticas para alunos do Ensino Fundamental que os aproxima da natureza do conhecimento científico, e possivelmente podem torná-los mais letrados cientificamente.

Capítulo 5

Considerações finais

A Base Nacional Comum Curricular trouxe novos desafios à Educação Básica brasileira. Este importante documento normativo traça os direitos de aprendizagens de todos os estudantes do país ao longo dos anos escolares, e os conteúdos e práticas por ela sugeridos caracterizam mudanças sensíveis com relação as anteriormente usuais. O ensino de Física no nível fundamental foi alterado pela BNCC e foram introduzidos temas desta área das ciências, como de Química, que antes não eram comuns nos diversos anos do ensino fundamental.

Este cenário desafiador é aprofundado se for considerado que as avaliações educacionais revelam que os alunos saem do ensino fundamental aos 15 anos com dificuldade na compreensão de diversos temas fundamentais para a convivência em sociedade, com um letramento científico considerado inadequado. Quanto ao tema da eletricidade, verificam-se, também pelas avaliações de larga escala, grandes dificuldades entre os estudantes ao final do Ensino Médio. Foram detectadas, a partir do estudo do desempenho dos estudantes em algumas das questões do ENEM, evidências de que há níveis insatisfatórios de compreensão de atividades práticas em circuitos elétricos, cálculos com grandezas elétricas e modelos conceituais. Entretanto, a pesquisa em ensino de física indica que alguns aspectos do ensino de eletricidade e o uso de atividades práticas possuem caminhos adequados para elaboração dos projetos de ensino para esta fase com a possível melhoria no processo de aprendizagem.

Com base nos objetos de conhecimento e habilidades indicados pela unidade temática Matéria e Energia no 8º ano do EF, têm-se diretrizes claras ao estudo de tópicos de eletrodinâmica. Esta proposição aponta para um ensino de caráter prático e à utilização cotidiana dos conceitos físicos abordados. Portanto, em função da prática docente em turmas de EF, resolveu-se abordar os temas de circuito elétricos e conceitos básicos em eletricidade presentes na BNCC. Para isto, foi realizado um breve levantamento do que a pesquisa em ensino revelava sobre este tópico específico e apresentada uma sequência didática baseada em atividades experimentais com algumas características de tutorial; são abordados na sequência conceitos de circuitos elétricos simples, condutores isolantes, corrente elétrica, d.d.p. e potência. A elaboração dessa

sequência foi descrita no Capítulo 3 e sua aplicação em sala de aula foi descrita no Capítulo 4.

A aplicação revelou que os resultados da pesquisa surgem naturalmente, e a dinâmica de testagens, observações, formação de conceitos, entre outros, em cada etapa de experimentação é similar às previstas na literatura. Os modelos conceituais apresentados pelos alunos no início das atividades indicam que há presente a ideia de que existe uma relação causal entre baterias e lâmpadas, estão presentes modelos de consumo de corrente elétrica e de correntes opostas, entre outros mencionados nos capítulos. Estas pré-concepções provocam obstáculos no desenvolvimento de uma compreensão mais prática de corrente elétrica, cientificamente adequada, em oposição à noção de carga em movimento, comumente estabelecida nos níveis fundamental e médio.

Como consequência da abordagem experimental utilizada nas atividades, foi observado um desenvolvimento da familiaridade dos alunos com componentes de circuito e práticas de investigação. A manipulação dos objetos, inseridos gradativamente, torna-se mais fluida ao longo das atividades, o que permite mais tempo para observações, análises, discussões e etc.. Um importante ponto de atenção para efetividade das atividades são os vários graus de autonomia planejados em cada uma delas. É possível observar situações em que os alunos demandam de maior rigidez na condução das montagens, da tomada de dados ou das análises; como também outras nas quais com mais autonomia eles são capazes de chegar a conclusões cientificamente adequadas, estabelecendo conexões entre seus conhecimentos prévios, a ação e reflexão sobre o experimento. Estas características reforçam a importância da figura do professor no planejamento e na condução de um processo de comunicação já estabelecido, e não de redescoberta individual e autônoma.

Referências bibliográficas

- [Andrade *et al.* 2018] F.A.L. Andrade, *et al.* *Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples*. Revista Brasileira de Ensino de Física, [s.l.], v. 40, n. 3, p. 1-12, 23 abr. 2018.
- [Arons 1997] A.B. Arons, *Teaching Introductory Physics*. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [Assis 2018] A.K.T. Assis, *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*, 2018
- [Barros 2002] S.S. Barros, *Um olhar reflexivo sobre a Pesquisa em ensino de Física nos últimos 30 anos*. 2002. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/viii/trabalhos/CA.html>. Acesso em maio 2020.
- [Barroso 2018] M.F. Barroso, *Contribuições para um diagnóstico do Ensino médio no país*. In: (Foguel & Scheuenstuhl), *Desafios da Educação Técnico-Científica no Ensino Médio*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2018. p. 44-65.
- [Borges 2002] A.T. Borges, *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. 3, p. 291-313, dez. 2002.
- [Brasil 1988] Brasil. *Constituição Federal de 1988*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em junho de 2020.
- [Brasil 1996] Brasil. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, LDB. 9394/1996*. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm>. Acesso em junho de 2020.
- [Brasil 1997] Brasil. *Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais / Secretaria de Educação Fundamental*. – Brasília: MEC/SEF, 1997.
- [Brasil 1998] Brasil. *Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais / Secretaria de Educação Fundamental*. – Brasília: MEC/SEF, 1998.
- [Brasil 2017] Brasil. *Base Nacional Comum Curricular – EI e EF, 2017*. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf>. Acesso em junho de 2020.

- [Chabay & Sherwood 2015] R. W. Chabay e B. A. Sherwood, *Matter and interactions: electric and magnetic interactions*. 4th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015.
- [Chalmers 1993] A.F. Chalmers, *O que é Ciência afinal?* Editora Brasiliense, 1993.
- [Chassot 2004] A. Chassot, *Ensino de ciências no começo da segunda metade do século da tecnologia*. In: A. C. Lopes; E. Macedo. *Currículos de ciências em debates*. Campinas: Papyrus, 2004. Cap. 1. p. 16-56.
- [Duit & Rhöneck 1998] R. Duit e C. von Rhöneck, *Learning and Understanding Key Concepts of Electricity*. In: A. Tiberghien, E. L. Jossem, J. Barojas. *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, 1998. Cap. 2.
- [Fonseca 2020] A.J. da Fonseca, *A eletrostática oculta na eletrodinâmica dos circuitos de corrente constante* – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2020.
- [Gaspar 2014] A. Gaspar, *Atividades experimentais no ensino de física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski* – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014
- [Gonçalves Jr 2012] W.P. Gonçalves Junior. *Avaliação de Larga Escala e o Professor de Física* – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2012.
- [Gonçalves Jr & Barroso 2014] W.P. Gonçalves Junior e M.F. Barroso, *As questões de física e o desempenho dos estudantes no ENEM*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1402, 2014.
- [Jardim & Guerra 2018] W.T. Jardim e A. Guerra, *Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, nº 3, e3603, 2018.
- [Lopes 2015] J.C. Lopes, *As questões de Física do ENEM 2011* – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2015.
- [McDermott et al. 1996] L.C. McDermott et al. *Physics by Inquiry, Vol. II*. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [McDermott et al. 1998] L.C. McDermott et al. *Tutorials in Introductory Physics* – New Jersey: Preliminary Edition, Prentice-Hall, Inc. 1998.

- [McDermott *et al.* 2002] L.C. McDermott *et al.* *Tutorials in Introductory Physics – Homework*. – New Jersey: 1 ed. Prentice-Hall, inc. 2002.
- [Millar 2004] R. Millar, *The role of practical work in the teaching and learning of Science. Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, National Academy of Sciences*. Washington, 2004.
- [Moreira 2003] M.A. Moreira, *Pesquisa Básica em Educação em Ciências: uma visão pessoal*, 2003. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/Pesquisa.pdf>. Acesso em maio de 2020.
- [Pacca *et al.* 2003] L.A.J. Pacca, *et al.* *Corrente elétrica e circuito elétrico: algumas concepções do senso comum*. Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.2: p.151-167, ago.2003.
- [Rinaldi 2017] B.B. Rinaldi, *Estudo das questões de Física do ENEM 2013* – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2017.
- [Rubini 2019] G.M. Rubini, *O que o Enem revela sobre a Aprendizagem em Física na Educação Básica* – Rio de Janeiro, 2019.
- [SBF 2015] SBF, *Considerações sobre a Base Nacional Comum Curricular e a Física na BNCC (Ensino Médio e Fundamental)*, 2015. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/noticias/dezembro2015/Documento_GT-BNCC_06dez2015.pdf>. Acesso em maio de 2020.
- [Vieira 2013] L.P. Vieira, *Experimentos de Física com Tablets e Smartphones* – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2013

Apêndice A

Questões de fenômenos elétricos nas provas do Enem entre 2009 e 2017

ID	Hab.	Gab.	TRI - 3 parâmetros			Acertos (%)			dif. fem – mas
			Discrimi- nação. ("a")	dificul- dade ("b")	pseudo- chance ("c")	geral	fem	mas	
2009_14	5	E	0,77	-0,81	0,02	64,3%	62,5%	67,3%	-4,8%
2009_18	6	E	0,86	2,74	0,31	38,7%	37,7%	40,2%	-2,5%
2009_19	6	D	2,02	1,1	0,16	33,1%	29,3%	39,1%	-9,8%
2009_45	5	B	2,4	2,25	0,14	17,1%	16,5%	18,0%	-1,5%
2010_48	5	C	1,4	2,41	0,17	22,6%	19,9%	26,8%	-6,9%
2010_68	6	E	1,81	2,28	0,12	16,7%	15,2%	19,0%	-3,9%
2010_70	5	A	-0,85	-4,38	0,09	12,4%	12,4%	12,4%	0,0%
2010_78	22	B	0,55	0,87	0,01	39,5%	37,8%	42,1%	-4,3%
2011_60	6	A	3,17	1,97	0,13	16,5%	15,9%	17,4%	-1,5%
2011_70	5	D	0,41	2,00	0,05	34,7%	29,6%	42,4%	-12,8%
2012_61	23	C	1,47	1,6	0,14	26,5%	22,1%	32,9%	-10,8%
2012_73	5	E	2,14	2,79	0,16	17,2%	15,8%	19,3%	-3,5%
2013_46	20	B	-1,63	-2,96	0,12	14,5%	14,2%	15,0%	-0,8%
2013_72	5	E	4,34	2,62	0,13	13,4%	13,0%	13,9%	-0,8%
2013_75	5	E	3,95	2,53	0,07	7,5%	7,3%	7,7%	-0,4%
2013_79	3	D	0,08	28,24	0,12	19,4%	19,0%	20,0%	-1,0%
2013_83	5	D	-1,14	-4,52	0,11	12,2%	12,6%	11,7%	0,9%
2014_57	5	C	1,7	2,32	0,22	26,0%	23,1%	30,0%	-6,9%
2015_68	5	E	1,29	0,79	0,16	42,7%	34,4%	54,3%	-19,8%
2016_59	5	B	1,83	2,89	0,24	25,7%	24,9%	26,8%	-1,9%
2016_64	19	B	2,82	2,25	0,23	24,9%	24,6%	25,4%	-0,8%
2016_74	5	A	1,8	1,73	0,18	26,5%	24,8%	28,8%	-4,0%
2017_93	17	E	1,81	2,46	0,27	30,5%	30,5%	30,4%	0,2%
2017_110	5	D	-0,14	-1,62	0,02	45,5%	45,3%	45,7%	-0,4%
2017_129	5	C	3,05	2,21	0,08	10,6%	9,6%	12,0%	-2,4%

Quadro B.1: Questões do objeto de conhecimento fenômenos elétricos nas provas do ENEM de 2009 a 2017.

Apêndice B

Material didático instrucional

Esta seção tem por objetivo apresentar o material didático instrucional elaborado, disposto de forma destacável para facilitar sua reprodução. É composto por oito atividades que propõem experiências com circuitos elétricos, questões conceituais, atividades complementares na forma de trabalhos de casa e conceitos físicos subsequentes.

As atividades são organizadas dentro de uma perspectiva de construção conceitual gradual. No entanto, não se pretende definir uma sequência linear e contínua de aprendizagens, e conforme as necessidades específicas de cada contexto e à critério do professor, elas podem ser selecionadas e modificadas. Os objetivos e fundamentos das atividades estão apresentados detalhadamente nas seções 3.4 e 3.5 do texto do presente trabalho; caso você deseje aprofundar esses fundamentos, sugerimos a leitura do texto. Apresenta-se também a composição do kit experimental.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS PARA O ENSINO
FUNDAMENTAL**

Rojans Coqueiro Rodrigues

&

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à
dissertação de mestrado de Rojans
Coqueiro Rodrigues, apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física, Instituto de Física, da Universidade
Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Dezembro de 2020

Sumário

Apresentação para o Professor.....	80
Apresentação para o Aluno	86
Atividade 1 – Lâmpada, pilha e fio.....	87
Experiência 1	87
Trabalho de casa 1 – Circuitos simples.....	88
Definição 1 - Circuito.....	88
Atividade 2 – Acende ou não acende.....	89
Experiência 1	90
Definição 2 - Condutores e isolantes (uma definição preliminar).....	91
Trabalho de casa 2 – Condutores e isolantes na lâmpada e no soquete.....	91
Atividade 3 – Fechado ou aberto.....	92
Experiência 1	93
Experiência 2	95
Definição 3 - Corrente elétrica.....	95
Trabalho de casa 3 – Corrente elétrica.....	96
Simbologia convencional de circuitos elétricos.....	99
Atividade 4 – Lâmpadas e mais lâmpadas	101
Experiência 1	101
Experiência 2	103
Trabalho de casa 4 – Lâmpadas em série e paralelo e continuidade da corrente elétrica.....	104
Definição 4 - Resistividade, condutores e isolantes.....	106
Definição 5 – Resistência de um condutor.....	106
Definição 6 - Resistores	107
Atividade 5 – Medindo a Corrente elétrica	109
Experiência 1	112
Experiência 2	114
Experiência 3	114
Experiência 4	115
Trabalho de casa 5 – Princípio da conservação da corrente e Lei dos nós.....	117
Definição 4 - Conservação da corrente elétrica	117
Definição 5 – 1ª Lei de Kirchhoff (Lei dos nós).....	118
Atividade 6 – Sapos, pilhas e baterias?.....	120
Experiência 1	122
Definição 6 - Tensão	122
Experiência 2	124
Definição 7 - Diferença de potencial (d.d.p.) ou queda de tensão.....	125
Experiência 3	125
Trabalho de casa 6 – Pilhas e mais pilhas	126
Atividade 7 - Potência.....	129
Definição 8 - Potência elétrica.....	130
Trabalho de casa 7 – Relação entre potência, tensão e corrente.....	133
Equação 1 - Potência de um equipamento elétrico.....	133
Atividade 8 – O que é cobrado na “conta de luz”?.....	135
Definição 9 – Conservação de energia elétrica em circuitos.....	135
Classificando os eletrodomésticos quanto à transformação de energia	136
Equação 2 – Quantidade de energia elétrica “consumida”.....	136
Trabalho de casa 8 – Quem é o vilão da conta?.....	139

Apresentação para o Professor

Caro colega,

Neste trabalho é apresentada uma sequência didática sobre circuitos elétricos para o 8º ano do Ensino Fundamental. Este tema é proposto pela unidade temática **Matéria e Energia**, para a qual os objetos de conhecimento e habilidades são apresentados no Quadro B.1. Entende-se que a sequência atende parcialmente estes direitos de aprendizagem, podendo ser complementada e/ou ajustada a cada contexto escolar, ou seja, não se pretende estabelecer um material único e definitivo.

OBJETOS DE CONHECIMENTO	HABILIDADES
Fontes e tipos de energia	(EF08CI01) Identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades. (EF08CI06) Discutir e avaliar usinas de geração de energia elétrica (termelétricas, hidrelétricas, eólicas etc.), suas semelhanças e diferenças, seus impactos socioambientais, e como essa energia chega e é usada em sua cidade, comunidade, casa ou escola.
Circuitos elétricos	(EF08CI02) Construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais.
Transformação de energia	(EF08CI03) Classificar equipamentos elétricos residenciais (chuveiro, ferro, lâmpadas, TV, rádio, geladeira etc.) de acordo com o tipo de transformação de energia (da energia elétrica para a térmica, luminosa, sonora e mecânica, por exemplo).
Cálculo de consumo de energia elétrica	(EF08CI04) Calcular o consumo de eletrodomésticos a partir dos dados de potência (descritos no próprio equipamento) e tempo médio de uso para avaliar o impacto de cada equipamento no consumo doméstico mensal.
Uso consciente de energia elétrica	(EF08CI05) Propor ações coletivas para otimizar o uso de energia elétrica em sua escola e/ou comunidade, com base na seleção de equipamentos segundo critérios de sustentabilidade (consumo de energia e eficiência energética) e hábitos de consumo responsável.

Quadro B.1: Unidade temática *Matéria e energia* para o 8º ano do Ensino Fundamental.
Fonte: Brasil 2017, p. 348 – 349.

A sequência didática se detém apenas nos conceitos e fenômenos da eletrodinâmica, e possibilita o acesso a conhecimentos científicos historicamente construídos e a aproximação dos estudantes aos processos, procedimentos e práticas de investigação. Ela foi organizada em trabalhos práticos de construção circuitos simples e análise de fenômenos. Nesse contexto, sob a sua orientação, pretende-se apoiar as atividades de manipulação e familiarização de componentes eletroeletrônicos pelos alunos, além de propiciar a observação de fenômenos e a formação gradual de modelos

mentais que incorporem os conceitos científicos aceitos, através de raciocínios indutivos e dedutivos, aos já apresentados por eles.

Os roteiros e o *kit* foram desenvolvidos para aplicação em salas de aula com os alunos organizados em grupos com cerca de quatro alunos, visando a interação entre eles e o desenvolvimento da autonomia, e não é estabelecido um número padrão de alunos por turma para aplicação do material. Então, dependendo da estrutura física da escola e outros fatores, fica a seu critério a definição da quantidade mais adequada de alunos por grupo.

Novos componentes eletroeletrônicos são apresentados a cada etapa, a fim de facilitar a construção dos circuitos e a compreensão da função de cada um deles. Contudo, vale ressaltar que não se espera deles a redescoberta individual, ou em grupos, dos conceitos científicos, mas que sejam conduzidos num processo de comunicação, orientado por você, dos conhecimentos cientificamente aceitos, com apoio das atividades.

Na Tabela 1 são listadas as atividades, os componentes de circuitos que são apresentados em cada uma delas, bem como o conceito físico que as norteia e o número proposto de horas/aula.

ID	Atividade	Componentes de circuitos apresentados na atividade	Conceito abordado	Nº de aulas
01	Lâmpada, fio e pilha	pilha comum 1,5 V, lâmpada incandescente e fio flexível de cobre.	Circuito	1
02	Acende ou não acende	conectores jacaré, soquete, e objetos condutores e isolantes.	Condutores e isolantes	1
03	Fechado ou aberto	suporte para duas pilhas, interruptores, diodos retificadores.	Corrente elétrica e convenção de um sentido	2
04	Lâmpada e mais lâmpadas		Resistividade, resistência e resistores	2
05	Medindo a corrente elétrica	fio de níquel-cromo (filamento incandescente e reostato), amperímetro digital, motor elétrico, LED, <i>buzzer</i> .	Conservação da corrente elétrica e Lei dos nós	3
06	Sapos, pilhas e baterias?	voltímetro digital, célula fotovoltaica, gerador.	Tensão e diferença de potencial	2
07	Potência		Potência	1
08	O que é cobrado na “conta de luz”?		Consumo de energia elétrica	2

Tabela 1: Atividades da Sequência didática proposta.

Para realização das atividades experimentais propostas pela sequência didática, foi desenvolvido um *kit* com componentes elétricos e eletrônicos de pequenas dimensões. A escolha dos materiais se deu com os objetivos de facilitar a manipulação por parte dos alunos, de ser o mais intuitivo possível, para que eles dedicassem o máximo de tempo possível à análise dos fenômenos e discussões conceituais e não à simples manipulação dos materiais. A maior dificuldade no desenvolvimento do *kit* foi a obtenção de lâmpadas incandescentes com base rosca de baixa voltagem e seus respectivos soquetes. Estes itens caíram em desuso e sua comercialização é restrita a poucas empresas que ainda os possuem em estoque ou em sites de venda especializada. Por isto, se faz necessário a busca por materiais que atendem as especificidades didáticas das lâmpadas pingo d'água. A Figura 1 apresenta uma visão geral dos itens que compõe o *kit*, descritos na Tabela 2.

Os itens 1, 3, 4, 5, 6 e 8 são facilmente encontrados em lojas especializadas de componentes eletrônicos, e os conectores dos fios e do suporte de pilhas foram soldados para facilitar a construção dos circuitos. Os motores DC são retirados de impressoras e foram comprados em uma loja de sucata eletrônica e as células fotovoltaicas em sites de comércio. Em todas as construções de circuitos com essas fontes são obtidas tensões da ordem máxima de 10 V, o que minimiza os riscos de choques elétricos.

Além dos itens apresentados na Figura 2, em atividades específicas são disponibilizados para cada grupo um multímetro digital, como o exemplificado na Figura 3, e um resistor variável construído com uma régua de madeira com 30 centímetros, dois bornes para pino banana, e um comprimento de fio de níquel cromo de 110 Ω /m, apresentado na Figura 4.

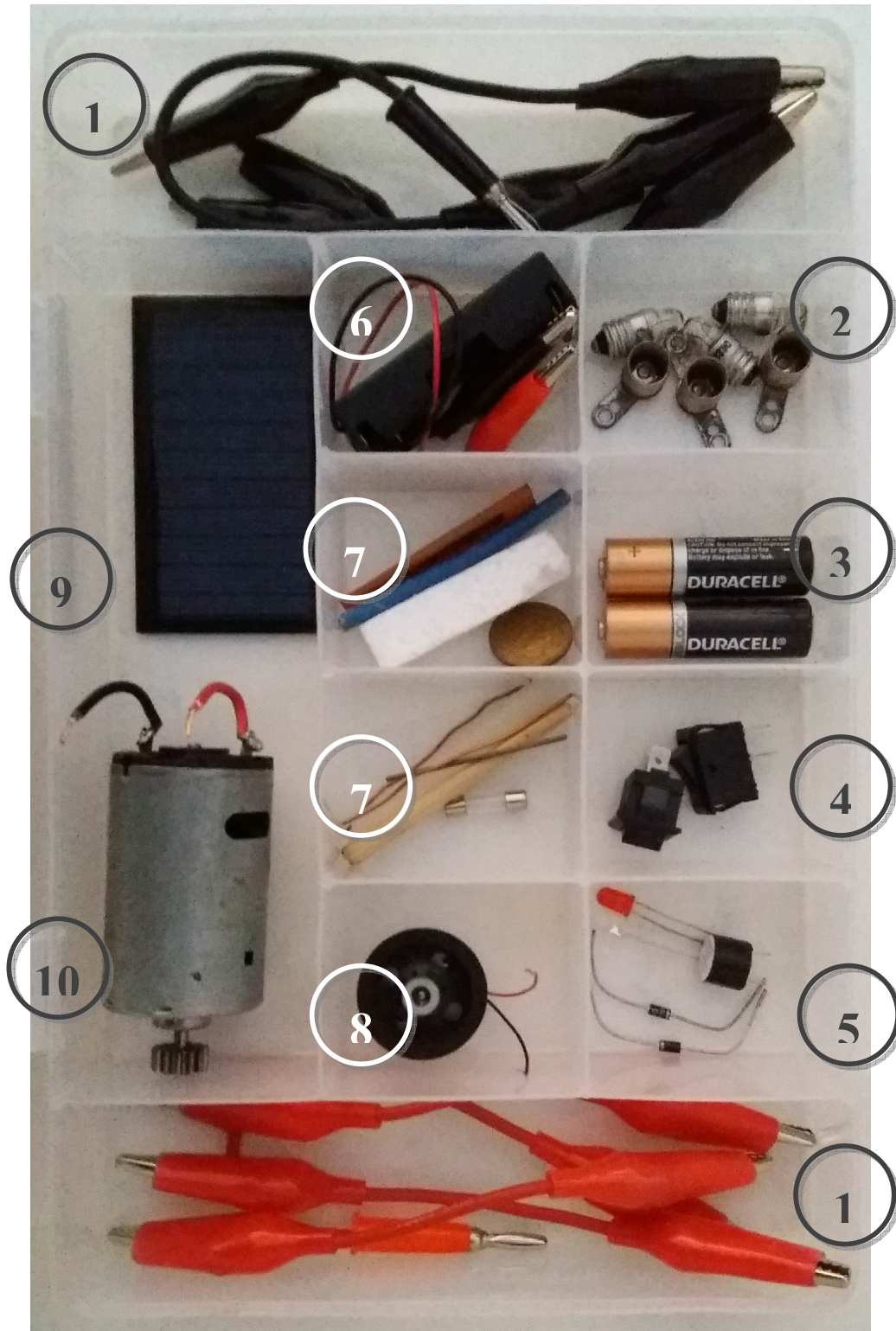


Figura 1: Itens do kit experimental.

ID	Descrição	Quant.
1	Fios de cobre banana/jacaré preto	1
	Fios de cobre banana/jacaré vermelho	1
	Fios de cobre jacaré/jacaré preto	3
	Fios de cobre jacaré/jacaré vermelho	3
	Fio de cobre com as pontas desencapadas	1
2	Lâmpadas pingo d'água de 2,5 V (Modelo GE 222)	3
	Soquete para lâmpada E10 tipo rosca	3
3	Pilhas alcalinas AA	2
4	Chave gangorra com 2 terminais	2
5	LED vermelho 5 mm	1
	LED branco 5 mm	1
	<i>Buzzer</i> ativo 5,0 V	1
	Diodos retificadores 1N4004	2
6	Suporte para 2 pilhas AA	1
7	Materiais condutores e isolantes diversos	
8	Motor DC 5,9 V	1
9	Mini célula fotovoltaica (aproximadamente 5V)	1
10	Motor DC 12 V	1

Tabela 2: Itens do kit experimental



Figura 3: Multímetro digital.



Figura 4: Resistor variável com fio de níquel cromo.

Apresentação para o Aluno

Caro aluno,

É provável que você esteja habituado com equipamentos elétricos do dia a dia; ligar uma lâmpada ou conectar um aparelho na tomada não deve lhe parecer uma tarefa complicada. Da mesma forma, palavras como **energia, corrente elétrica, condutores, tensão** devem lhe parecer familiares. Mas você teria a mesma facilidade para explicar como esses equipamentos funcionam? Conseguiria com a mesma agilidade acender lampadzinhas de lanterna com pilhas, fios? Ou, saberia diferenciar cada um dos termos sobre eletricidade citados acima?

Este material foi elaborado na forma de tutoriais para lhe auxiliar na realização de algumas atividades sobre eletricidade. Nelas você trabalhará em desafios práticos, construirá circuitos elétricos, observará fenômenos e registrará suas ideias que podem ou não ser confrontadas. Tudo isso de forma bem segura – não precisa ter medo de choques elétricos. Assim, você é agora convidado a participar ativamente dos problemas lançados, com ações e reflexões; e sob a orientação do seu professor, avançar na compreensão de equipamentos, fenômenos e conceitos elétricos, tão presentes e necessários atualmente. Você está pronto para este desafio?

Desejamos um bom trabalho!

Os autores

Atividade 1 – Lâmpada, pilha e fio



Esta primeira atividade tem por objetivo a construção de circuitos elétricos simples. Para tal, o seu grupo receberá uma pequena lâmpada incandescente de lanterna, uma pilha comum e um pedaço de fio flexível com as pontas desencapadas.



Figura 1.1: Materiais da Atividade 1

Experiência 1

Conecte os materiais recebidos de diversas maneiras, com a finalidade de acender a lâmpada. Desenhe no quadro abaixo o maior número de tentativas, separando-as em dois grupos: as que a lâmpada acendeu, e aquelas em que não acendeu.

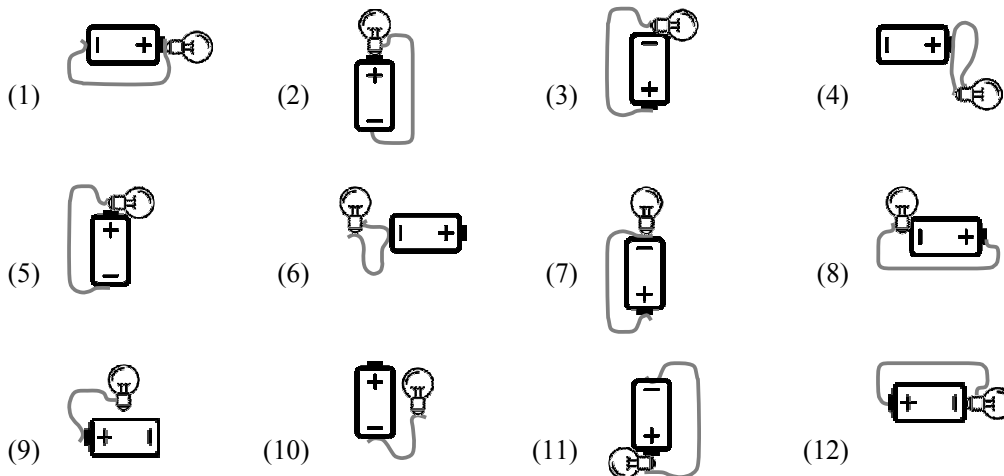
	

Questão 1 – Vocês deveriam ter encontrado ao menos quatro arranjos diferentes que acendem a lâmpada. Como esses arranjos se assemelham? Como eles diferem dos arranjos em que a lâmpada não acendeu?

Questão 2 – Aponte quais condições devem ser atendidas para que a lâmpada acenda.

Trabalho de casa 1 – Circuitos simples

Questão 1 – Observe os circuitos representados abaixo, compostos por uma pilha, um fio desencapado e uma lâmpada incandescente de lanterna; em seguida assinale em quais deles você considera que a lâmpada acenderá:



Definição 1 - Circuito

O dicionário Michaelis define o verbete circuito como:

1 Linha que limita inteiramente uma superfície; contorno, perímetro. - 2 A parte que circunda alguma coisa; cerco, cinto, cinturão. - 3 Espaço natural ou artificialmente delimitado ao redor de uma área; percurso, pista, volta. - 4 Movimento circular; giro, volteio.



Atividade 2 – Acende ou não acende

Nesta atividade será testado o funcionamento de um circuito elétrico simples quando nele é inserido um item de teste. Serão utilizados uma pilha comum, uma lâmpada incandescente de lanterna, um soquete compatível, dois fios com conectores jacaré e itens diversos para teste, que serão utilizados um a um.



Figura 2.1: Materiais da Atividade 2

Exercício 1 – Desenhe no quadro abaixo um esquema para o circuito que será construído pelo seu grupo. Ele deve ser composto por uma lâmpada incandescente enroscada no soquete, uma pilha, fios com conectores jacarés e um material de teste genérico.

 
(Ao desenhar os fios não represente os conectores, utilize apenas traços contínuos para indicá-los. Após desenhar, discuta a configuração do circuito com o professor.)

Experiência 1

Construa o circuito proposto por você na atividade anterior e teste cada material oferecido pelo *kit*, um por um; faça o mesmo com outros a que tiver acesso, e verifique o funcionamento da lâmpada em cada caso.

Quanto ao funcionamento da lâmpada, discuta com seu grupo possíveis classificações para os materiais testados.



ATENÇÃO

Mantenha a lâmpada acesa apenas pelo tempo necessário para observação. Deixá-la iluminando por um longo período causa o esgotamento precoce da pilha.

Questão 1 – Elabore um quadro no espaço abaixo agrupando os materiais conforme as classificações adotadas.

--

Questão 2 – Qual o comportamento da lâmpada em cada grupo?

Questão 3 – Defina, em equipe, uma nomenclatura para as classificações construídas.

Questão 4 – Dentro das classificações desenvolvidas por sua equipe, identifique em qual delas se enquadra o **ar**.

Questão 5 – O fato do item de teste estar mais próximo do terminal “ + ” ou “ - ” da bateria interfere nos resultados obtidos? Discuta esta questão com sua equipe e teste novamente.

Definição 2 - Condutores e isolantes (uma definição preliminar)

Materiais que permitem que uma lâmpada acenda, no circuito de teste utilizado na Atividade 2, são denominados de condutores. E, aqueles que mantêm a lâmpada apagada são isolantes.

Trabalho de casa 2 – Condutores e isolantes na lâmpada e no soquete.

Questão 1 – Observe cuidadosamente a Figura B.3 e classifique as partes da lâmpada como condutores ou isolantes.

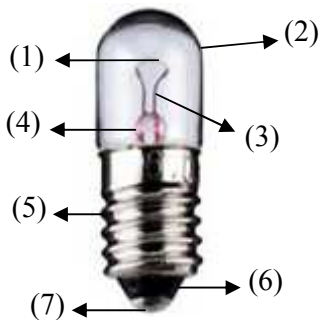


Figura 2.2: Detalhe de uma lâmpada incandescente

- (1) _____
- (2) _____
- (3) _____
- (4) _____
- (5) _____
- (6) _____
- (7) _____

Questão 2 – Observe cuidadosamente a Figura B.4 e classifique quais partes do soquete como condutores ou isolantes.

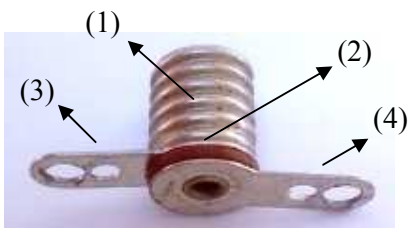


Figura 2.3: Detalhe de um soquete

- (1) _____
- (2) _____
- (3) _____
- (4) _____

Atividade 3 – Fechado ou aberto

Nas atividades anteriores, foram construídos circuitos formados por uma pilha, uma lâmpada com ou sem soquete e fios e, a partir do funcionamento da lâmpada, foi possível classificar alguns materiais como condutores ou como isolantes.

Agora observaremos o comportamento de circuitos quando inserimos outros componentes de circuito – chaves e diodos. Estão disponíveis para realização das experiências, além desses dois novos itens, uma lâmpada incandescente, soquete, fios, condutores genéricos e duas pilhas com suporte.



Figura 3.1: Materiais da Atividade 3

Exercício 1 – Observe as partes do suporte de pilha e assinale qual esquema melhor representa a instalação mais adequada de duas pilhas no suporte

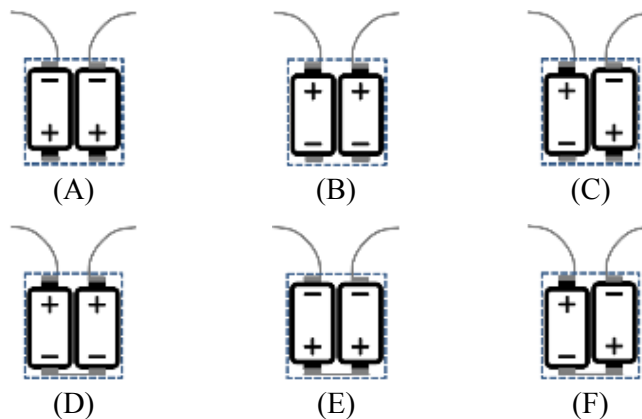


Figura 3.2: Detalhe de um suporte de pilhas

Exercício 2 – A figura a seguir apresenta uma chave tipo faca. Observe-a atentamente e identifique objetos similares no trailer de “*Victor Frankenstein*”

<https://www.youtube.com/watch?v=duE2Rp0c4W8>



Figura 3.3: Detalhe de uma chave tipo faca

A) Discuta com seu grupo a função deste equipamento em um circuito.

B) Você pode relacioná-la com algum objeto de seu cotidiano?

Experiência 1

Observe o circuito representado no Quadro 2. As Caixas A e B são espaços reservados para testar componentes eletrônicos, materiais condutores ou isolantes presos com as garrinhas. Construa o circuito com uma chave gangorra e um condutor nas Caixas A e B.

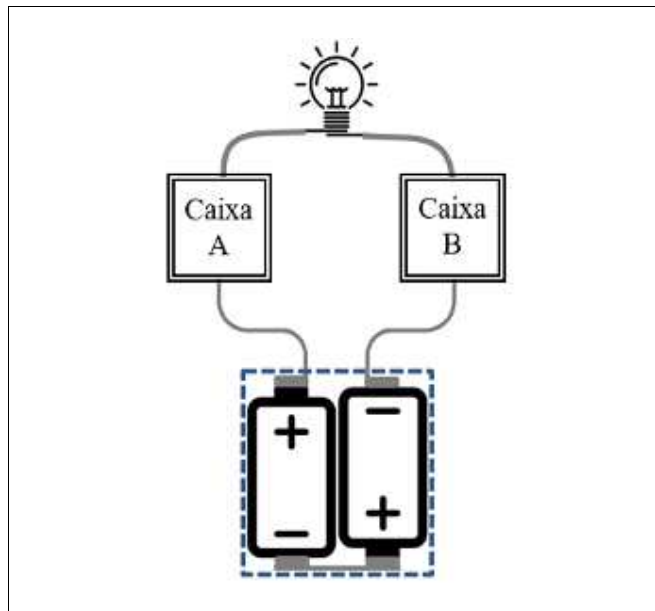


Figura 3.4: Circuito da Atividade 3

Questão 1 – Com o circuito montado, a lâmpada ficou acesa ou apagada? Dentre as classificações fechado ou aberto, qual melhor representa o estado do circuito? Justifique sua resposta.

(Confirme sua resposta com o professor.)

Questão 2 – Caso o circuito esteja fechado, o que pode ser feito para abri-lo, sem desfazer nenhuma conexão? E vice e versa?

Questão 3 – Em qual posição da chave o circuito permanece fechado: “O” ou “I”?



Questão 4 – O fato de a chave ser conectada na Caixa A ou na Caixa B interfere nos resultados obtidos? E inverter a chave numa mesma posição? Discuta estas questões com sua equipe e se desejar teste novamente.

Questão 5 – A partir das suas observações nas questões anteriores explique o funcionamento da chave gangorra.

Experiência 2

Construa o circuito da Figura 3.4 com um diodo e um condutor nas Caixas A e B. Em seguida, analise o funcionamento da lâmpada para diferentes instalações.

Questão 1 – Desenhe no quadro abaixo suas tentativas, separando-as em dois grupos: as que a lâmpada acendeu e aquelas em que não acendeu.

Questão 2 – Qual a função do diodo neste circuito? Faça inferências sobre o funcionamento deste componente eletrônico.

Definição 3 - Corrente elétrica

Com base nas observações feitas nas atividades anteriores, faremos as seguintes suposições:

- 1 - Há um fluxo, que denominaremos de corrente elétrica, que se estabelece em um ciclo completo formado por condutores conectados aos terminais de uma bateria (ou pilha) não esgotada.
- 2 - Para lâmpadas idênticas, a luminosidade emitida por cada uma pode ser usada com um indicador da intensidade da corrente elétrica através delas: quanto mais brilhante, maior a corrente.

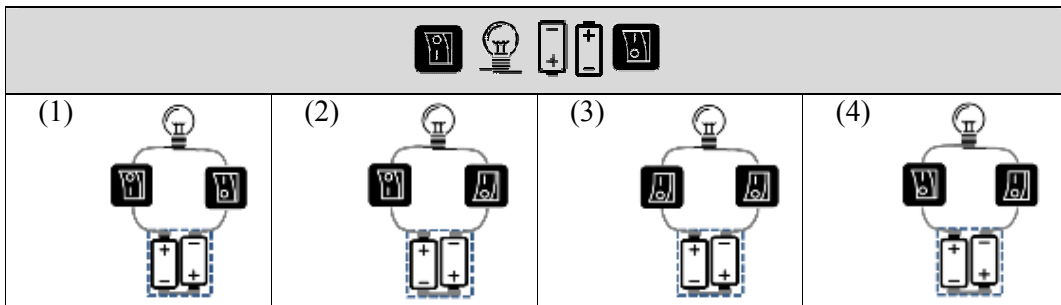
3 - Este fluxo percorre continuamente todos os componentes de um circuito completo – lâmpada, bateria, fios, chaves etc. – e é extinguido quando o circuito é aberto, independentemente da posição em que a interrupção é feita.

4 - Por conveniência, convencionou-se que o sentido da corrente elétrica é do terminal positivo para o negativo através do circuito.

Obs.: embora haja uma relação entre a intensidade corrente elétrica estabelecida e a quantidade de energia dispensada no circuito, essas duas grandezas não são iguais.

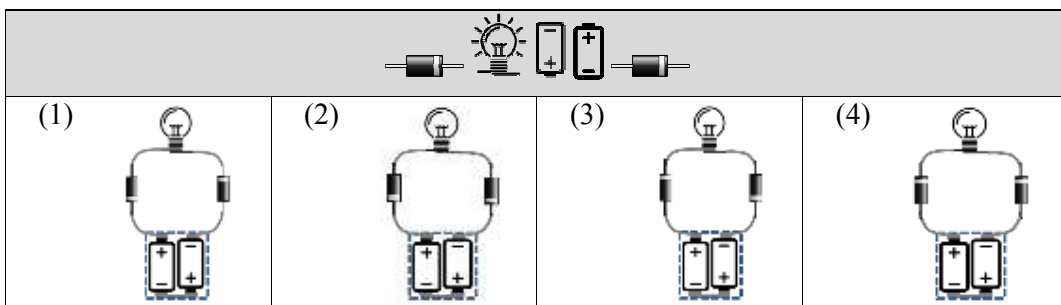
Trabalho de casa 3 – Corrente elétrica.

Exercício 1 – Observe os circuitos apresentados no quadro abaixo compostos por pilhas, uma lâmpada enroscada no soquete, duas chaves e fios para as conexões.



Em qual(is) montagem(ns) existirá corrente elétrica? Justifique.

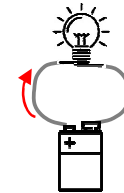
Exercício 2 – Observe os circuitos apresentados no quadro abaixo compostos por pilhas, uma lâmpada enroscada no soquete, dois diodos e fios para as conexões.



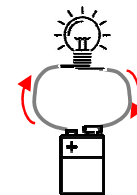
Em qual(is) montagem(ns) existirá corrente elétrica? Justifique.

Questão 1 – A partir das definições estabelecidas e das observações realizadas nos experimentos, considere o debate entre três estudantes sobre o funcionamento de um circuito elétrico, bem como, os esquemas produzidos por cada um deles. Qual deles sustenta um argumento adequado à definição de corrente elétrica desenvolvida?

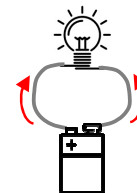
Estudante 1: *Existe um fluxo no circuito que é apenas da bateria para a lâmpada. Sabemos que é assim, porque uma bateria pode acender uma lâmpada, mas uma lâmpada não pode fazer nada sem uma bateria.*



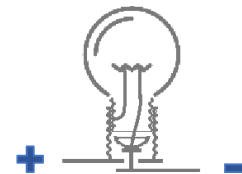
Estudante 2: *Quando a lâmpada está acesa, há um fluxo da bateria para a lâmpada. Há também um fluxo igual da lâmpada de volta para a bateria.*



Estudante 3: *Há dois fluxos da bateria para a lâmpada, um positivo (+) e um negativo (-). Quando os dois se encontram na lâmpada, geram uma descarga e fazem com que ela acenda.*



Questão 2 – Avalie os diferentes esquemas produzidos por estudantes sobre a corrente elétrica numa lâmpada incandescente conectada por meio de um soquete e fios condutores aos terminais de uma bateria.



<p>Estudante 1</p>	<p>Estudante 2</p>	<p>Estudante 3</p>
<p>Estudante 4</p>	<p>Estudante 5</p>	<p>Estudante 6</p>

Leia o texto abaixo e assista o vídeo, ambos disponíveis no mesmo endereço eletrônico, e responda ao que se pede.

Oxidação do filamento de tungstênio de uma lâmpada com bulbo quebrado.

Uma lâmpada é um objeto muito simples e comum. Entretanto para chegar a esse objeto um longo caminho foi percorrido. Thomas Edson foi o primeiro a construir uma lâmpada incandescente realmente funcional, com brilho e tempo de vida altos. Para isso ele teve que fazer vários e vários testes. O principal empecilho era a oxidação e ou fusão do filamento.



Quando uma corrente elétrica passa por um condutor, parte da energia elétrica é transformada em calor por um fenômeno conhecido como efeito Joule. Usando esse princípio Thomas Edson começou a fazer suas lâmpadas, primeiramente usando filamento de carvão, depois de bambu e por último de celulose que eram aquecidos por efeito joule até emitirem luz (incandescência). A grande sacada de Thomas Edson foi usar bulbos de vidro com vácuo; dessa forma os filamentos estavam parcialmente isolados do oxigênio da atmosfera e não oxidavam facilmente. Isso aumentou muito a vida útil das lâmpadas. Hoje em dia as lâmpadas são feitas com filamento de Tungstênio, um metal com ponto de fusão extremamente elevado (3000°C), que mesmo assim ainda precisa ficar isolado do oxigênio atmosférico.

Para isso é injetado um gás inerte, normalmente o argônio, a baixas pressões. O vídeo, em câmera lenta, mostra o efeito do oxigênio no filamento de tungstênio. Após o contato com a atmosfera o filamento dura poucos segundos, pois é completamente oxidado.

Texto 3.1: Oxidação do filamento de tungstênio de uma lâmpada com bulbo quebrado

Fonte: Ciência Tube (2009)¹

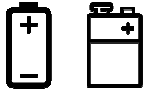
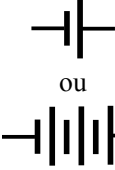












Questão 3 – Com base na leitura do texto, explique o que é efeito Joule e incandescência.

Questão 4 – O que ocorre com a corrente elétrica quando o filamento é completamente oxidado?

¹ Disponível em <<http://www.cienCIATube.com/2009/04/oxidacao-do-filamento-de-tungstenio-de.html>>.

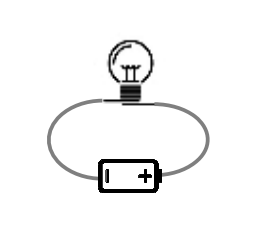
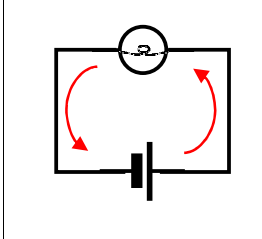
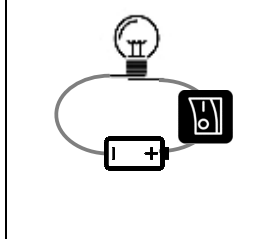
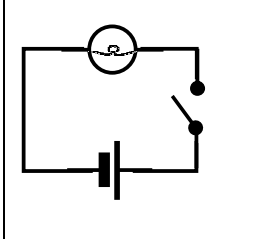
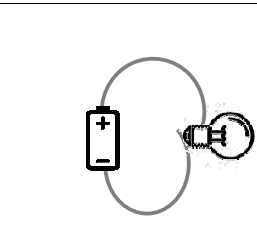
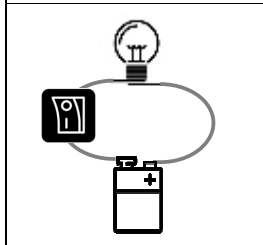
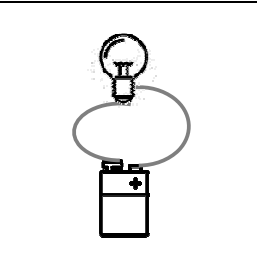
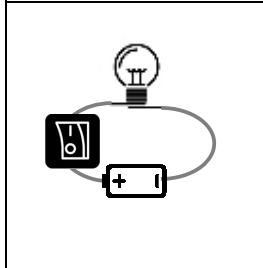
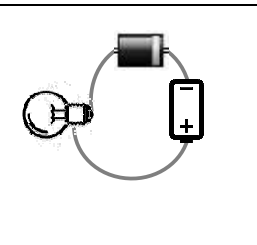
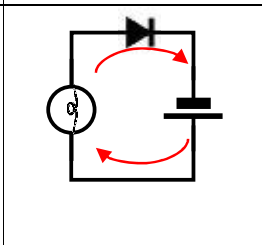
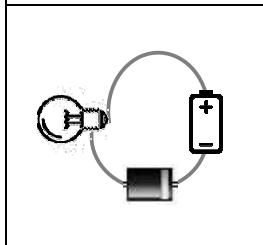
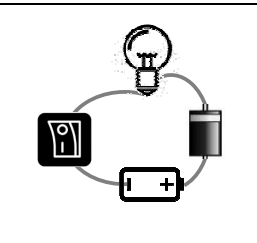
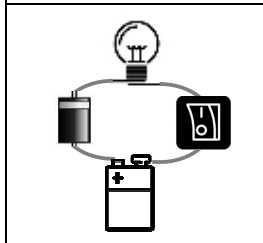
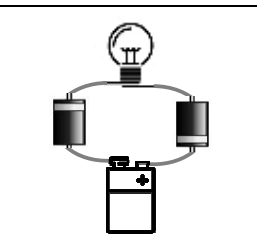
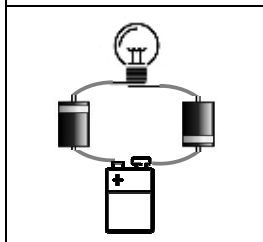
Simbologia convencional de circuitos elétricos

Observe atentamente as simbologias para os componentes de circuito elétrico já estudados:

COMPONENTE	DESENHO	SIMBOLOGIA CONVENCIONAL	OBSERVAÇÃO
Pilha e Bateria		 ou 	As pontas de uma bateria (ou pilha) são denominados terminais. O traço longo na simbologia convencional representa o terminal positivo da bateria, e o traço curto o terminal negativo.
Lâmpada incandescente (sem e com soquete)		 ou 	Os terminais da lâmpada correspondem à rosca metálica e à ponta inferior. Na simbologia convencional, não há distinção entre os terminais. E como as hastes de um soquete são meras extensões dos terminais da lâmpada quando nele é enroscada não há distinção entre o símbolo da lâmpada com ou sem soquete.
Fios e condutores			Componentes condutores como fios de cobre e alguns dos itens de teste da Atividade 2 são representados por linhas retas contínuas. Utiliza-se preferencialmente ângulos de 90° para indicar dobras no condutor ao longo do circuito. Os conectores são omitidos na simbologia convencional.
Chave aberta			As chaves utilizadas no <i>kit</i> têm a indicação “O” para aberto.
Chave fechada			As chaves utilizadas no <i>kit</i> têm a indicação “I” para fechado.
Diodo			O sentido de condução do diodo é representando em seu corpo por uma marca cinza, e em sua simbologia convencional por meio de uma seta com um traço.

Quadro 3.1: Simbologia convencional de elementos de circuitos elétricos

Exercício 1 – Represente os circuitos a seguir por meio da simbologia convencional; indique usando setas a corrente elétrica em cada trecho do circuito. Alguns circuitos já foram representados como exemplo.

DESENHO	SIMBOLOGIA CONVENCIONAL	DESENHO	SIMBOLOGIA CONVENCIONAL
			
			
			
			
			
			

Atividade 4 – Lâmpadas e mais lâmpadas

Experiência 1

Construa um circuito com duas lâmpadas idênticas conectadas uma após a outra, como mostrado no esquema ao lado. Quando as lâmpadas estão interligadas desta maneira dizemos que elas estão em *série*.

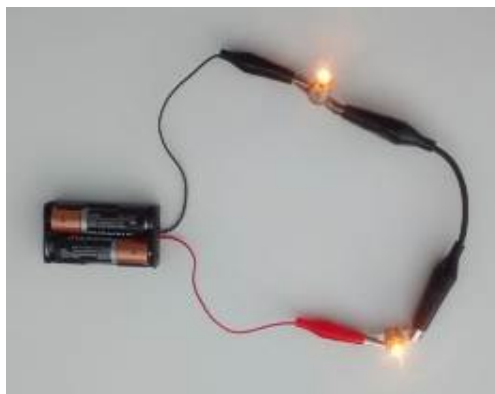
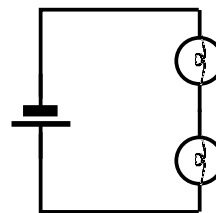


Figura 4.1: Circuito com duas lâmpadas idênticas em série

Questão 1 – Compare o brilho de uma lâmpada com o da outra. O que você pode concluir, a partir de suas observações, sobre a intensidade de corrente que atravessa cada uma delas? (Considere apenas grandes diferenças nos brilhos; pequenas alterações ocorrem porque as lâmpadas não são perfeitamente idênticas.)



ATENÇÃO

Mantenha a lâmpada acesa apenas pelo tempo necessário para observação. Deixá-la iluminando por um longo período causa o esgotamento precoce da pilha.

Questão 2 – A corrente é “consumida” na primeira lâmpada, ou a corrente é a mesma através das duas lâmpadas? (Considere o brilho de cada lâmpada com um indicador da corrente elétrica que atravessa cada uma delas.)

Questão 3 – Se a ordem das lâmpadas for invertida, serão observadas alterações consideráveis no brilho? Confirme sua resposta.

Questão 4 – Compare o brilho dessas duas lâmpadas com o que é apresentado por uma idêntica em um circuito com apenas uma única lâmpada.



Figura 4.2: Circuito com uma única lâmpada

Questão 5 – Como você pode comparar a intensidade de corrente elétrica através de um circuito com apenas uma única lâmpada com a corrente em um outro circuito com duas lâmpadas idênticas conectadas em série? Justifique com base nas suas observações.

Questão 6 – Quando interligadas em série e acesas, o que ocorre com as outras lâmpadas se uma delas “queimar”? (Você pode simular uma lâmpada “queimada” desenroscando uma delas.)

Questão 7 – Se mais e mais lâmpadas idênticas às utilizadas forem instaladas em série no circuito, que previsão pode ser feita sobre a intensidade de corrente elétrica que atravessa o circuito?

Experiência 2

Construa um circuito com duas lâmpadas idênticas com seus terminais conectados como apresentado no esquema ao lado. Quando as lâmpadas estão interligadas desta maneira dizemos que elas estão em *paralelo*.

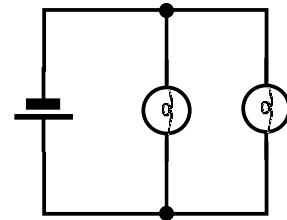



Figura 4.3: Circuito com duas lâmpadas idênticas em paralelo

Questão 1 – Compare o brilho de uma lâmpada com o da outra. O que você pode concluir, a partir de suas observações, sobre a intensidade de corrente que atravessa cada uma delas?

(Considere apenas grandes diferenças nos brilhos; pequenas alterações ocorrem porque as lâmpadas não são perfeitamente idênticas)



ATENÇÃO

Mantenha a lâmpada acesa apenas pelo tempo necessário para observação. Deixá-la iluminando por um longo período causa o esgotamento precoce da pilha.

Questão 2 – O brilho de cada uma das lâmpadas em paralelo é maior, menor ou igual ao brilho apresentado em um circuito com uma única lâmpada?

Questão 3 – A partir de sua resposta do item anterior faça inferências sobre a intensidade da corrente elétrica que atravessa a bateria num circuito com apenas uma lâmpada, e num circuito com duas conectadas em paralelo. Justifique com base nas suas observações.

Questão 4 – Quando interligas em paralelo e acesas, o que ocorre com as outras lâmpadas se uma delas “queimar”?

Questão 5 – Se mais e mais lâmpadas idênticas às utilizadas forem instaladas em paralelo no circuito, que previsão pode ser feita sobre a intensidade de corrente elétrica que atravessa o circuito?

Trabalho de casa 4 – Lâmpadas em série e paralelo e continuidade da corrente elétrica.

Questão 1 – Considere um circuito elétrico composto por duas pilhas, uma lâmpada e um componente elétrico desconhecido encoberto por uma caixa fechada. A lâmpada está inicialmente acesa e com um certo brilho; em seguida o componente sobe a caixa é trocado por outro sem que possa ser visto o que foi feito. Entretanto, verifica-se que a lâmpada passa a brilhar mais intensamente.

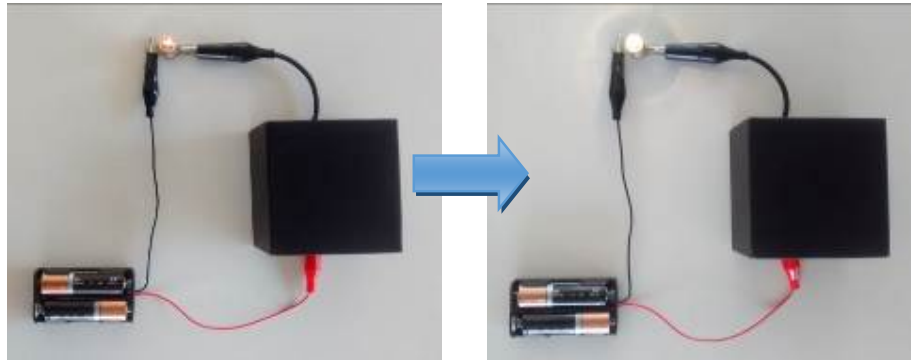


Figura 4.4: Lâmpada em série com um componente oculto por uma "caixa preta".

- A) O que se pode concluir sobre a corrente elétrica através da lâmpada? Ela aumenta, diminui ou permanece a mesma?

- B) A partir do brilho apresentado pela lâmpada em cada uma das situações, o que se pode concluir sobre a resistência (dificuldade) oferecida por cada circuito à passagem da corrente elétrica? Ela aumenta, diminui ou permanece a mesma? Justifique sua resposta.

Questão 2 – No circuito abaixo há dois percursos em paralelo e em cada um dele existe uma “caixa preta” que encobre um de circuito desconhecido e uma lâmpada. Sabe-se que as lâmpadas A e B são idênticas

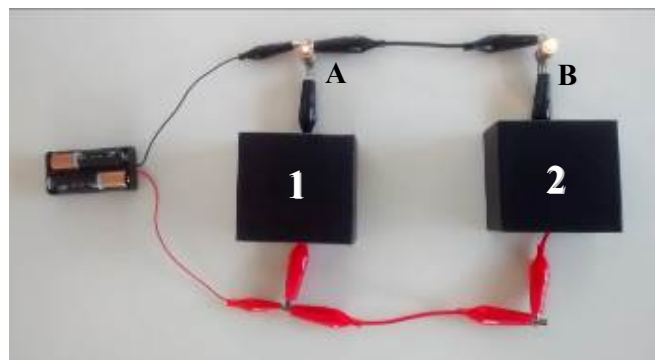


Figura 4.5: Circuito com dois percursos em paralelo com uma lâmpada e um componente oculto por uma “caixa preta” em cada.

A) Compare a intensidade da corrente elétrica que percorre a lâmpada A com a que percorre a lâmpada B.

B) Qual dos componentes ocultos pelas “caixas pretas” 1 e 2 apresenta maior resistência (dificuldade) à passagem da corrente elétrica?

Definição 4 - Resistividade, condutores e isolantes

A propriedade de um material em se opor a passagem da corrente é denominada *resistividade*. Classifica-se como *isolantes* os materiais com resistividade muito elevada e *condutores* os materiais com resistividade baixa.

Definição 5 – Resistência de um condutor

A *resistência* é a capacidade de um condutor se opor a passagem da corrente. Seu valor depende diretamente da resistividade do material do qual ele é feito e do comprimento; e depende inversamente da espessura.

Nas Questões 3 e 4 a seguir os circuitos são construídos com uma pilha comum, uma lâmpada de lanterna, fios de cobre com resistência desprezível e fios de mesma espessura de nicromo (composto metálico de níquel e cromo com resistividade considerável).

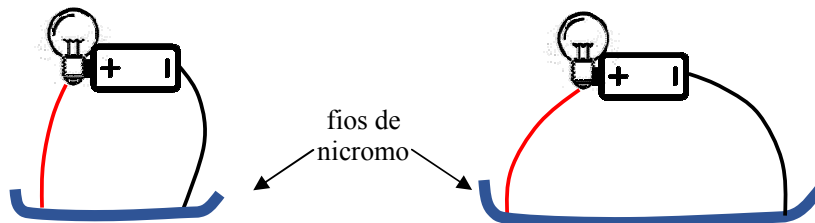


Figura 4.6: Circuito com fios de nicromo de comprimentos diferentes.

Questão 3 – Em qual circuito o fio de nicromo tem maior resistência? Justifique.

Questão 4 – Em qual circuito a lâmpada brilhará mais intensamente?

Nas Questões 5 e 6 a seguir, considere os circuitos construídos com uma pilha comum, uma lâmpada de lanterna, fios de cobre com resistência desprezível e fios de espessuras diferentes de nicromo.

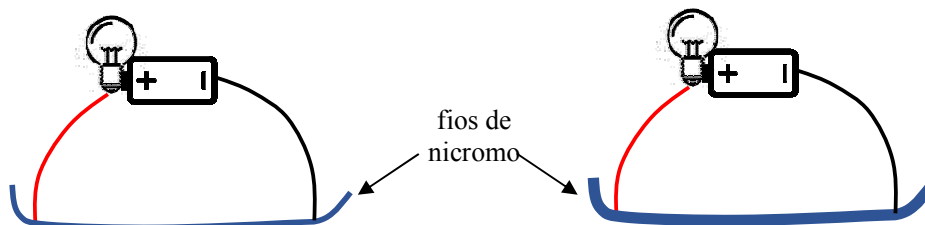


Figura 4.7: Circuitos com fios de nicromo com espessuras diferentes.

Questão 5 – Em qual circuito o fio de nicromo tem maior resistência? Justifique.

Questão 6 – Em qual circuito a lâmpada brilhará mais intensamente?

Definição 6 - Resistores

Um componente de um circuito elétrico que possui um valor considerável de resistência elétrica é denominado *resistor*. Esses emitem calor quando são percorridos por uma corrente elétrica, ou seja, realizam o efeito Joule.

Alguns aparelhos elétricos de uso doméstico, como exemplificado na Figura 4.7, possuem um resistor que é responsável pela dissipação de calor. Nesses equipamentos o resistor é normalmente um condutor metálico longo que pode ser enrolado.

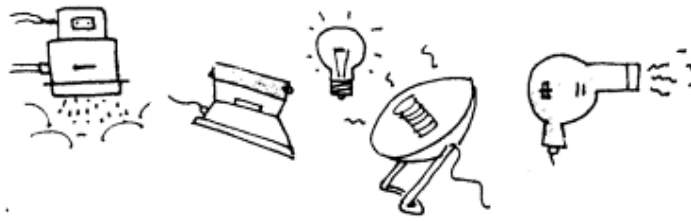


Figura 4.7: Exemplos de aparelhos resistivos. Fonte: Gref (1998, p. 9)²

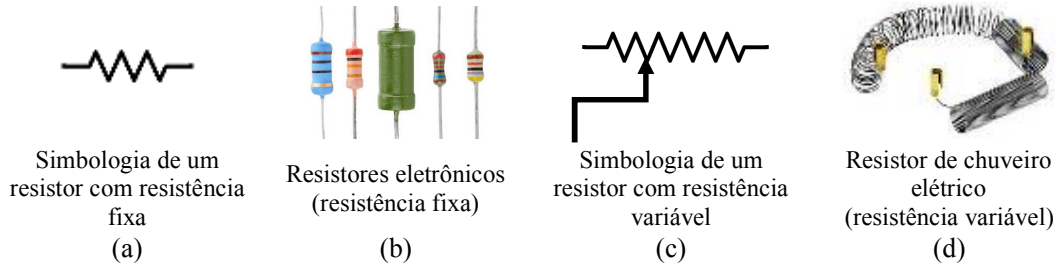
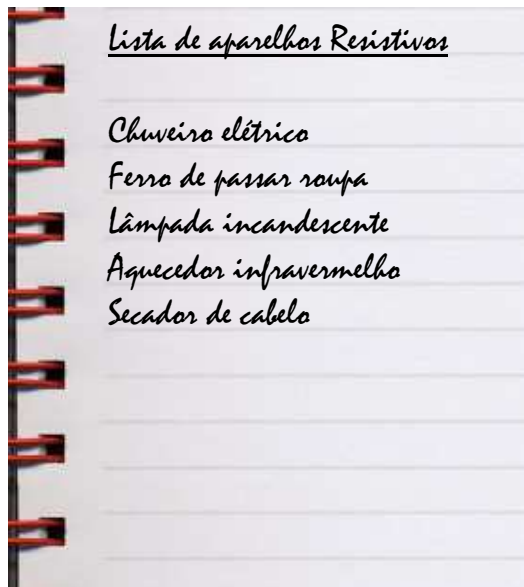


Figura 4.8: Resistores - simbologia convencional e fotografias

Questão 7 – Inclua na lista abaixo outros aparelhos resistivos.



² Disponível em: <http://www.if.usp.br/gref/eletro/eletro1.pdf>; Acesso em setembro de 2020

Atividade 5 – Medindo a Corrente elétrica

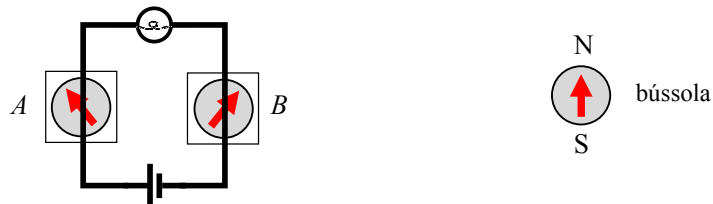
Nas atividades anteriores, a intensidade da corrente elétrica através dos circuitos era estimada pelos efeitos de brilho e aquecimento, causados em lâmpadas idênticas quando acesas, já que observa-se que é razoável supor que quanto mais intensa a corrente, mais brilhante fica a lâmpada. Mas seria possível estimar a corrente elétrica usando um componente que não faz parte do circuito? A corrente elétrica é capaz de gerar outros efeitos e algum desses pode ser externo ao circuito?

A resposta é sim. Um importante efeito da corrente elétrica foi observado pela primeira vez em 1820 pelo cientista dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851). Ao colocar uma agulha imantada de uma bússola próxima a um fio longo percorrido por uma corrente elétrica ele observou o desvio da agulha. Assim como a luz e o calor são emitidos por um filamento incandescente em todas as direções, Oersted acreditava que o efeito magnético poderia de maneira semelhante ser irradiada do fio.



Figura 5.1: Oersted apresentou a deflexão da agulha de uma bússola próxima de um fio percorrido por uma corrente elétrica.

Questão 1 – Se todos os cuidados experimentais necessários foram tomados na estimativa de corrente nos fios do circuito, como você espera que seja a relação, ou a comparação, entre valores da corrente em A da corrente em B?



Apesar da aparente facilidade em verificar a deflexão da agulha de uma bússola quando próxima de um fio percorrido por corrente elétrica, montar uma experiência capaz de comparar, com boa aproximação, a corrente elétrica em dois fios de um circuito não é tão trivial. Algumas precauções devem ser tomadas: a bússola deve estar sob, ou sobre, o fio e aproximadamente a 1 cm de distância; conectores como por exemplo os jacarés devem estar afastados dela, além de alguns outros cuidados.

Na Figura 5.2 é apresentada a deflexão da agulha de uma bússola sob ação da corrente estabelecida no circuito. O equipamento foi construído de forma que as condições pudessem ser aproximadamente replicadas nos dois fios do circuito. Na Figura 5.3 a bússola é posicionada sob o outro fio.

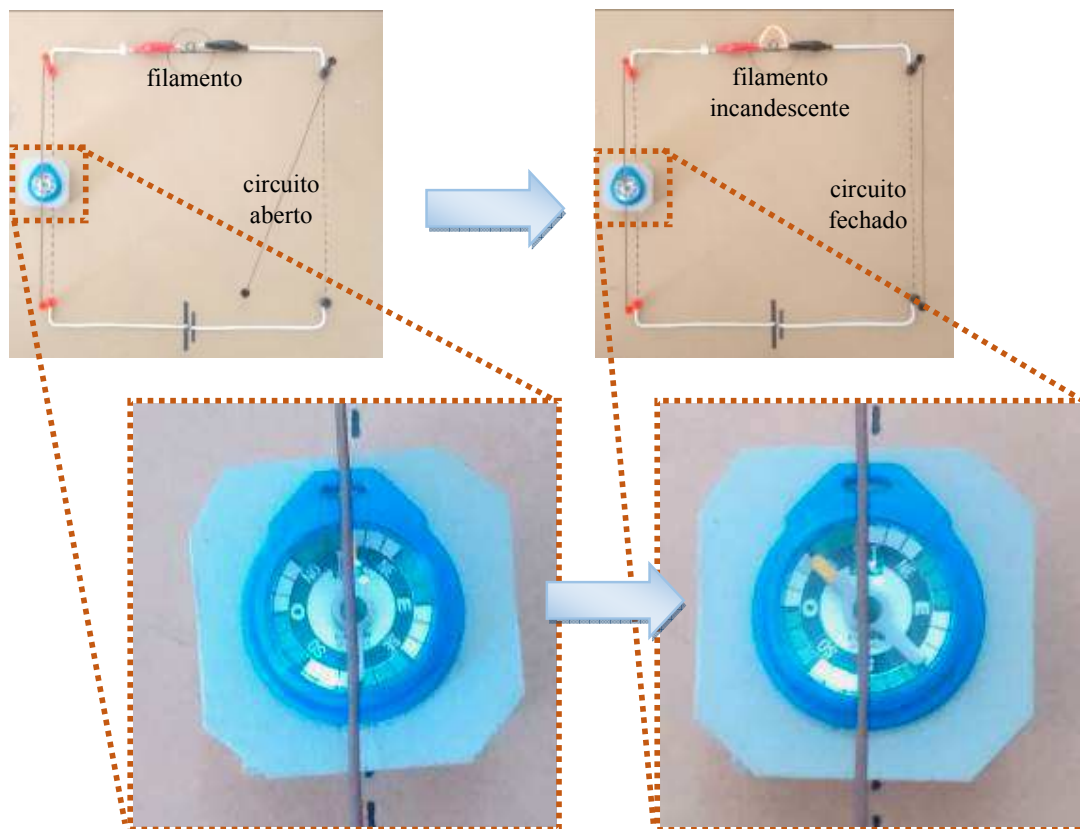


Figura 5.2: Efeito da corrente elétrica sobre a agulha de uma bússola

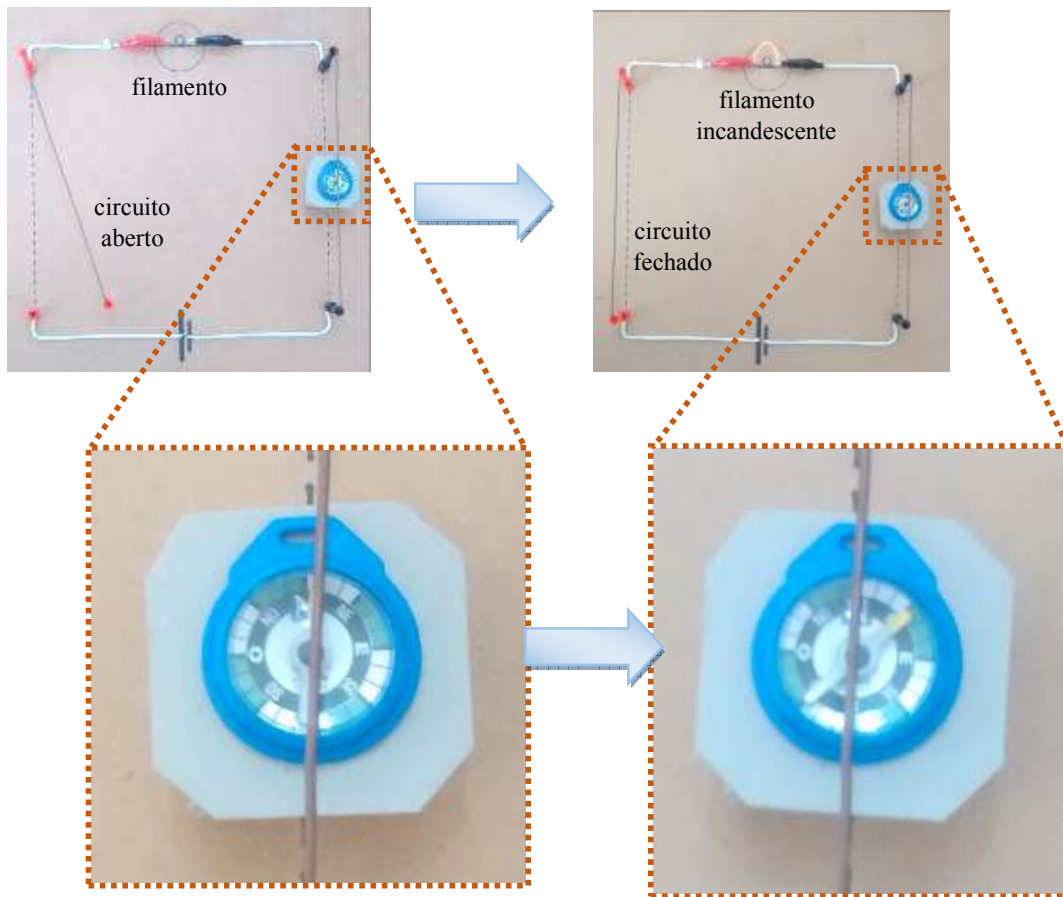


Figura 5.3: Efeito do corrente elétrica sobre a agulha de uma bússola

Questão 2 – Avalie a amplitude do desvio da agulha na Figura 5.2 e na Figura 5.3. A partir da hipótese de que as intensidades do desvio e da corrente elétrica são relacionadas, compare a intensidade de corrente no fio A com a do fio B.

O instrumento utilizado para medir a corrente elétrica é denominado *amperímetro*. Este equipamento tem uma resistência de valor muito pequeno, o que faz com que ao ser percorrido pela corrente elétrica não ocorra alteração significativa na resistência do circuito (desde que colocado corretamente no circuito). A unidade de medida de corrente elétrica é denominada *ampere* (A) em homenagem a André-Marie Ampère. O submúltiplo *miliampere* (mA), milésima parte do ampere ($1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$), também é usual. A intensidade de corrente elétrica é representada pela letra *i*.

Em nossas atividades utilizaremos um multímetro digital que, como sugere o nome, realiza medidas de diversas grandezas elétricas, inclusive corrente. A Figura 5.4 mostra um esquema de um multímetro digital regulado como amperímetro na escala de miliamperes (a) e amperes (b), bem como a simbologia convencional de um amperímetro (c).

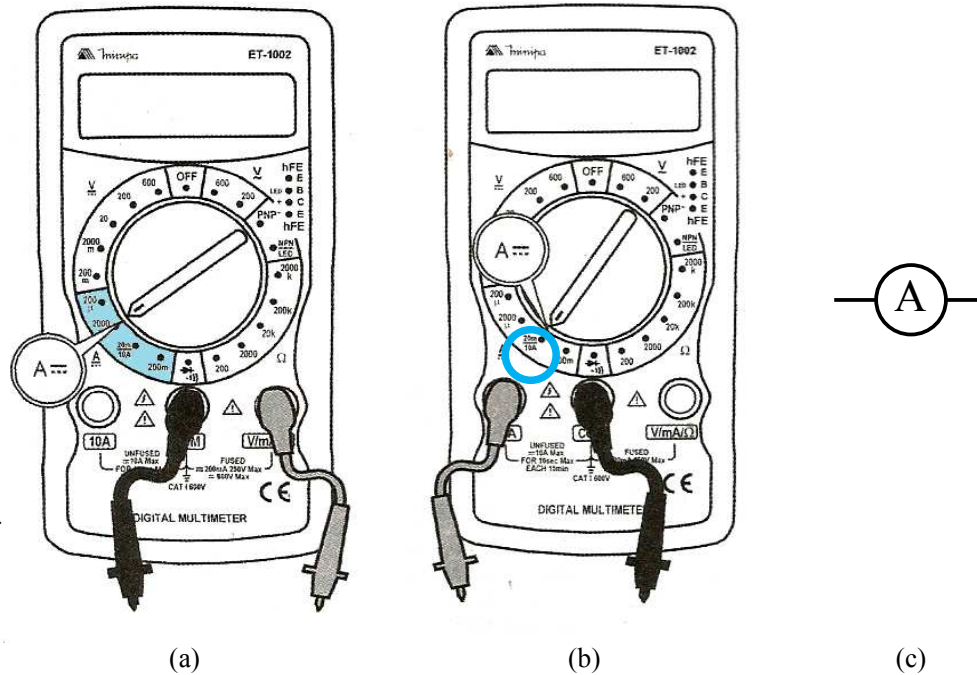



Figura 5.4: Amperímetro. Fonte: Autoria própria³

Experiência 1

Medindo a intensidade de corrente elétrica em um circuito com lâmpada.

Observe os materiais e diagramas na Figura 5.5. Em seguida, construa os circuitos (1) e (2) com um par de pilhas no suporte, uma lâmpada incandescente enroscada no soquete e o multímetro regulado como amperímetro na escala de amperes – chave rotativa indicando a

posição 20m/10A, fio vermelho plugado no encaixe à esquerda (10A) e fio preto no encaixe central (COM), como mostrado no detalhe da Figura 5.5(a). A conexão das ponteiros do multímetro no circuito deve considerar o sentido da corrente elétrica

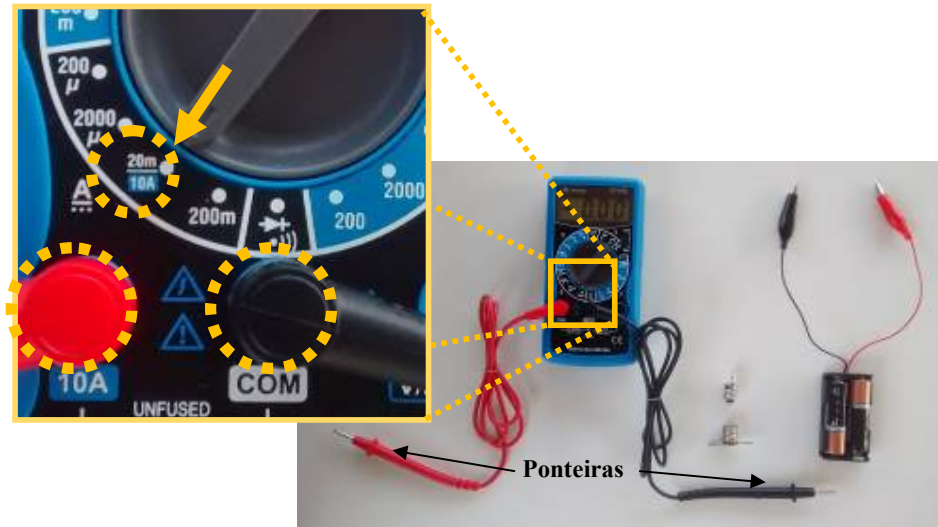


ATENÇÃO

Sempre que trabalhar com multímetro, monte o circuito com as pilhas fora do suporte. Só encaixe as pilhas quando o professor verificar o circuito.

³ Imagens (a) e (b) são digitalizações adaptadas do manual de instrução do multímetro digital Modelo ET-1002 da marca Minipa

estabelecida, e para facilitar, as cores são indicas nos diagramas da Figura 5.5(b); observe as posições relativas dos os componentes em cada circuito.



(a)



(b)

Figura 5.5: Materiais e circuitos da Experiência 1.

Questão 1 – Registre a intensidade de corrente elétrica medida pelo amperímetro em cada circuito. (Caso você obtenha medidas com de valores negativos de corrente, a conexões das ponteiros do multímetro foram realizadas inversamente)


$$i_1 = \text{_____ A} \quad i_2 = \text{_____ A}$$

Questões 2 – Como as medidas no amperímetro nos circuitos (1) e (2) se comparam? São elas significativamente diferentes?

Experiência 2

Corrente elétrica em um circuito com resistor

Construa um circuito com um par de pilhas, um multímetro regulado como amperímetro na escala de amperes (posição da chave rotativa e encaixes dos cabos conforme a Figura 5.5) e um resistor de nicromo com 30 cm de comprimento ligados em série (use as conexões vermelha e preta nos extremos da régua).

 **ATENÇÃO**

Sempre que trabalhar com multímetro, monte o circuito com as pilhas fora do suporte. Só encaixe as pilhas quando o professor verificar o circuito.

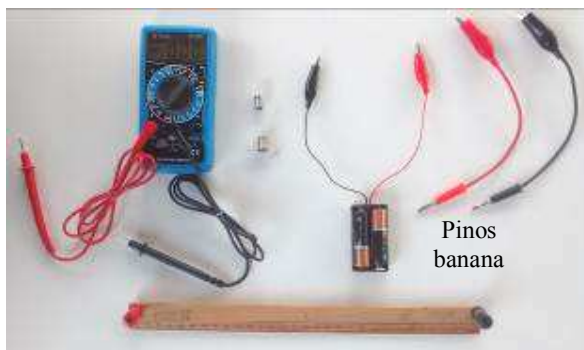
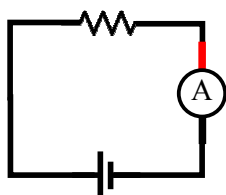


Figura 5.6: Diagrama do circuito e materiais da Experiência 2.


Questão 1 – Anote o valor da intensidade de corrente elétrica através do circuito montado, mensurada no equipamento.

$$i = \underline{\quad\quad} \text{ A}$$

Experiência 3

Corrente elétrica em um circuito com resistor de comprimento variável

A partir do circuito da experiência anterior, solte o pino banana, ou ponteira, que está conectado ao terminal do resistor na posição 30 cm e pressione-o contra o fio de nicromo nas posições solicitadas na tabela, como mostra a Figura 5.6 (se a leitura no visor do multímetro for nula, o contato entre a ponteira e o fio não foi realizado adequadamente).

 **ATENÇÃO**

Sempre que trabalhar com multímetro, monte o circuito com as pilhas fora do suporte. Só encaixe as pilhas quando o professor verificar o circuito.

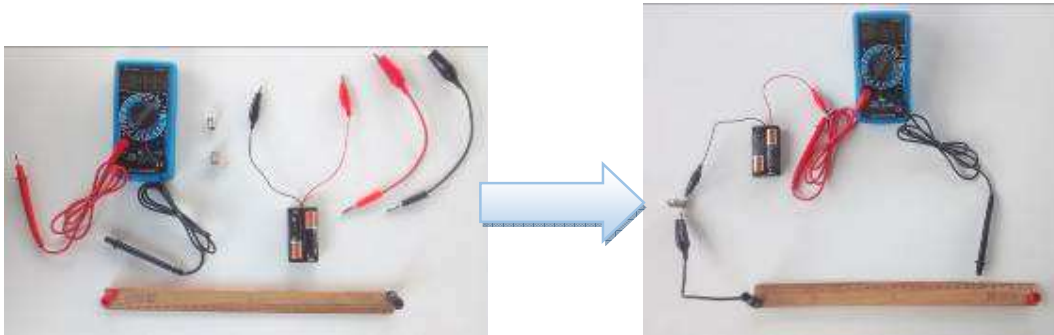
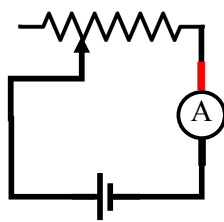



Figura 5.7: Exemplo de circuito para a Experiência 3.



Comprimento do fio de nicromo (cm)	Corrente elétrica i (A)
30 cm	
25 cm	
20 cm	
15 cm	
10 cm	
5 cm	



ATENÇÃO

Não feche o circuito com comprimentos do fio de nicromo menores de 5 cm

Experiência 4

Corrente elétrica em circuitos com outros componentes

Nesta experiência você construirá circuitos elétricos similares aos da Experiência 1, mas substituirá a lâmpada por outros componentes eletrônicos. Na Figura 5.8 são apresentados os materiais que serão utilizados.

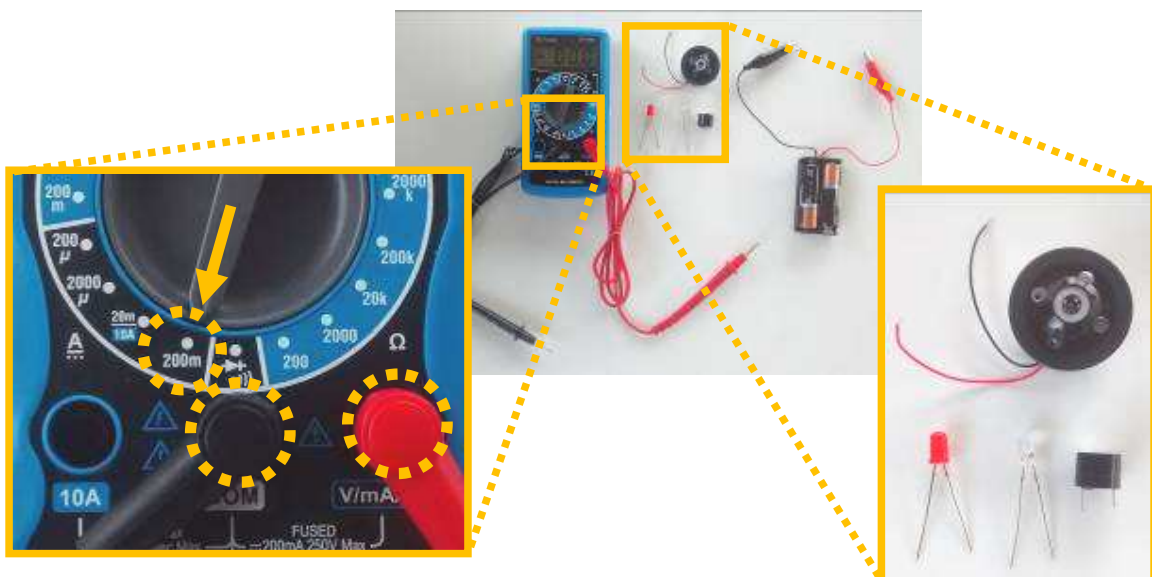


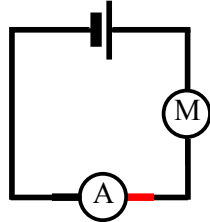


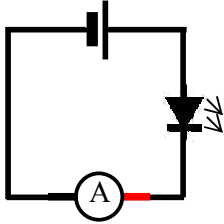


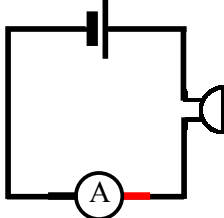


Figura 5.8: Montagem da Experiência 4.

Construa os três circuitos representados pelos diagramas abaixo, um de cada vez, e tome nota das medidas de corrente elétrica em cada caso. Regule previamente o multímetro para funcionar como amperímetro na escala de miliamperes, observe que na Figura 5.7 o cabo vermelho está conectado no terminal de entrada à direita (V/mA/Ω) e a chave rotativa aponta para 200 mA; isso significa que nessa regulagem o amperímetro pode realizar medições de até 200 mA, valor correspondente à 0,2 A.

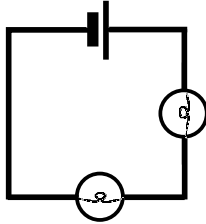
COMPONENTE UTILIZADO	SIMBOLOGIA CONVENCIONAL DO COMPONENTE	CIRCUITO
<p><i>Motorzinho elétrico</i></p> 		
<p><i>LED (Light-Emitting Diode) (Diodo emissor de luz)</i></p> 		
<p><i>Buzzer (Campainha)</i></p> 		

Questão 1 – Complete a tabela abaixo com os respectivos valores de corrente elétrica em miliamperes (mA) e em amperes (A); lembre-se que 1 mA equivale a 0,001 A.

COMPONENTE (cm)	CORRENTE ELÉTRICA (mA)	CORRENTE ELÉTRICA (A)
Motorzinho elétrico		
LED vermelho		
LED branco		
Campainha		

Trabalho de casa 5 – Princípio da conservação da corrente e Lei dos nós

Questão 1 – Leia as afirmações de dois estudantes sobre a corrente em um circuito com duas lâmpadas em série. Assinale a mais adequada às observações experimentais e definições já estabelecidas.



1º Estudante - A corrente elétrica não é consumida nas lâmpadas, elas são igualmente brilhantes, portanto, deduz-se que ambas são percorridas pela mesma intensidade de corrente elétrica. Como o circuito tem um único percurso, a corrente elétrica que percorre a bateria tem também a mesma intensidade.

2º Estudante - Nesse circuito, a corrente elétrica flui da bateria para a primeira lâmpada, onde parte é consumida. O restante flui para a segunda lâmpada, onde toda a corrente restante é consumida.

Definição 4 - Conservação da corrente elétrica

Com base nas suposições e observações até agora realizadas, é possível sustentar que em um circuito elétrico composto por um único percurso (circuito em série) a corrente elétrica flui continuamente e tem a mesma intensidade em todos os pontos do circuito. Esta é uma consequência direta de um princípio que denominaremos de *conservação da corrente elétrica*.

Mas como este princípio pode ser estendido para um circuito em paralelo onde existe mais de um percurso possível? O que ocorre se for utilizada a situação indicada na Figura 5.9(a), em que três ou mais condutores se conectam, formando um nó?

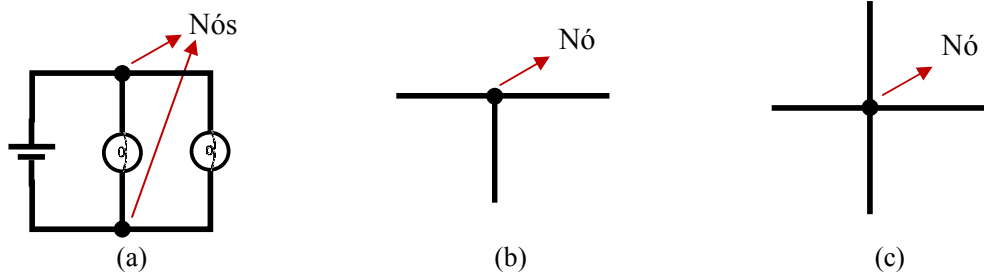
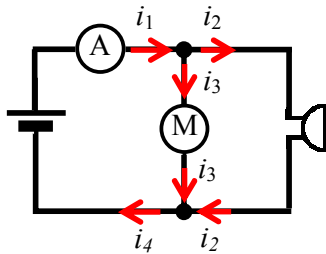


Figura 5.9: Exemplos de nós

Definição 5 – 1ª Lei de Kirchhoff (Lei dos nós)

Com correntes elétricas fluindo continuamente em diferentes percursos de um circuito elétrico a soma das correntes que entram em um nó é igual a soma das que deixam este nó.

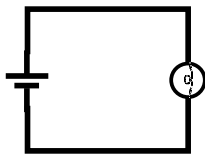
Exemplo – O diagrama abaixo representa um circuito que interliga em paralelo um par de pilhas, um motorzinho e uma campainha. O amperímetro é conectado em série com as pilhas e percorrido pela corrente i_1 que adentra o nó superior do diagrama. As correntes elétricas indicadas por i_2 e i_3 saem do mesmo nó, atravessam respectivamente a campainha e o motorzinho e adentram o nó inferior do diagrama do qual sai a corrente i_4 .



Pela Lei dos nós, $i_1 = i_2 + i_3$ e $i_2 + i_3 = i_4$, ou seja, podemos concluir que $i_1 = i_4$.

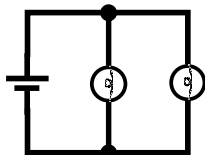
Retorne à Experiência 4 da Atividade 5 e verifique a corrente que percorria a campainha e o motorzinho quando instalados em um circuito simples; esses valores correspondem respectivamente à i_2 e i_3 . Em seguida calcule a corrente através do amperímetro.

Questão 3 – Leia as afirmações de dois estudantes sobre a corrente em dois circuitos, o primeiro com uma única lâmpada (a) e o outro com duas em paralelo (b). Assinale a mais adequada às observações experimentais e definições já estabelecidas.



(a)

1º Estudante – A corrente através da bateria em cada circuito é a mesma. No circuito (b), a corrente da bateria é dividida entre as duas lâmpadas – de modo que cada lâmpada possui metade da corrente que a lâmpada no circuito (a) tem através dela.



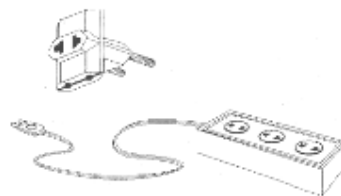
(b)

2º Estudante – Sabemos que a corrente através de cada lâmpada no circuito (b) é a mesma da lâmpada no circuito (a). Deduzimos isso pois as lâmpadas têm aproximadamente o mesmo brilho. Portanto, o fluxo através da bateria no circuito (b) é maior do que aquele através da bateria no circuito (a).

Leia o texto abaixo e responda ao que se pede

Mais de um aparelho numa tomada e extensões

O uso do "benjamim" ou adaptador para diversos plugues de modo a permitir a ligação de mais de um aparelho numa mesma tomada é generalizado em nosso país. Na figura temos alguns tipos comuns de "benjamins" e extensões encontrados em supermercados, casas de material elétrico, etc..



Entretanto, a maneira como tais dispositivos têm sido usados não pode ser considerada das mais apropriadas, pois normalmente não existe critério algum com o que vai ser conectado, o que pode causar a instalação de muitos aparelhos em um único adaptador. O resultado é a sobrecarga, perigo de curtos, deformações pelo superaquecimento e até o funcionamento anormal.

O uso do benjamim deve ser feito com critério, de modo a não superar a capacidade de fornecimento de corrente da tomada em que ele será ligado. A soma das correntes em aparelhos ligados a esta tomada não deve ser superior à sua capacidade (normalmente em torno de 10 A).

Texto 5.1: Mais de um aparelho numa tomada e extensões.

Fonte: Newton C. Braga (2010)⁴. Adaptado

Questão 1 – Ao conectar mais de um aparelho em um “benjamim” ou extensão eles se conectam em paralelo um ao outro, similarmente ao motorzinho e lâmpada no exemplo anterior. Portanto, assim como no amperímetro do exemplo, a corrente total que circula nos pinos/fios dos adaptadores e na tomada é a soma da corrente elétrica em cada aparelho neles ligados.

APARELHO	CORRENTE ELÉTRICA
liquidificador	4,5 A
espremedor de frutas	0,5 A
sandueira	7,0 A
cafeteira	4,5 A
multiprocessador de alimentos	6,5 A
batedeira	2,5 A

Fonte: Autoria própria⁵

Numa bancada de cozinha existe apenas uma única tomada com um “benjamim”; ambos suportam uma corrente máxima de 10 A. Dos equipamentos listados na tabela ao lado quais podem ser utilizados de forma segura e simultaneamente nessa instalação? (faça ao menos duas combinações)

⁴ Texto completo disponível em: <<https://www.newtonbraga.com.br/index.php/ideias-dicas-e-informacoes-uteis/264-eletrica/2644-el029>>

⁵ Valores de corrente elétrica próximos aos calculados a partir da potência indicada nos aparelhos e na tensão eficaz da rede elétrica local.

Atividade 6 – Sapos, pilhas e baterias?

Leia o texto abaixo e responda ao que se pede

Os experimentos de Galvani e a eletricidade animal

No início da década de 1780, Galvani dedicou esforços a desenvolver experimentos que o auxiliassem a investigar a estimulação de nervos e músculos [...] e destacou ter observado que rãs penduradas em um terraço a céu aberto em grades de metal por ganchos de ferro acoplados às suas medulas espinhais sofriam contração muscular. Essas contrações ocorriam não apenas durante tempestades, mas também em condições meteorológicas mais estáveis. Para explorar esses resultados, ele desenvolveu experiências dentro de sua sala. Em uma dessas experiências, colocou uma rã em um prato de metal e pressionou um gancho de ferro contra ela, observando contração muscular. Verificou que ao colocar um isolante elétrico entre o nervo e o músculo, a contração não mais ocorria [...]. Porém, em outubro de 1786, Galvani [...] escreveu que seus estudos o levaram a acreditar que os efeitos observados estariam relacionados aos animais e não aos metais [...]. Em resumo, as principais conclusões apresentadas por Galvani em [...] 1792 apontavam que a contração observada com as rãs ocorria quando um músculo era interligado ao nervo correspondente, através de arcos formados por condutores elétricos e que o efeito era mais forte se esses condutores fossem de materiais distintos [...]. Análises experimentais de Galvani foram constantemente usadas por ele para sustentar a tese da existência de um fluido animal, diferente da eletricidade ordinária, a denominada eletricidade animal.



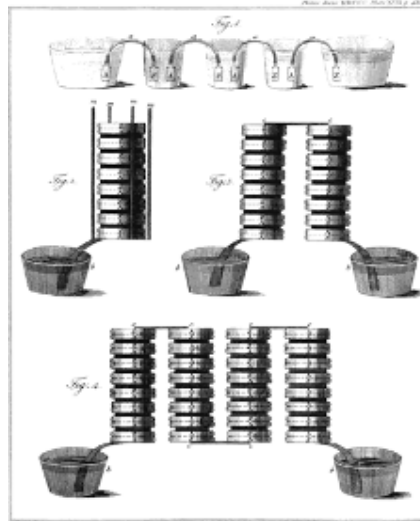
Alessandro Volta e a eletricidade animal

Após as publicações de Luigi Galvani acerca dos experimentos com rãs, no início da década de 1790, Volta desenvolveu trabalhos a partir de réplicas desses experimentos e seguiu as conclusões do anatomista italiano ao considerar que os corpos das rãs produziam um tipo especial de eletricidade. No entanto, ao longo da condução dos experimentos com rãs direcionou seu foco para os metais usados no arco condutor, uma vez que o efeito era mais intenso quando os metais que formavam o arco eram de materiais diferentes. Em maio de 1793, Volta escreveu uma carta a um membro da Royal Society de Londres na qual afirmou que os efeitos elétricos observados por Galvani não poderiam ter outra causa senão a eletricidade ordinária e que nervos e tecidos teriam apenas um papel passivo de conduzi-la. Confrontar essas conclusões com os experimentos realizados gerava um problema, pois, naquele contexto, não havia nenhum aparato (além dos tecidos vivos) capaz de medir pequenas intensidades de efeitos elétricos [...]. Volta se dedicou a esse problema e, em 1796, desenvolveu um condensador sensível aos efeitos de um par metálico [...]

Com esse instrumento, Volta detectou efeitos elétricos provenientes de pares prata-zinco conectados por um condutor úmido. [...] A partir dessas informações, alguns historiadores inferem que Volta acreditou que a discussão acerca da natureza da “eletricidade animal” terminara e que suas hipóteses haviam sido comprovadas. [...]

Com vistas a melhorar as observações pretendidas, Volta se utilizou de vários pares de prata e zinco conectados em série, o que, a princípio, não o levou a maiores efeitos do que os obtidos com um único par. Apesar do aparente insucesso, ele não abandonou a ideia de empilhar pares de prata e zinco [...]. Após reformular seus estudos e tomar conhecimento de outros trabalhos sobre instrumentos científicos [...], ele desenvolveu outro arranjo baseado em copos de água salgada, interligados por condutores metálicos, que, segundo ele, era capaz de gerar efeitos elétricos contínuos.

Em 20 de março de 1800, Volta enviou para o então presidente da Royal Society, Joseph Banks (1743-1820), uma carta em francês que seria a primeira das duas partes sobre seus estudos iniciais com a bateria, que viria a ser conhecida como pilha de Volta [...]. Esta foi largamente acolhida por muitos cientistas e leigos, que se apropriaram do aparato, sem necessariamente discutirem a causa pela qual era gerado o efeito elétrico.



Texto 6.1: Os experimentos de Galvani e a eletricidade animal

Fonte: Jardim e Guerra (2018). Texto Adaptado

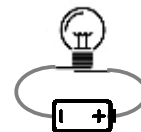
Questão 1 – Quanto à fonte dos efeitos elétricos observados pela contração muscular da rã, qual era a divergência entre Galvani e Volta?

Questão 2 – Qual a dificuldade experimental enfrentada por Volta para confrontar a “eletricidade animal” de Galvani? E como ele a solucionou?

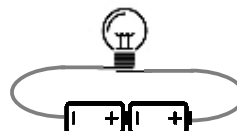
Experiência 1

Construa um circuito contendo pilhas, uma lâmpada enroscada no soquete e cabos para as conexões.

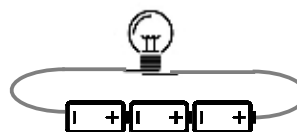
I. Conecte uma pilha aos outros componentes e observe o brilho emitido.



II. Conecte uma segunda pilha em série com a primeira e observe o brilho emitido.



III. Conecte uma terceira pilha em série com as duas primeiras e observe o brilho emitido.



Questão 1 – O que ocorre com o brilho da lâmpada quando pilhas são adicionadas ao circuito?

Questão 2 – Como o acréscimo de pilhas no circuito altera a corrente?

Definição 6 - Tensão

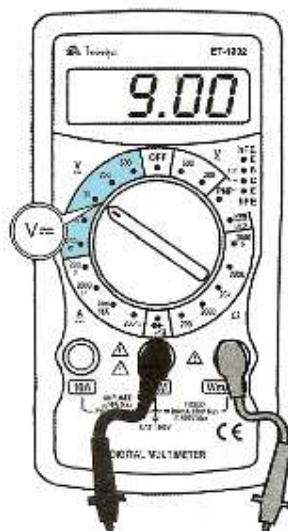
A *tensão* indica a capacidade de uma pilha ou bateria de transformar energia química em energia elétrica fornecida a um circuito quando uma determinada corrente elétrica é nele estabelecida. Pilhas / baterias têm um valor de tensão praticamente constante, o que implica numa relação entre a taxa de transformação de energia e a corrente; neste caso, quanto maior a corrente através da pilha / bateria, maior a taxa de transformação de energia química em energia elétrica.

Obs.: embora haja uma relação entre a intensidade corrente estabelecida e a quantidade de energia dispensada no circuito, essas duas grandezas não são iguais.

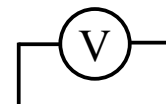
O instrumento utilizado para medir a tensão através de uma pilha ou bateria é denominado *voltímetro*. As medidas de tensão são expressas em *volts* (V), unidade intitulada em homenagem a Alessandro Volta. Um voltímetro deve possuir uma resistência interna tão elevada que, quando conectado aos terminais de uma pilha ou bateria, não permita a circulação de corrente elétrica através dele.



(a)



(b)



(c)

Figura 6.1: Voltímetro. Fonte: Autoria própria⁶

⁶ Imagem (b) é uma digitalização adaptada do manual de instrução do multímetro digital Modelo ET-1002 da marca Minipa

Experiência 2

I - Posicione a chave rotativa do multímetro na posição 20 V, conecte o pino banana do cabo preto na posição central (COM) e o vermelho à direita (V/mA/ Ω). Pressione as ponteiros contra os terminais da pilha.

Questão 1 – Compare a tensão medida por você com a que é expressa no corpo da pilha. Elas são iguais, aproximadas, ou muito diferentes?

Questão 2 – Preveja qual tensão será medida no voltímetro com duas pilhas idênticas as anteriores conectadas em série.

II – Mantenha a configuração do multímetro e meça a tensão através de duas pilhas em série.

Questão 3 – Compare a tensão medida por você com a previsão realizada na questão anterior.

III – Mantenha a configuração do multímetro e meça a tensão da célula fotovoltaica.

Questão 4 – Compare a tensão medida da placa quando exposta diretamente à luz solar com a obtida quando na sombra.

IV – Mantenha a configuração do multímetro e meça a tensão através do gerador.

Questão 5 – O que pode ser feito no gerador para que sejam obtidos valores maiores de tensão?

Questão 6 – O que pode ser feito no gerador para inverter o sinal da tensão medida?

O voltímetro não mede apenas a tensão entre os terminais de pilhas e bateria; se for conectado aos terminais de qualquer componente do circuito que é percorrido por uma corrente ele também indicará um valor em volts. Esta grandeza é denominada de diferença de potencial (na forma abreviada d.d.p.) ou queda de tensão, e é representada pela letra U .

Definição 7 - Diferença de potencial (d.d.p.) ou queda de tensão

Grandeza que indica a capacidade de um componente do circuito, quando percorrido por uma determinada corrente, transformar energia elétrica em outra forma de energia.

Experiência 3

Posicione a chave rotativa do multímetro na posição 20 V, conecte o pino banana do cabo preto na posição central (COM) e o vermelho à direita (V/mA/Ω), conforme indicado na Figura 6.2. Em seguida, construa um circuito simples formado por uma pilha, uma lâmpada enroscada no soquete e dois fios para as conexões, como indicado na Figura 6.3.



Figura 6.2: Detalhe do multímetro ajustado como voltímetro

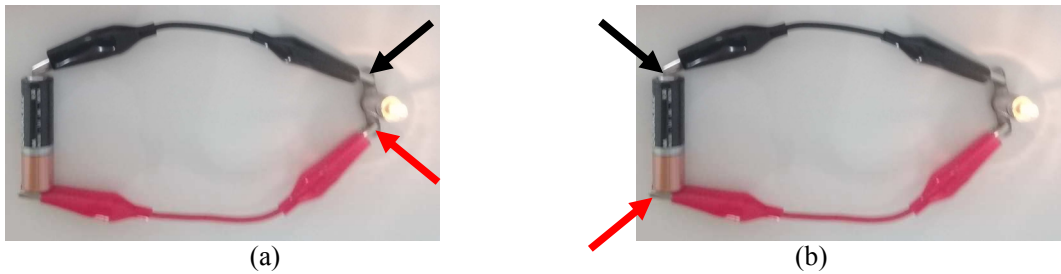


Figura 6.3: Montagens para a Experiência

Com a corrente elétrica estabelecida, evidenciada pelo brilho da lâmpada, posicione as ponteiros do multímetro nos pontos numerados para medir a queda de tensão entre eles. Caso seja observada uma indicação negativa no multímetro inverta as posições das ponteiros.

Questão 1 – Registre nas lacunas abaixo as medidas de d.d.p. realizadas entre os pontos:

a) 1 e 2: $U = \underline{\hspace{2cm}}$ V

b) 2 e 3: $U = \underline{\hspace{2cm}}$ V

c) 3 e 4: $U = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Questão 2 – Qual a queda de tensão ocorrida nos fios de conexão? Conseqüentemente, qual a taxa de transformação de energia elétrica nesses componentes?

Questão 3 – Qual a queda de tensão ocorrida na lâmpada?

Questão 4 – Com o circuito montado e corrente elétrica estabelecida, meça a tensão da pilha (ponteiros na posições 1 e 4) e compare com a queda de tensão na lâmpada.

Trabalho de casa 6 – Pilhas e mais pilhas

Volta verificou que o efeito elétrico observado por Galvani nos experimentos com as rãs era gerado pelo par metálico, conectado por meio de um condutor úmido, que poderia ser uma cortiça umedecida com água salgada, os tecidos de uma rã, ou até

mesmo um limão, como nas fotos da Figura 6.4.. Foram fincados no limão um fio de cobre e um arame galvanizado (aço revestido com uma camada de zinco), ambos com 10 cm de comprimento. Em seguida, um outro limão com os mesmos materiais fincados foi conectado em série (arame com fio), e depois um terceiro. Para medir a tensão através desta “bateria” foi utilizado um multímetro regulado para operar como voltímetro na escala de até 20 V.

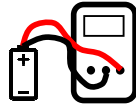


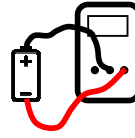
Figura 6.4: Baterias com limões

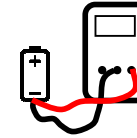
Questão 1 - Estime quantos limões devem ser conectados a esta “bateria” para se obter uma medida próxima da tensão de um carregador de celular (5V).

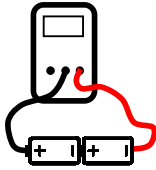
Questão 2 – Considerando que a tensão nominal das pilhas abaixo seja de 1,5 V, qual deve ser o valor indicado pelo voltímetro em cada caso?

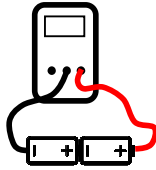


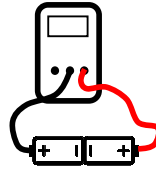


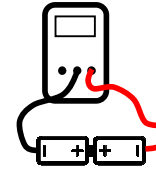




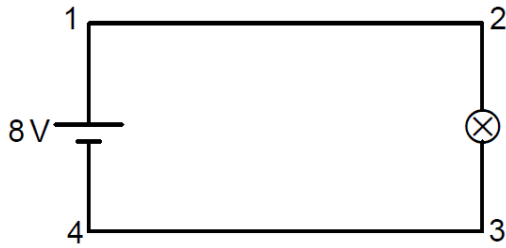








Questão 3 – Observe o circuito abaixo:



Coloque o valores de d.d.p. entre o pontos

1 e 2: $U = \underline{\hspace{2cm}}$ V

2 e 3: $U = \underline{\hspace{2cm}}$ V

3 e 4: $U = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Atividade 7 - Potência

Leia o texto abaixo e responda ao que se pede.

Venda de lâmpadas incandescentes está proibida no país a partir de hoje

O modelo deve ser substituído por versões mais econômicas, como as de LED

Publicado em 30/06/2016

A partir de hoje (30), está proibida a venda de lâmpadas incandescentes no Brasil. O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) começa a fiscalizar amanhã (1º), por meio dos Institutos de Pesos e Medidas (Ipem) estaduais, estabelecimentos comerciais que ainda tenham à disposição lâmpadas incandescentes com potência de 41 watts (W) até 60W. Quem não atender à legislação poderá ser multado entre R\$100 e R\$1,5 milhão.

A restrição foi estabelecida pela Portaria Interministerial 1.007/2010, com o objetivo de minimizar o desperdício no consumo de energia elétrica. Uma lâmpada fluorescente compacta economiza 75% em comparação a uma lâmpada incandescente de luminosidade equivalente. Se a opção for por uma lâmpada de LED, essa economia sobe para 85%.

A troca das lâmpadas incandescentes no Brasil começou em 2012, com a proibição da venda de lâmpadas com mais de 150W. Em 2013, houve a eliminação das lâmpadas de potência entre 60W e 100W. Em 2014, foi a vez das lâmpadas de 40W a 60W. Este ano, começou a ser proibida também a produção e importação de lâmpadas incandescentes de 25W a 40W, cuja fiscalização ocorrerá em 2017.

Fiscalização - Segundo o responsável pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro, engenheiro Marcos Borges, a fiscalização tem caráter educativo, porque os comerciantes foram orientados sobre a proibição desde o ano passado. “Por isso, entendemos que o impacto não é brusco para os comerciantes, porque eles já vêm sendo instruídos nesse sentido desde a assinatura da portaria, em 2010.”

Borges informou que, desde o apagão de 2001, o Inmetro desenvolve um programa de educação do consumidor brasileiro, no qual mostra que as lâmpadas incandescentes duram menos e consomem muito mais energia do que, por exemplo, a lâmpada fluorescente compacta. “Ficou claro para o consumidor que a lâmpada fluorescente compacta era muito mais econômica que a incandescente.”

Economia - Ele citou, como exemplo, o caso de uma casa com dois quartos que usaria em todos os cômodos lâmpadas incandescentes de 60W. “Elas gerariam valor em um mês de R\$ 20 a R\$ 25 para iluminar a casa. Ao trocar por uma lâmpada equivalente fluorescente compacta, essa conta cairia para R\$ 4 ou R\$ 5 em apenas um mês. O consumidor entendeu isso e, ao longo do tempo, já vai deixando de usar esse material.”

Números do Inmetro mostram que, em 2010, 70% dos lares brasileiros eram iluminados pelas incandescentes. Agora, somente 30% das residências usam esse tipo de lâmpada, que não podem mais ser comercializadas no Brasil, seguindo recomendação da Agência Internacional de Energia (AIE).

Texto 7.1: Venda de lâmpadas incandescentes está proibida no país a partir de hoje.

Fonte: Agência Brasil (2016).⁷

⁷ GANDRA, Alana. Venda de lâmpadas incandescentes está proibida no país a partir de hoje. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro 30 de jun. de 2016. Disponível em <<https://agenciabrasil.etc.com.br/geral/noticia/2016-06/inmetro-inicia-fiscalizacao-no-varejo-de-lampadas-incandescentes-de-41-w-60-w>>. Acesso em março de 2020.

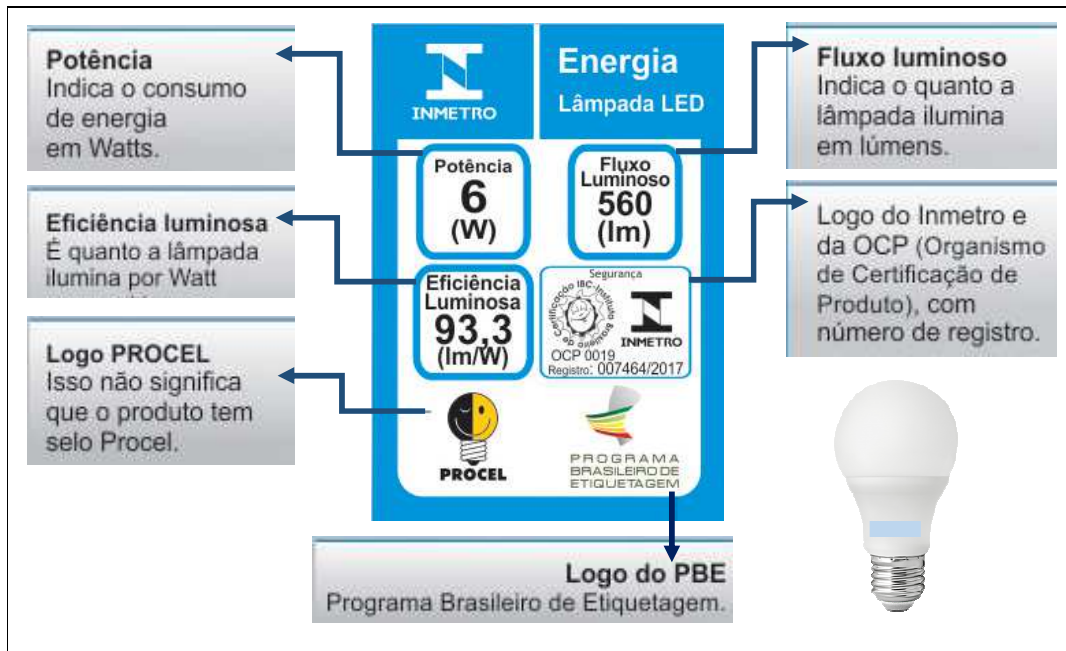
Questão 1 – Qual o motivo da restrição da venda de lâmpadas incandescentes com potência superior a 40W?

Questão 2 – Deseja-se substituir uma lâmpada incandescente comum de 50W de potência por uma de LED de luminosidade equivalente. Considerando o percentual de economia nesta troca, qual deve ser a potência da lâmpada LED a ser adquirida?

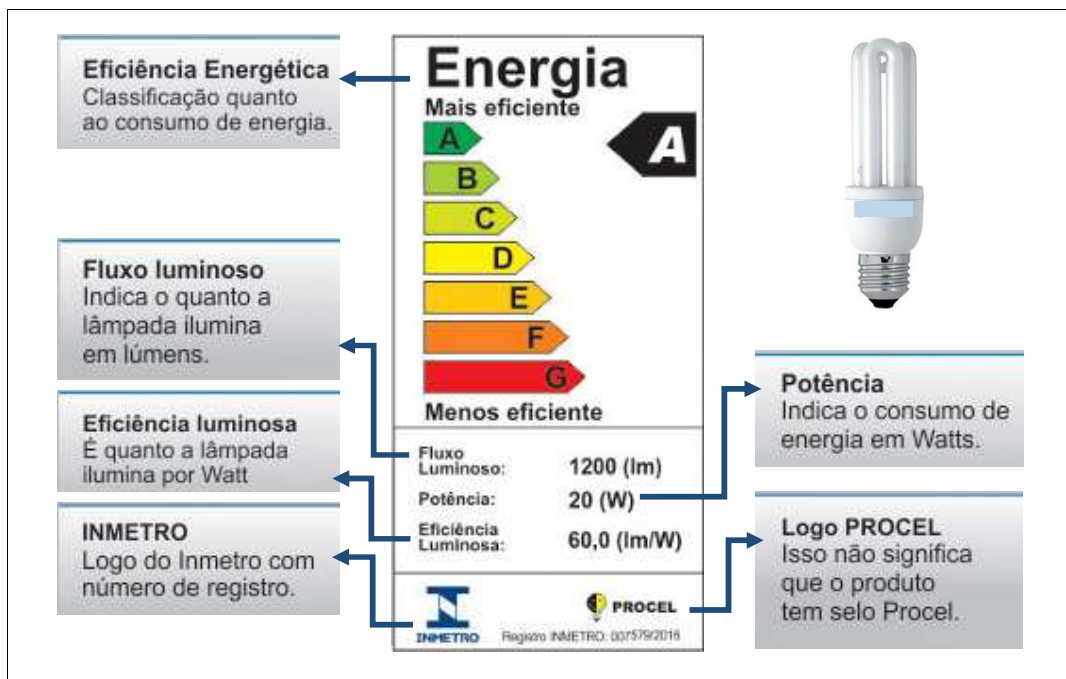
Definição 8 - Potência elétrica

A potência elétrica corresponde à taxa de “consumo” de energia elétrica de um equipamento por unidade de tempo durante seu funcionamento, ou seja, quando ele é percorrido por uma corrente elétrica. Por exemplo, uma lâmpada incandescente que tem potência de 60 W “consome” três vezes mais energia elétrica do que uma fluorescente compacta de 20 W, quando ambas permanecem acesas durante um mesmo intervalo de tempo.

Leia os Textos abaixo e responda ao que se pede.

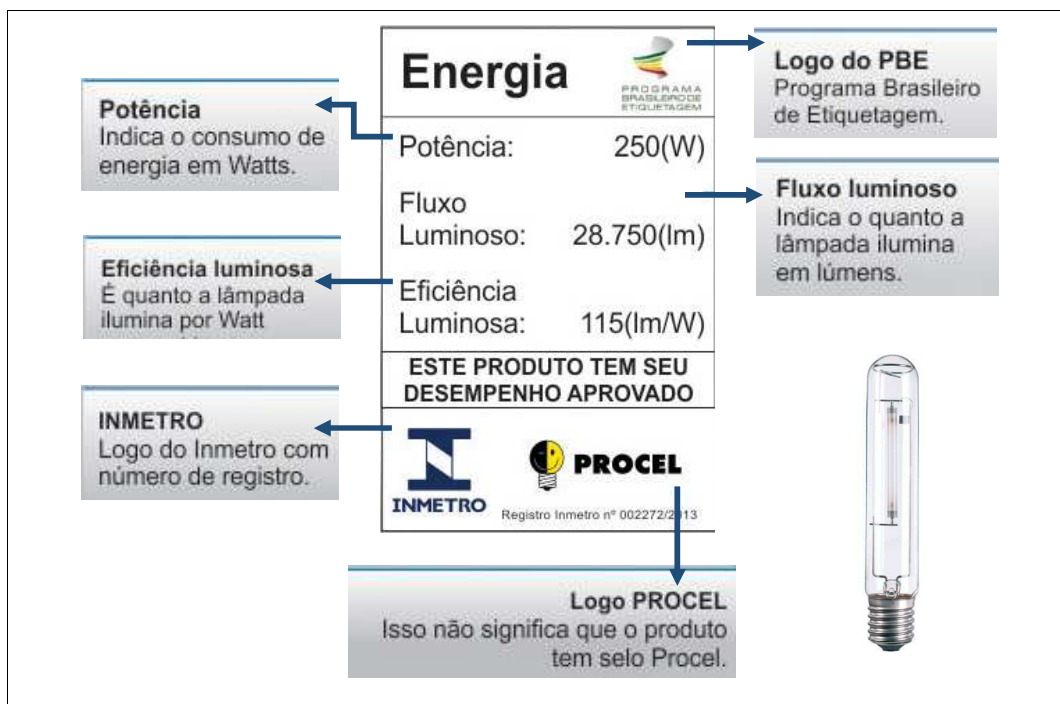


Texto 7.2: Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCE) de uma lâmpada LED.
Fonte: Blog da Kian⁸



Texto 7.3: ENCE de uma lâmpada fluorescente compacta (LFC).
Fonte: Blog da Kian

⁸ Disponível em: <<https://www.kian.com.br/blog/item/35-ence-x-procel>> Acesso em março de 2020



Texto 7.4: ENCE de uma lâmpada vapor de sódio
 Fonte: Blog da Kian

Questão 3 – Complete quadro abaixo com as informações contidas nas etiquetas.

Tipo de lâmpada	Potência em watts	Fluxo luminoso em lúmens	Eficiência luminosa em lúmens por watts

Questão 4 – Indique que lâmpada, quando em funcionamento, “consome” a menor quantidade de energia por unidade de tempo.

Questão 5 – Qual das três lâmpadas é a mais apropriada para iluminar grandes áreas públicas? Justifique sua resposta.

Trabalho de casa 7 – Relação entre potência, tensão e corrente.

Equação 1 - Potência de um equipamento elétrico.

A potência desenvolvida por um equipamento elétrico que impõe uma queda de tensão através de seus terminais, quando percorrido por uma corrente, pode ser expressa pela fórmula:

$$\text{Potência} = \text{queda de tensão} \times \text{corrente}$$

ou

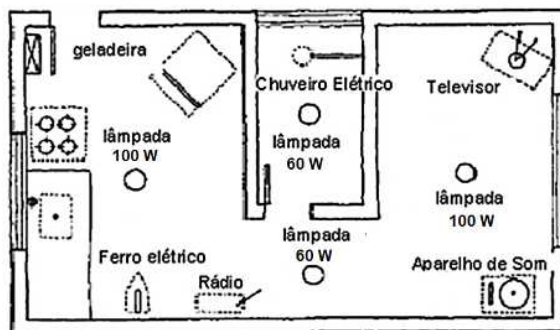
$$P = U \times i$$

Leia o texto abaixo e responda ao que se pede

A instalação elétrica de uma casa envolve várias etapas, desde a alocação dos dispositivos, instrumentos e aparelhos elétricos, até a escolha dos materiais que a compõem, passando pelo dimensionamento da potência requerida, da fiação necessária, dos eletrodutos, entre outras. Para cada aparelho elétrico existe um valor de potência associado. Valores típicos de potências para alguns aparelhos elétricos são apresentados no quadro seguinte:

Aparelho	Potência (em watts)
Aparelho de som	120
Chuveiro elétrico	3000
Ferro elétrico	500
Televisor	200
Geladeira	200
Rádio	50

A planta baixa fornecida indica a disposições desses aparelhos elétricos em uma residência conectada à rede elétrica de 110 V, além das lâmpadas com os valores de potência.



Texto 7.5: Aparelhos elétricos em uma residência. **Fonte:** Adaptado da questão 19 da prova do ENEM de 2009⁹, caderno azul.

⁹ Disponível em:

http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/provas/2009/dia1_caderno1_azul.pdf. Acesso em março de 2020

Questão 1 – Considerando as informações contidas no Texto 7.5, calcule a intensidade de corrente elétrica de cada aparelho listado e complete adequadamente o quadro abaixo.

Aparelho	Potência (em watts)	Corrente (em amperes)
Aparelho de som		
Chuveiro elétrico		
Ferro elétrico		
Televisor		
Geladeira		
Rádio		
Lâmpadas (todas acessas)		

Questão 2 – Considerando todos os aparelhos em funcionamento, inclusive as lâmpadas, qual a potência total em watts desta residência?

Leia o texto abaixo e responda ao que se pede.

Os disjuntores são dispositivos que se destinam à proteção de um circuito contra excesso de corrente, como o que ocorre no caso de um curto-circuito. Ligados em série com o circuito ou dispositivo que devem proteger, eles “abrem” o circuito no caso de a corrente superar um determinado valor, para o qual é especificado. Os disjuntores são utilizados principalmente em instalações elétricas domiciliares, comerciais e industriais, mas não em veículos, onde prefere-se o fusível. Os tipos mais comuns são os térmicos onde uma lâmina bimetálica se deforma com o aquecimento provocado pela corrente, provocando o desarme do dispositivo e conseqüente interrupção do circuito.



Figura 7.1: Disjuntores. Fonte: Newton C. Braga¹⁰

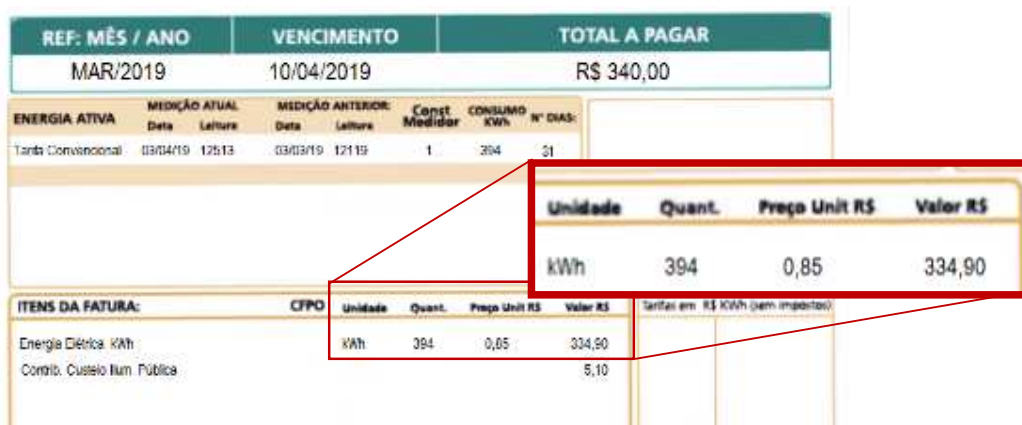
Questão 3 – Um eletricitista deseja instalar um disjuntor geral para proteger o circuito desta residência. Dada a tensão da rede elétrica e a potência máxima, ou seja, com todos os aparelhos e lâmpadas em funcionamento; e que ele disponha de disjuntores com as seguintes intensidades máximas de corrente elétrica: 20 A, 30 A, 40 A e 50 A.

Qual dos disjuntores é o mais adequado para esta instalação? Justifique sua resposta.

¹⁰ Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/861-disjuntor.html>. Acesso em março de 2020

Atividade 8 – O que é cobrado na “conta de luz”?

O modelo de corrente elétrica indica que existe um ciclo – algo que se estabelece entre a pilha, o circuito e a bateria. A corrente não é consumida nos componentes do circuito, entretanto, existem evidências de que algo é fornecido pela pilha e se esgota conforme o circuito permanece em funcionamento: a luz e o calor emitido pela lâmpada, o movimento do motorzinho, o som produzido no *buzzer*, além do próprio esgotamento da pilha. Esta quantidade “consumida” é denominada *energia potencial elétrica*, ou apenas, *energia elétrica*.



REF. MÊS / ANO	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR
MAR/2019	10/04/2019	R\$ 340,00

ENERGIA ATIVA	MEDIDAÇÃO ATUAL	MEDIDAÇÃO ANTERIOR	Const. Medidor	CONSUMO KWh	Nº DIAS
	Data	Data			
Tarifa Convencional	03/04/19 12513	03/03/19 12119	1	394	31

Unidade	Quant.	Preço Unit R\$	Valor R\$
kWh	394	0,85	334,90

ITENS DA FATURA:	CFPO	Unidade	Quant.	Preço Unit R\$	Valor R\$	Tarifas em R\$ kWh (sem impostos)
Energia Elétrica kWh		kWh	394	0,85	334,90	
Contrib. Custeio Ilum. Pública					5,10	

Figura 8.1: Fragmento de uma conta de energia elétrica
Fonte: Captura de tela de vídeo instucional da Light¹¹

Definição 9 – Conservação de energia elétrica em circuitos

Em um circuito a energia é sempre conservada. A quantidade total de energia elétrica transformada em outros tipos de energia pelos componentes do circuito (por exemplo, em luz e calor pela lâmpada, em movimento pelo motor ou em som pelo *buzzer*) é a mesma que é lançada no circuito pelas fontes de tensão, a partir da transformação de uma forma de energia (por exemplo, da energia química na pilhas, da energia luminosa na célula fotovoltaica, da energia do movimento no gerador).

Portanto, não se pode considerar que corrente elétrica e energia elétrica são grandezas físicas sinônimas. Enquanto a corrente não é consumida no circuito, a energia elétrica é “consumida”, ou melhor, transformada em outras formas de energia em cada componente do circuito. No caso dos eletrodomésticos de uma residência, o “consumo” de energia elétrica é registrado pela companhia distribuidora e cobrado na popularmente denominada “conta de luz”.

¹¹ Vídeo disponível em <https://www.facebook.com/lightclientes/videos/504829319995171/>

Classificando os eletrodomésticos quanto à transformação de energia

TRANSFORMA ENERGIA ELÉTRICA EM ...

... ENERGIA SONORA E ENERGIA LUMINOSA (IMAGEM)



... ENERGIA LUMINOSA



... ENERGIA MECÂNICA (MOVIMENTO)



... ENERGIA TÉRMICA (AQUECIMENTO)



... ENERGIA TÉRMICA (REFRIGERAÇÃO)



Equação 2 – Quantidade de energia elétrica “consumida”

A quantidade de energia elétrica transformada por um aparelho elétrico em outra forma de energia é determinada por sua potência e pelo tempo que permanece em funcionamento.

$$\text{Energia} = \text{potência} \times \text{tempo}$$


ou

$$E = P \times t$$

A unidade usual para quantidade de energia elétrica é o quilowatt-hora (kWh), obtido pelo produto de 1 quilowatt (kW), equivalente a 1000 watts, por uma hora.

Exemplo 1 – “Consumo” e custo mensal de energia elétrica de alguns eletrodomésticos.

Ventilador de mesa de 80 watts funcionando 6 horas por dia



$$80 \text{ watts} \times 6 \text{ horas/dia} = 480 \text{ watts-hora/dia}$$

$$480 \text{ watts-hora/dia} \times 30 \text{ dias} = 14.400 \text{ watts-hora}$$

$$\frac{14.400 \text{ watts-hora}}{1.000} = 14,4 \text{ quilowatts-hora (kWh)}$$

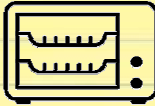
$$14,4 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,85/\text{kWh} = \text{R\$ } 12,24$$

Questão 1 – Complete os cálculos de “consumo” mensal de energia elétrica, em quilowatts-hora, e o respectivo custo em reais.

Forno elétrico de 1600 watts ligado por 2 horas, duas vezes por semana.

$$1600 \text{ watts} \times (2 \times 2) \text{ horas/semana} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ watts-hora/semana}$$

$$\underline{\hspace{2cm}} \text{ watts-hora/semana} \times 4 \text{ semanas} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ watts-hora}$$

$$\frac{\underline{\hspace{2cm}} \text{ watts-hora}}{1.000} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ quilowatts-hora (kWh)}$$



$$\underline{\hspace{2cm}} \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,85/\text{kWh} = \text{R\$ } \underline{\hspace{2cm}}$$

Questão 2 – Qual dos dois equipamentos, ventilador ou forno elétrico, tem maior impacto no custo mensal da conta de energia elétrica? Proponha uma mudança na rotina de utilização de um, ou dos dois equipamentos, para reduzir o “consumo” de energia elétrica.

Exercício 1 – Troca de lâmpadas

Numa residência há seis lâmpadas fluorescentes compactas que permanecem acesas três horas por dia, em média. Com o objetivo de economizar na conta de energia elétrica, os moradores pretendem realizar a troca dessas lâmpadas pela mesma quantidade de lâmpadas do tipo LED, mais eficientes, sem modificar os padrões de utilização.


Observe a estimativa do “consumo”, diário e mensal, de energia elétrica das lâmpadas fluorescentes, como também do custo mensal em reais.



6 lâmpadas fluorescente de 20 watts acesas por 3 horas por dia, em média.

$$6 \times 20 \text{ watts} \times 3 \text{ horas/dia} = 360 \text{ watts-hora/dia}$$
$$360 \text{ watts-hora/dia} \times 30 \text{ dias} = 10.800 \text{ watts-hora}$$
$$\frac{10.800 \text{ watts-hora}}{1.000} = 10,8 \text{ quilowatts-hora (kWh)}$$
$$10,8 \text{ kWh} \times \text{R\$ } 0,85/\text{kWh} = \text{R\$ } 9,18$$

6 lâmpadas LED de 12 watts acesas por 3 horas por dia, em média.



Questão 4 – Estime o “consumo” mensal, em quilowatts-hora, das seis lâmpadas LED’s de 12 watts acesas pela mesma quantidade diária de horas.

Questão 5 – Estime o custo mensal, em reais, de utilização dessas lâmpadas de LED com a tarifa de R\$ 0,85 por cada kilowatt-hora.

Trabalho de casa 8 – Quem é o vilão da conta?

Com o objetivo de economizar na conta de luz a família de Juliana decidiu reduzir a utilização de alguns eletrodomésticos. Como acabara de aprender nas aulas de ciência a calcular do consumo dos aparelhos, ela verificou a potência ou consumo de alguns suspeitos e o tempo de uso de cada um deles. Observe os dados obtidos.



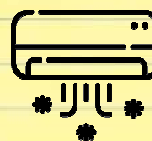
Lavadora de roupas e secadora automática – 0,25 kWh por lavagem
Uma lavagem por dia, todos os dias.

Ferro de passar roupas – 1200 W.
30 minutos (0,5 horas) a cada dois dias.



Chuveiro elétrico na posição verão – 2.400 W
3 pessoas tomam 2 banhos aquecidos, de 15 minutos cada, por dia.

Condicionador de ar 9.000 Btu/h – 855 W
Funcionando 8 horas por dia, todos os dias.



Questão 1 – A partir dos dados obtidos por Juliana, estime a quantidade mensal de energia “consumida” por cada aparelho, em quilowatts-hora.

Lavadora de roupas



_____ kWh

Ferro de passar roupas



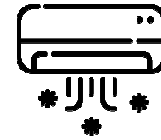
_____ kWh

Chuveiro elétrico



_____ kWh

Condicionador de ar



_____ kWh

Questão 2 – Estime o custo mensal com energia elétrica de cada um dos equipamentos, com base no “consumo” calculado na questão anterior e no valor unitário de R\$ 0,85 para cada quilowatt-hora.

Lavadora de roupas



R\$ _____

Ferro de passar roupas



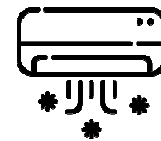
R\$ _____

Chuveiro elétrico



R\$ _____

Condicionador de ar



R\$ _____

Questão 3 – Proponha uma mudança de hábito, quanto a utilização de um ou mais desses equipamentos, que totalize uma economia de pelo menos R\$ 40,00 por mês. Não descarte a utilização de nenhum dos equipamentos. Justifique sua escolha a partir do cálculo do “consumo” economizado com o novo hábito.

(Por exemplo, você pode reduzir o tempo de funcionamento, utilizar em menos dias por mês ou qualquer outras ações que economize energia elétrica, exceto não utilizar algum deles.)
