



RAFAEL SALVALAGIO MARTINS

**CONDUZ OU NÃO CONDUZ? UMA FORMA LÚDICA DE INCENTIVAR O
PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA ELETRODINÂMICA**

Maringá – PR
Julho – 2021



CONDUZ OU NÃO CONDUZ? UMA FORMA LÚDICA DE INCENTIVAR O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA ELETRODINÂMICA

RAFAEL SALVALAGIO MARTINS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai

MARINGÁ – PR
Julho, 2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

M386c

Martins, Rafael Salvalagio

Conduz ou não conduz? uma forma lúdica de incentivar o processo ensino-aprendizagem da eletrodinâmica / Rafael Salvalagio Martins. -- Maringá, PR, 2021. xiv, 207 f.: il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), 2021.

1. Física - Ensino e aprendizagem. 2. Eletrodinâmica. 3. Ensino de física - Jogos lúdicos. 4. Circuito elétricos. I. Mukai, Hatsumi, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). III. Título.

CDD 23.ed. 530.07

Sintique Raquel Eleutério - CRB 9/1641

CONDUZ OU NÃO CONDUZ? UMA FORMA LÚDICA DE INCENTIVAR O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA ELETRODINÂMICA

RAFAEL SALVALAGIO MARTINS

Orientadora: Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Profa. Dra. Hatsumi Mukai
DFI/UEM

Prof. Dr. Rodolfo Teixeira de Souza
UTFPR - Apucarana

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes
DFI/UEM

Maringá - PR
Julho, 2021

Dedico esta dissertação à
minha companheira e
amada esposa, Nathalia
Mateus Lucas, e aos meus
filhos, Julia e Arthur.

Agradecimentos

- Agradeço a Deus;
- À minha orientadora, professora Dra. Hatsumi Mukai, pela orientação, dedicação e por todos os ensinamentos transmitidos bem como pelos seus trabalhos como coordenadora e atualmente como coordenadora adjunta do MNPEF/UEM;
- À diretora, Irmã Maria Nazareth Gomes da Silva que permitiu e apoiou a aplicação do Produto Educacional, que é o coração desta dissertação, e aos alunos do Colégio São Francisco de Assis, pela participação no mesmo;
- A toda minha família, pelo apoio, em especial aos meus pais;
- À minha esposa, pela motivação e incentivo, por ser uma ouvinte assídua e compreensiva;
- Aos meus filhos, por me motivarem indiretamente na dedicação ao presente trabalho;
- Aos que contribuíram para minha formação e para a construção de quem eu sou;
- A todos os colegas, professores, coordenação do MNPEF e funcionários do DFI e da UEM que contribuem para o funcionamento dessa máquina universitária;
- Após a defesa, agradeço, pelas valiosas contribuições ao presente trabalho, aos membros titulares da banca bem como ao Prof. Dr. Otávio Augusto Capeloto (UFAM, campus Coari), que, mesmo como membro suplente, contribuiu ao presente trabalho, e me deu a honra de sua presença;
- À Sociedade Brasileira de Física (SBF) que oportunizou a oferta deste mestrado na UEM – Universidade Estadual de Maringá (Polo 20). Em especial, ao Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, que atuou como coordenador geral e é o acompanhante do polo UEM, e à Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paula, atual coordenadora geral do MNPEF;
- O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

CONDUZ OU NÃO CONDUZ? UMA FORMA LÚDICA DE INCENTIVAR O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA ELETRODINÂMICA

RAFAEL SALVALAGIO MARTINS

Orientadora

Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Entre os desafios vivenciados por professores de física, ao exercerem a atividade docência, está à busca de técnicas didáticas que tornem o processo ensino-aprendizagem mais atraente e funcional. Uma das formas mais citadas são as atividades experimentais. Por outro lado, os jogos que envolvem o conteúdo de física têm ganhado cada dia mais espaço e têm mostrado a sua eficiência. Assim, foi desenvolvido, como Produto Educacional (PE), coração do presente trabalho, um texto-didático pedagógico propondo explorar, em forma de um jogo, *quiz*, com a temática conduz ou não conduz, um aparato experimental contendo um circuito elétrico simples e, como amostras, elementos do cotidiano. Propiciando assim, aos estudantes, pensar e usar o senso comum para decidir se determinado material (amostra) é condutor ou não de eletricidade. Além disso, durante o jogo, o aluno pode ver experimentalmente se sua resposta está ou não correta e, com o auxílio do professor pode se apropriar dos conhecimentos que levam ao conceito físico envolvido e ainda desmitificar outros conceitos pré-existentes. A presente metodologia foi embasada na Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), de David Ausubel. O público alvo foram alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola da rede privada do município de Mandaguai-PR. Os resultados foram motivadores tanto para o docente, quanto para os alunos que participaram animadamente das aulas e mostraram ter compreendido o conteúdo, de forma satisfatória.

Palavras-chave: Ensino-aprendizagem, Eletrodinâmica, Jogo Lúdico (*quiz*), Circuito em Série.

Maringá - PR

Julho, 2021

ABSTRACT

CONDUCT OR NOT CONDUCT? A PLAYING WAY TO ENCOURAGE THE TEACHING-LEARNING PROCESS OF ELETRODYNAMICS

RAFAEL SALVALAGIO MARTINS

Supervisor

Profa. Dra. Hatsumi Mukai

Master's dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM (MNPEF/UEM), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Among the challenges experienced by Physics teachers when exercising teaching activity is the search for didactic teaching techniques that make the teaching-learning process more attractive and functional. One of the most cited forms is experimental activities. On the other hand, games involving physics content have been gaining more space every day and have shown their efficiency. Thus, was developed as an Educational Product (EP), the heart of the present work, proposing to explore in the form of a game, a quiz, with the theme, conduct or not conduct, an experimental apparatus containing a simple electrical circuit, and as samples of everyday elements. Thus, enabling students to think and use common sense to decide whether a certain material (sample) is conductive of electricity or not. Furthermore, since during the game the student can see experimentally if his answer is correct or not, with the help of the teacher he can appropriate the knowledge that lead to the physical concept involved, and also demystify other pre-existing concepts. The present methodology was based on David Ausubel's Theory of Meaningful Learning (TML). The target audience was 3rd grade high school students at a private school in the city of Mandaguaiçu – PR. Results were motivating for both the teacher, and the students who participated in the animated classes and showed that they had understood the content in a satisfactory way.

Keywords: Teaching-Learning, Electrodynamics, Playful Game (quiz), Series circuit

Maringá - PR
July, 2021

Sumário

Introdução	1
Capítulo 1 – Fundamentação Teórica	4
1.1 Teoria de Aprendizagem.....	4
1.2 Experimentação no Ensino da Física	7
1.3 Eletrodinâmica	9
1.3.1 Carga Elétrica	9
1.3.2 Campo Elétrico.....	14
1.3.3 Potencial Elétrico	16
1.3.4 Corrente Elétrica.....	19
1.3.5 Condutores e Isolantes.....	22
1.3.6 Materiais Condutores e os Efeitos da Corrente Elétrica.....	25
1.3.6.1 - Efeitos Fisiológicos.....	25
1.3.6.2 - Efeitos Térmicos	29
1.3.6.3- Efeitos Químicos.....	32
1.3.6.4- Efeitos Magnéticos.....	34
1.3.7 Circuitos Elétricos	36
1.3.7.1 - Lei de Ohm e Resistores.....	38
1.3.8 – Fontes de Energia Elétrica.....	41
Capítulo 2 – Produto Educacional e Aplicação.....	45
2.1 Metodologia	45
2.2 Aplicação do PE: descrição das atividades	47
2.2.1 - Aula 1 - Aplicação do Pré-teste (Questionário 1).....	47
2.2.2 - Aulas 2 e 3 - Campo Elétrico	48
2.2.3 - Aula 4 - Potencial Elétrico e Diferença de Potencial Elétrico	50
2.2.4 - Aula 5 - Condutores, Isolantes e Resistores.....	51
2.2.5 - Aulas 6 e 7 - Montagem Experimental e JOGO (<i>QUIZ</i>)	56
2.2.5.1 - Aparato Experimental – Circuito Elétrico	56
2.2.5.1 (a) - Materiais Utilizados.....	56
2.2.5.1 (b) - Montagem do Aparato Experimental	57
2.2.5.1 (c) - Procedimento Experimental.....	60
2.2.5.2 - JOGO – QUIZ: conduz ou não conduz?.....	61

2.2.5.2 (a) - Regras do jogo.....	62
2.2.5.2 (b) - Início do jogo	62
2.2.5.2 (c) - Final do jogo.....	74
2.2.6 - Aulas 8 e 9 -Esclarecimentos sobre os Resultados	75
2.2.7 - Aula 10 - Aplicação dos Questionários 1 e 2	75
Capítulo 3 – Resultados e Análises	77
3.1 Resultados e Análises do Pré-teste	77
3.2 Resultados e Análises das Respostas do Jogo	79
3.3 Resultados e Análises dos Questionários (após o jogo)	81
3.3.1 - Questionário 1	81
3.3.2 - Questionário 2.....	85
Considerações Finais.....	89
Referências Bibliográficas.....	92
Anexo A - Termo de Autorização	97
Anexo B – Amostragem de Respostas dos alunos.....	98
Apêndice A – Aparato Experimental “mini” – 12 V	114
Apêndice B– Produto Educacional.....	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Imagem de: (a) August Coulomb e (b) balança de torção (gravura das Memórias da Academia de Ciências, 1784). Em (c1) e (c2) representação do sentido da força na direção de \hat{r} , para duas cargas e para três cargas.

Figura 1.2– Cópia de tela do simulador PhET – Balões e Eletricidade Estática: (a) estado natural, os três corpos eletricamente neutros; (b) após atritar o balão na blusa, esse fica eletricamente negativo, a blusa, positiva e a parede continua neutra, e o balão é atraído pela blusa; em (c) repele as cargas negativas e atrai as positivas; e (d) colocando outro balão (neutro), esse fica parado.

Figura 1.3– Cópia de tela do simulador PhET – Balões e Eletricidade Estática: (a) estado natural, os quatro corpos eletricamente neutros; (b) após atritar os balões na blusa, em que o verde foi mais atritado do que o amarelo. As cargas na parede mudam a sua configuração, sendo as cargas negativas próximas ao balão verde mais repelidas do que as próximas ao balão amarelo.

Figura 1.4 – Imagens ilustrativas: (a) Carga de prova, q , na presença de um campo elétrico, sente uma força eletrostática \vec{F} . (b) Linhas de campo elétrico (linhas de força) de um corpo eletricamente carregado e os vetores campo elétrico \vec{E} ao seu redor. As cores são meramente ilustrativas.

Figura 1.5 – Representação da linha de campo elétrico \vec{E} para uma carga de prova em um ponto P do espaço: (a) $Q > 0$ e (b) $Q < 0$, sendo $q > 0$, submetido a uma força de interação \vec{F} ,

Figura 1.6 – Representação de uma carga elétrica ao se deslocar de um ponto A até um ponto B em uma linha de campo elétrico não uniforme quando estão sujeitas a uma força \vec{F} : (a) independe da trajetória, e em (b) ao longo de uma curva.

Figura 1.7- Bandas de energia: (a) condutor, (b) isolante e (c) semicondutor. Sendo E_F o nível de energia de Fermi. O espaçamento entre bandas é denominado de banda proibida.

Figura 1.8 – (a) Imagem ilustrativa Raios na atmosfera - efeito de ruptura dielétrica no ar – Campo elétrico \vec{E} induzido formado entre o solo e a nuvem, tornando o ar condutor. (b) Registro fotográfico do raio e relâmpago.

Figura 1.9 – Imagem fotográfica: (a) de uma pessoa dentro de uma gaiola de Faraday e em (b) um carro (fusca) cuja lataria funciona como uma gaiola de Faraday.

Figura 1.10 – Imagens fotográficas de exemplos de elementos condutores que, ao serem conectados em uma fonte de tensão, transformam energia elétrica em energia térmica: (a) “resistências de chuveiro”; (b) ferro de passar roupa; e em (c) uma grelha ligada à rede elétrica. As imagens não estão em tamanhos proporcionais.

Figura 1.11 – (a) Imagem fotográfica de uma lâmpada incandescente; (b) desenho esquemático da evolução das lâmpadas desde a época de Thomas Edison.

Figura 1.12 – Imagem esquemática da montagem experimental do processo de galvanização: (1) ânodo, (2) cátodo, (3) substância eletrolítica, (4) fonte de tensão.

Figura 1.13 – Imagem fotográfica para explicar o funcionamento de uma pilha eletrolítica.

Figura 1.14 – Imagem fotográfica: (a) secador desligado e (b) ligado, mostrando a deflexão da agulha na bússola posicionada perto do cabo de um secador de cabelo. Essa deflexão é análoga à observada por Oersted.

Figura 1.15 – Desenho ilustrativo da Lei de Faraday-Lenz. Quanto mais próximo o imã está da espira, maior o fluxo de campo magnético.

Figura 1.16 – Imagens ilustrativas de circuitos em (a) série, e em (b) paralelo, e uma chave (liga desliga) Ch, com dois resistores (R_1 e R_2).

Figura 1.17 – (a) Imagem da ligação em série das lâmpadas de enfeite de Natal. (b) Indicando a ligação em paralelo no circuito de residências.

Figura 1.18 – Imagens de medida de (a) corrente e (b) tensão usando um multímetro.

Figura 1.19 – Desenho esquemático indicando (a) um equipamento em curto circuito causado por um condutor de resistência desprezível. (b) Simulação de um curto circuito, tensão inicial 120 V.

Figura 1.20 – Imagem fotográfica (a) da barragem da Usina de Itaipú Binacional – Foz do Iguaçu – PR.e (b) Usina a fio d'água de Rosana-SP (divisa com Diamante do Norte - PR).

Figura 1.21 – Imagem fotográfica do Parque Eólico situado em Palmas - PR.

Figura 1.22 - Imagem fotográfica do aparato experimental utilizando uma placa fotovoltaica (Painel Solar).

Figura 1.23 - (a) Desenho esquemático de uma usina nuclear gerando energia elétrica, e (b) imagem fotográfica das Usinas de Angra dos Reis – RJ.

Figura 1.24 – Imagem fotográfica da termoelétrica situada em Juiz de Fora – SP.

Figura 2.1 – Imagem fotográfica do aparato experimental e suas partes. (1) *plugue* a ser conectado na tomada externa; (2) interruptor; (3) garfos; (4) local onde será colocada a amostra; (5) fio; (6) lâmpada no soquete; (7) base de fixação de madeira.

Figura 2.2 – Representação de (a) uma carga indo do ponto A ao ponto B e em (b) o inverso.

Figura 2.3 - Cópia da tela do simulador Cargas e Campos do PhET – (a) para uma carga negativa e (b) duas cargas de sinais opostos.

Figura 2.4 - Cópia de tela (a) uma superfície equipotencial e os pontos dos potenciais A e B; (b) da animação de um circuito elétrico, em que U é a ddp - Física na Escola (*PhysicsatSchool*), (c) indicando a medida da tensão (ddp) de uma bateria com o "voltímetro" por meio de um simulador.

Figura 2.5 – Cópia da tela do simulador do PhET em os objetos representados no circuito são: (a) borracha, (b) cachorro; (c) clips; (d) mão humana; (e) moeda; (f) nota de papel (dinheiro). Qual conduz ao se fechar a chave? Qual fará a lâmpada “brilhar” mais?

Figura 2.6 – Cópia da tela do simulador do PhET em que os objetos representados no circuito são: (a) borracha, (b) cachorro; (c) clips; (d) mão humana; (e) moeda; (f) nota de papel (dinheiro). Qual conduz ao se fechar a chave? Qual fará a lâmpada “brilhar” mais? Chave (indicada pela seta em (a) fechada.

Figura 2.7– Cópia de tela do simulador PhET: (a) para a moeda e (b) mão, quando submetidos a uma tensão de 120 V.

Figura 2.8 – Imagem fotográfica de um pássaro no caso um pombo pousado em um fio da rede elétrica, e em (b) um sagui em contato com mais fios da rede elétrica.

Figura 2.9 - Desenho esquemático de um circuito com as imagens no formato (a) usado em eletrônica e (b) como é visto sobre a base. Sendo: (1) uma base de madeira; (2) fio elétrico; (2) fio de cobre; (3) plugue macho (para ser conectado em uma tomada com rede elétrica de 127 V); (4) interruptor; (5) lâmpada de 60 W; (6) garfos de metal; (7) amostra para teste.

Figura 2.10 – Imagem fotográfica do Aparato Experimental – um circuito elétrico simples em série, contendo; uma base de madeira, fios de cobre, soquete com lâmpada (em destaque na parte inferior), interruptor (questão de segurança), fio com terminal para a tomada (plugue), e dois garfos.

Figura 2.11 - Imagem fotográfica do teste do Aparato Experimental foi colocado um pedaço de fio de cobre, como amostra.

Figura 2.12 – Imagem fotográfica do jogo quiz – conduz ou não conduz energia elétrica no caso através da salsicha, (a) sem *leds*, conduz, lâmpada acendeu; (b) com *leds* posicionados: (1) transversal e (2) longitudinal.

Figura 2.13 – Imagem fotográfica: (a) do aparato experimental com a amostra de salsicha conectada a um *cooler* com conexão na salsicha. Manteve-se também o *led* espetado na mesma; (b) aparência da salsicha antes do experimento – crua, e após o experimento em que ficou pré-assada.

Figura 2.14 – Imagem:(a) exemplo das escalas de um multímetro e (b) exemplos de pontos de conexão para o borne das pontas de prova, usadas aos pares, para não haver confusão convencionou-se o preto para o COM (TERRA) e o vermelho para a outra opção $A, V/\Omega$.

Figura 2.15 – Imagem fotográfica do aparato experimental com a amostra de grafite, e em destaque como deve ficar o lápis para seu uso. Tensão após ligar a chave (interruptor) 109,8 V.

Figura 2.16 – Cópia de tela da imagem do simulador do PhET, utilizando o grafite com $R=25\Omega$ como amostra.

Figura 2.17 – Imagem fotográfica do circuito ligado usando como amostra uma cenoura. Tensão no multímetro é de 0,00 V.

Figura 2.18 – Imagem fotográfica do circuito com um *led* espetado na cenoura. Tensão indicada 1,4 V. Ao lado o detalhe do *led* aceso.

Figura 2.19 – Imagem fotográfica do circuito com um pedaço de couro fixado nos garfos. Tensão indicada 0,00 V.

Figura 2.20 – Imagem fotográfica do circuito com o isopor como amostra. Tensão 0,0 V.

Figura 2.21 – Imagem fotográfica utilizando como amostra uma batata. O multímetro indica uma tensão de 0,01 V.

Figura 2.22 – Imagem fotográfica utilizando como amostra uma batata com o *led*. O multímetro indica uma tensão de 125,2 V na batata onde o *led* está fixado.

Figura 2.23 – Imagem fotográfica utilizando como amostra o fio de cobre. Tensão 124,8 V após a amostra.

Figura 3.1 – Gráfico das amostras versus o número de alunos que acertaram, e o seu equivalente em porcentagem do jogo conduz ou não conduz?, confeccionado com os dados da Tabela 3.2.

Figura 3.2 – Gráficos das informações comparando as respostas antes e depois do jogo– referentes aos dados das Tabelas 3.1 e 3.3 – (a) Questão 1: Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica; (b) Questão 2: Defina corrente elétrica; (c) Questão 3: Explique o que é diferença de potencial elétrica; (d) Questão 4: Explique o que é tensão elétrica; (e) Questão 5 - Pontue a diferença entre condutores e isolantes; (6) Questão 6 – Explique o que são resistores.

Figura 3.3 - Gráfico do quantitativo de acertos versus questões dos resultados gerais do Questionário 1 pré e pós-jogo.

Figura 3.4 – Aproveitamento por questão referente ao Questionário 2: Q21- Energia elétrica e corrente elétrica é a mesma coisa? Q2-2- Assinale a alternativa que está relacionada à correta forma de produção de energia elétrica. Q2-3 - Como podemos explicar o que é corrente elétrica? Q2-4 Assinale a alternativa correta a respeito de condutores e isolantes. Q2-5- O que são resistores elétricos?. Baseados nos dados da Tabela 3.4.

Lista de Tabelas

Tabela 1.1– Resistividade de alguns materiais.

Tabela 2.1 – Dados das medidas do simulador PhET para uma tensão de bateria de 9,0 V e 4,0 Ω fixos. Ressalta-se que o cachorro e a mão estão secos, sem umidade.

Tabela 2.2 – Modelo da tabela de pontuação. ID – Identificador do aluno.

Tabela 2.3 – Escalas do multímetro para cada função do botão seletor: V (tensão/ddp); R (resistência) e i a corrente.

Tabela 2.4 – Dados de alguns compostos a cada 100g de cenoura e de batatas cruas.

Tabela 2.5 - Tabela de pontuação. ID - Identificação; P - Pontuação.

Tabela 3.1- Resultados da Análise do Questionário 1 - antes do jogo.

Tabela 3.2 – Dados para cada amostra do número de acertos. Total de participantes 21 alunos.

Tabela 3.3 - Resultado da Análise do Questionário 1 - após o jogo.

Tabela 3.4 – Resultados da análise do Questionário 2.

Lista de Quadros

Quadro 1.1 – Sequência da série triboelétrica para alguns materiais. Os materiais posicionados acima (mais positivos) cedem elétrons aos posicionados abaixo (mais negativos-recebem elétrons) quando atritados ou em contato entre eles.

Quadro 1.2 – Informação quanto ao estado físico do condutor e seus respectivos portadores de carga, e exemplos de onde atuam.

Quadro 2.1 - Distribuição do conteúdo por aula e aplicações do PE.

Quadro 2.2 – Modelo do quadro usado pelos alunos para participação no jogo.

Introdução

Atualmente ensinar é um grande desafio, em que diariamente os professores competem com conversa paralela, celulares, mídias, entre outros. Assim, é fundamental se buscar constantemente ferramentas para se prender a atenção dos alunos em sala de aula.

Nesse sentido a componente curricular Física, temida por muitos, deve cada dia mais ser contextualizada a fim de envolver os estudantes nas atividades em sala, dando mais sentido a esta tão importante componente curricular.

Uma das formas mais exploradas são as propostas à base de experimentos que possam ser realizados em sala de aula (Astrath, 2015; Araujo e Silva, 2018; Pereira Neto, 2018; Barreto, 2019; Campanholi, 2019, entre outros).

A preocupação em tornar a Física mais agradável e acessível aos olhos dos estudantes já é antiga, e muitas ferramentas estão sendo utilizadas como a música, tirinhas de física, poesia, arte, experimentos e jogos (Rodrigues, et al., 2017; Santos, 2008; Cavalcante et al., 2012, e Wippel, 2020).

Considerando-se as diversas possibilidades para tornar o processo de aprendizagem mais atrativo, infere-se cabe, ao professor, conhecer essas diferentes ferramentas e se adaptar às que mais lhe convêm, ou seja, utilizá-las de acordo com as capacidades e desenvoltura da turma.

Em uma busca rápida pela *internet*, é possível se encontrar alguns trabalhos que trazem atividades lúdicas relacionadas à Física, contudo, nem todas as áreas desta são amplamente exploradas e, ainda, muitas vezes não é possível se executar algumas práticas em função da indisponibilidade de materiais de laboratórios adequados, entre outros.

Assim, após avaliar o perfil de um grupo de alunos do 3º ano do Ensino Médio de um estabelecimento particular de ensino, foi reproduzido, com materiais que o autor possuía, um aparato experimental de um circuito elétrico em série, já existente na literatura como citado por Doescher et al.(2009), mas com o diferencial de ser explorado em forma de um jogo do tipo *quiz*, que envolve conceitos de eletrodinâmica, em especial, o processo de condutividade elétrica nos materiais. A

escolha das amostras (materiais do uso cotidiano) foi para tornar o jogo mais instigante, além de explorar conteúdos associados à geração de energia elétrica, aos benefícios e perigos que eletricidade pode causar.

O tema em questão foi escolhido uma vez que se percebe (interação diária com os estudantes e experiência de sala de aula) que os conteúdos relacionados à eletrodinâmica muitas vezes são abstratos para os alunos, ainda se observa que os conhecimentos acerca desse conteúdo são fundamentais e estão presentes no cotidiano dos estudantes.

Nesse sentido, o jogo proporciona a apropriação dos conceitos físicos pela prática experimental, de forma lúdica, confirmando alguns conhecimentos prévios (senso comum) e desmistificando outros conceitos.

A proposta de se unir um experimento com um jogo, de forma simples e direta, tendo-se a liberdade de explorar diversos conteúdos da eletrodinâmica, tem a ver com o perfil do autor do presente trabalho: “Terminei minha graduação no ano de 2017 em Licenciatura em Física, pela Universidade Estadual de Maringá. Fiz meu curso em parte trabalhando, realidade da maioria dos estudantes de Licenciatura em Física. Sou professor no ensino médio desde 2009, inicialmente atuei no Processo Seletivo Simplificado (PSS), em rede de ensino pública, e atualmente em duas instituições de rede de ensino privada na região de Maringá – PR”.

A metodologia adotada está baseada na Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David Ausubel. No decorrer do desenvolvimento do material didático-pedagógico, considerou-se a análise dos subsunçores (conhecimentos prévios) e do conhecimento adquirido. Além disso, propôs-se, como organizadores prévios, o uso de textos, filmes e vídeos disponíveis no YOUTUBE®, e, como sugestão, utilizar-se de simuladores como os do PhET (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=html&sort=alpha&view=grid) (Baliscei, 2016) e o do Física na Escola (*Physics at school*) (<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=p>), sendo que ambos podem ser utilizados por meio do celular (*smartphone*),

A apresentação desta dissertação está dividida em:

- CAPÍTULO 1, que trata dos referenciais teóricos que embasam a elaboração e compreensão do Produto Educacional (PE) que são teorias relacionadas ao processo de aprendizagem significativa, experimentação no ensino de Física e conceitos de Eletrodinâmica;
- CAPÍTULO 2, em que é apresentado o PE, como os questionários e atividades que foram desenvolvidos para as aulas;
- CAPÍTULO 3 foi destinado à apresentação dos resultados obtidos bem como a uma análise dos questionários aplicados e observações realizadas em aula;
- CONSIDERAÇÕES FINAIS seguidas das REFERÊNCIAS.

A ordem dos anexos e apêndice foi invertida para se atender às normas do programa em rede nacional, em que o último texto (apêndice) a ser apresentado deve ser um encarte do PE em separado para ser utilizado de forma independente da dissertação. Desta forma, no

- ANEXO A – está o termo de autorização do responsável pela instituição de ensino liberando a aplicação do PE, e no
- ANEXO B – uma amostragem dos questionários respondidos pelos alunos e das respostas do jogo;

E, por último e tão importante quanto, segue o

- APÊNDICE A – que trata de uma forma alternativa do aparato experimental usando uma fonte de tensão de 12 V, para que os alunos possam construir e manusear o aparato experimental. Embora não menos importante, foi colocada como apêndice por ter sido sugestão da banca e não ter sido ainda aplicado aos alunos, e foi incorporada no Produto Educacional final (Apêndice B) como sugestão complementar ao PE.
- APÊNDICE B - o Produto Educacional – um texto didático-pedagógico contendo uma aplicação experimental (circuito em série) explorada em forma de jogo (*quiz*: conduz ou não conduz) explorando os conceitos da Eletrodinâmica, no contexto de ciências da natureza e tecnologia, e de acordo com o Novo Banco Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018).

Capítulo 1 – Fundamentação Teórica

Neste capítulo, serão apresentados os conteúdos que dão suporte para a elaboração deste trabalho, destacando-se as teorias relacionadas ao processo de aprendizagem significativa, experimentação no ensino de Física e conceitos de Eletrodinâmica.

1.1 Teoria de Aprendizagem

A aprendizagem significativa é uma teoria de aprendizagem criada por David Ausubel, em 1968. Essa teoria está pautada na ideia de que o novo conteúdo deve estar relacionado com os conhecimentos prévios do aluno.

De acordo com Silva, Claro e Mendes (2017),

O processo de aprendizagem significativa, de acordo com a teoria cognitivista ocorre por meio de conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva dos alunos por meio de suas experiências com o meio, ou seja, seus conhecimentos prévios. Assim, novas experiências e informações podem ser aprendidas e retidas na memória na medida em que esses conceitos se tornam significativos, pois estão claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aluno e funcionam, dessa forma, como pontos de ancoragem para os novos conceitos e conhecimento (SILVA, CLARO E MENDES, p. 22695, 2017).

Conforme Moreira (2012), na aprendizagem significativa o novo conteúdo deve estar relacionado, de forma significativa a algo que o aluno já conheça, isto é, aos conhecimentos prévios deste, denominado de **subsunçor (ideia-âncora)**. Mas, essa ideia-âncora, segundo Moreira, deve ter caráter dinâmico e interativo, pois assim o é o processo de aprendizagem. Portanto, o subsunçor também se modifica, ou seja, a ancoragem não tem caráter estático.

Além disso, ao se relacionar conhecimentos antigos a novos, a nova informação é o conhecimento aprendido via aprendizagem significativa relacionado com o entendimento da linguagem. Essa linguagem por sua vez, permite se apropriar de novas informações via contato com outros indivíduos já que não se aprende sozinho (Moreira, 2006).

Ainda, de acordo com Moreira (2012), devem ser observadas duas condições a fim de que uma aprendizagem seja significativa: “**a primeira** (grifo nosso) o material deve ser potencialmente significativo (que implica logicidade intrínseca ao material e disponibilidade de conhecimentos especificamente relevantes), e **a segunda** (grifo nosso) ter predisposição para aprender” (MOREIRA, 2012, p. 9.).

Quando for detectado que o aluno não possui conhecimento prévio relacionado ao conteúdo, tem-se a opção de se entrar com os organizadores prévios. Conforme Moreira, 2012,

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. (MOREIRA, 2012, p. 11).

Os **organizadores prévios** podem ser classificados, conforme (Moreira, 2012), em,

- **Organizador expositivo** – quando o novo material não seja algo familiar ao aluno. No caso, devem-se utilizar organizadores que busquem essa familiaridade para que o aluno consiga fazer a conexão de forma significativa;
- **Organizador comparativo** – quando o novo material for algo familiar e, o aluno tenha uma leve noção do assunto. Este organizador entra com o intuito de ajudar o aluno a integrar novos conhecimentos aos pré-existentes.

Ainda no contexto da Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), os autores, Moreira (2012) bem como, Silva, Claro e Mendes (2017) informam que a aprendizagem significativa pode ocorrer de três formas:

- a. **Aprendizagem de Representações** - ocorre por meio de símbolos e o que seus conceitos representam; os autores exemplificam com o aprendizado inicial de uma criança: por meio de objetos, ela associa o conceito com o símbolo para representar um objeto, no caso, uma palavra, de forma que não necessariamente depende de um conhecimento prévio desses conceitos, símbolos ou objetos. Nas palavras dos autores, “Quando estiver firmemente estabelecido na estrutura cognitiva do aluno, ele

conquistou condições para realizar quaisquer aprendizagens de representações” (Silva et al., 2017, p. 22698).

- b. Aprendizagem de Proposições** – o objetivo, neste caso, é promover a compreensão de uma proposta, e, para tanto, é necessário que o aluno tenha um conhecimento prévio dos conceitos e símbolos. Pelo entendimento dos autores, o objetivo é aprender o significado de ideias expressas em forma de proposições e não isoladamente das palavras ou somente do conceito que as compõem.
- c. Aprendizagem de Conceitos** - os autores informam que esta apresenta dois tipos de aquisição: **formação de conceitos** e **assimilação dos conceitos**. Sendo a **formação dos conceitos** o processo de aprendizagem inicial que ocorre de forma espontânea e indutiva de ideias gerais sobre determinado assunto. Enquanto que, o **processo de assimilação de conceitos** só ocorre quando o aluno já demonstrar atributos com critérios do conceito por meio de uma definição. Esse é o caso do processo de subsunção citado anteriormente.

Vê-se que a aquisição de conhecimento e o processo de aprendizagem ocorrem desde o nascimento. A partir da aprendizagem de representações, passa-se por todos os demais processos e um destes será o subsunção do novo conhecimento de aquisição. Mas sempre se faz uso de aprendizagem de representações para algo que ainda não se conhece. E o processo se inicia novamente.

No caso desta dissertação, foi abordado o **processo de assimilação** de conceitos que fazem parte da eletrodinâmica. Despertou-se a formação de conceitos nos alunos, de forma indutiva (induzida por meio da questão: conduz ou não conduz?), para que tivessem também a **aprendizagem da proposta** (compreender as consequências – conceitos físicos - das cargas elétricas em movimento na eletrodinâmica e seus efeitos no cotidiano), utilizando-se a **aprendizagem de representações** (amostras e no jogo – lâmpada acende ou não) para compreenderem o que significam os conceitos das palavras: condutores e isolantes. Observou-se assim, que no processo os três processos de aprendizagem estão ligados entre si.

Apresentados os principais pontos em relação à Teoria de Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel e, utilizando-se na maioria os textos do Prof. Dr. Marco Antonio Moreira¹ (UFRGS), um dos primeiros estudiosos e divulgador da presente teoria no Brasil, passa-se, agora, a apresentar um embasamento sobre o uso de experimentos no ensino da Física.

1.2 Experimentação no Ensino da Física

Uma forma eficaz de se cativar os alunos e que pode ser facilmente agregada às ideias da aprendizagem significativa é a experimentação. Quando o estudante tem a oportunidade de realizar atividades experimentais, como jogos, debates, montagens de protótipos, entre outros, pode se valer de seus conhecimentos prévios e, na sequência, aprimorá-los em função das atividades experimentais e ainda das explanações do professor.

Quando se trata de atividades experimentais existem várias possibilidades que se encaixam nesse termo. Elas podem ser utilizadas para verificação direta de leis e teorias ou ainda para estimular o aluno a fim de que este possa refletir, revendo suas ideias e formulando corretamente os conceitos (Araujo e Abib, 2003)

No que tange aos laboratórios didáticos, de acordo com Villani (2003), (grifo nosso),

O laboratório didático introduz elementos específicos, que facilitam o reconhecimento do contexto escolar, e **umentam a probabilidade e a necessidade dos [sic] alunos utilizarem argumentos mais adequados** e completos, cuja estrutura se aproxima mais da estrutura dos argumentos científicos, em suas respostas a problemas e questões escolares. Neste sentido nosso trabalho corrobora a necessidade de se planejar atividades para desenvolver a argumentação científica nos alunos do ensino médio. Entretanto devemos destacar a importância dos argumentos produzidos no laboratório didático. Estes argumentos possuem diversos graus de complexidade e apresentam uma lógica de raciocínio da escola, potencialmente capaz de mediar a aquisição de uma forma de argumentos científicos, a partir de argumentos cotidianos (VILLANI, p. 206, 2003).

Ainda, de acordo com Gaspar e Monteiro (2005), o uso adequado de **atividades experimentais** propicia um ambiente favorável para a **assimilação dos diversos conceitos científicos**; as atividades experimentais **podem estimular a**

¹<http://moreira.if.ufrgs.br/>.

participação efetiva dos alunos, aguçando a curiosidade e interesse destes, o que, por sua vez, proporciona um ambiente estimulante e motivador.

Além disso, Capelari e Zukovski (2009) observam que:

O contato direto com a física experimental provoca discussões entre os alunos que não seriam tão interessantes se estivessem dentro da sala de aula vendo apenas o conteúdo teórico da disciplina. Possibilitar ao aluno a oportunidade de entrar em contato com experimentos físicos que estejam presentes no cotidiano, além do notável fascínio pelo processo, introduz no pensamento do aluno a parte da teoria que não foi absorvida. Isso torna a disciplina muito mais interessante e motivadora, tanto para o educando quanto para o educador (CAPELARI e ZUKOVSKI, p. 16, 2009).

Outros autores como Zanatta e Leiria (2018), Zompero e Laburu (2011), Abib e Araújo (2003), e Araújo e Santos (2018) reforçam a importância de atividades experimentais no processo de aprendizagem significativa.

No programa de pós-graduação do MNPEF, da qual este trabalho faz parte, também se tem comprovado a eficácia das atividades experimentais², tanto na forma presencial de se levar o aparato experimental e aplicá-lo na sala, como feito por Astrath (2015), ou montando-se o aparato experimental na sala com os alunos, como trabalhado por Campanholi (2019), utilizando-se simuladores computacionais (Baliscei, 2016), ou ainda por acesso remoto (Oliveira, 2016 e Maldonado, 2020).

Por outro lado, os **jogos que envolvem o conteúdo de Física** têm ganhado cada dia mais espaço e têm se mostrado eficientes, pois **ganham a atenção dos alunos, fazendo com que estes participem mais ativamente das aulas** e, ainda, que se interessem mais pelo conteúdo que está sendo ministrado (Lima, 2008).

Rodrigues et al. (2017), Santos (2008), Cavalcante et al. (2012) e Wippel (2020) apresentam a preocupação em tornar a física mais agradável e sugerem o uso das seguintes ferramentas:

- música,
- tirinhas de física,
- poesia,
- arte,
- **experimentos e**

² Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>.

- **jogos.**

No presente trabalho, a proposta foi unir duas dessas citações, **experimentos e jogos**. No caso, o objetivo foi explorar um aparato experimental; o procedimento de execução do experimento ocorreu por meio de um jogo para a compreensão dos conceitos envolvidos na Eletrodinâmica e a capacidade de relacioná-los com o cotidiano para a sua compreensão.

Apresentados alguns argumentos que reforçam a necessidade da experimentação no processo de aprendizagem significativa, passa-se a discutir a teoria sobre Eletrodinâmica.

1.3 Eletrodinâmica

Quando se estuda a interação entre cargas elétricas em repouso, ou seja, cargas estacionárias, observa-se que estas se referem ao ramo da Física denominado Eletrostática. Quando o estudo se refere a cargas em movimento, está-se no ramo da Eletrodinâmica (Griffiths, 2011).

O presente capítulo segue com a apresentação dos seguintes conceitos físicos: carga, campo elétrico, corrente elétrica, potencial elétrico, diferença de potencial, condutores e isolantes, resistores, 1ª Lei de Ohm e experimento de Oersted (ficou como sugestão ser aplicado quando for tratado o Eletromagnetismo), que são os aspectos principais da Física envolvidos neste trabalho. Por completeza, foram apresentados situações do cotidiano e outros pontos que possam ser utilizados como organizadores prévios, conforme a necessidade.

1.3.1 Carga Elétrica

A carga elétrica é uma grandeza física que pertence ao grupo das partículas subatômicas, ou seja, está dentro do átomo, sendo considerada uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais da qual a matéria é feita. Os átomos são compostos por elétrons (carga elétrica negativa), prótons (carga elétrica positiva) e nêutrons (não têm carga elétrica). Como o número de prótons é igual ao número de elétrons, os átomos no estado fundamental são eletricamente neutros.

As partículas podem interagir eletricamente, e a intensidade das interações elétricas depende da carga elétrica (q), que, por sua vez, pode ser positiva ou negativa. Logo, quando um corpo possui a mesma quantidade de cargas positivas e negativas, o mesmo é denominado eletricamente neutro, e, caso haja maior quantidade de uma das cargas (positiva ou negativa) este será denominado eletricamente carregado (Halliday et al., 2009). Uma vez que os prótons estão ligados ao núcleo de um átomo, o que se move de um corpo para outro são os denominados de **elétrons livres**, ao se desprenderem do núcleo atômico.

Conforme o Sistema Internacional (SI), a unidade para carga é o Coulomb [C].

Para um corpo eletrizado, a sua carga (q) pode ser obtida por meio da equação

$$q = ne, \quad (1.1)$$

sendo n o número de elétrons, e $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ a carga elétrica elementar.

Para uma análise do sinal, podemos considerar n igual ao número de prótons menos o número de elétrons, de forma que se o número de prótons for maior que o número de elétrons, a carga do corpo será positiva, caso contrário, será negativa.

A expressão que descreve a força de interação (\vec{F}) entre duas partículas eletricamente carregadas (q_1 e q_2) foi obtida experimentalmente, em 1785, pelo coronel francês Charles Augustin de Coulomb (Figura (1.1.(a)) utilizando uma balança de torção (Figura 1.1 (b)). É assim expressa (SADIKU, 2003),

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}. \quad (1.2)$$

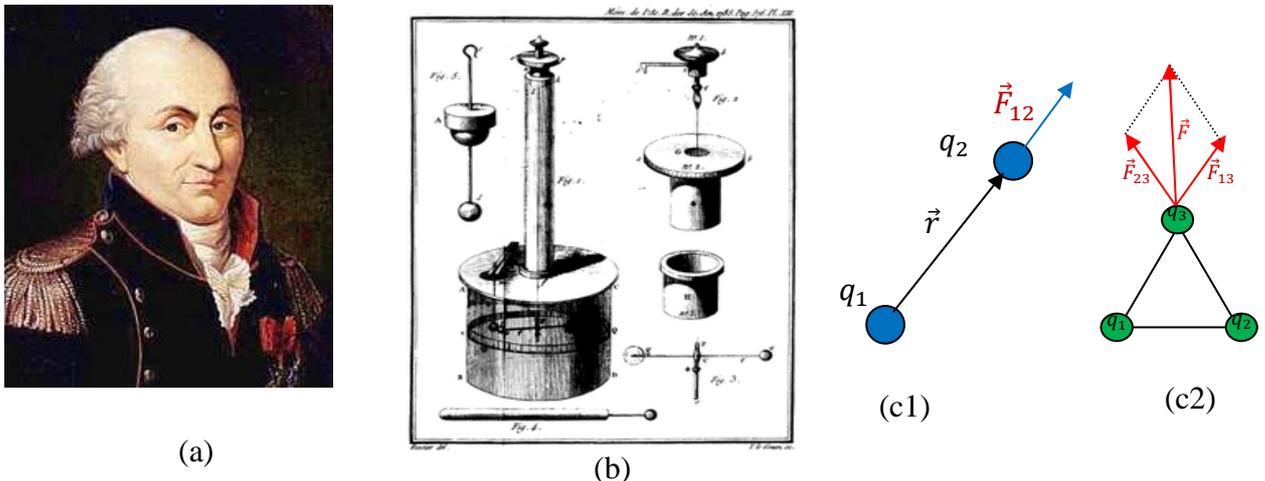
A equação (1.2) é denominada de Lei de Coulomb, em que a força \vec{F} tem a unidade³ de Coulomb (C) e tem a mesma direção de \vec{r} representada pelo versor \hat{r} , sendo r a distância entre as duas cargas (Figura 1.1(c1)), e k é denominada constante eletrostática e equivale a, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \approx 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$.

Sendo $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$ a permissividade elétrica no vácuo.

³ Sistema de unidade internacional (SI).

Caso haja mais cargas no sistema deve-se considerar, em sua análise, as cargas aos pares, e calcular a força resultante entre elas (Figura 1.1(c2)).

Figura 1.1 – Imagem de: (a) August Coulomb e (b) balança de torção (gravura das Memórias da Academia de Ciências, 1784). Em (c1) e (c2) representação do sentido da força na direção de \hat{r} , para duas cargas e para três cargas.



Fonte: (a) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Charles_Augustin_de_Coulomb>; (b) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Balan%C3%A7a_de_tor%C3%A7%C3%A3o>. (c) o autor, 2020.

Empiricamente também é possível se constatar as seguintes relações entre as cargas:

- cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e
- cargas elétricas de sinais diferentes se atraem.

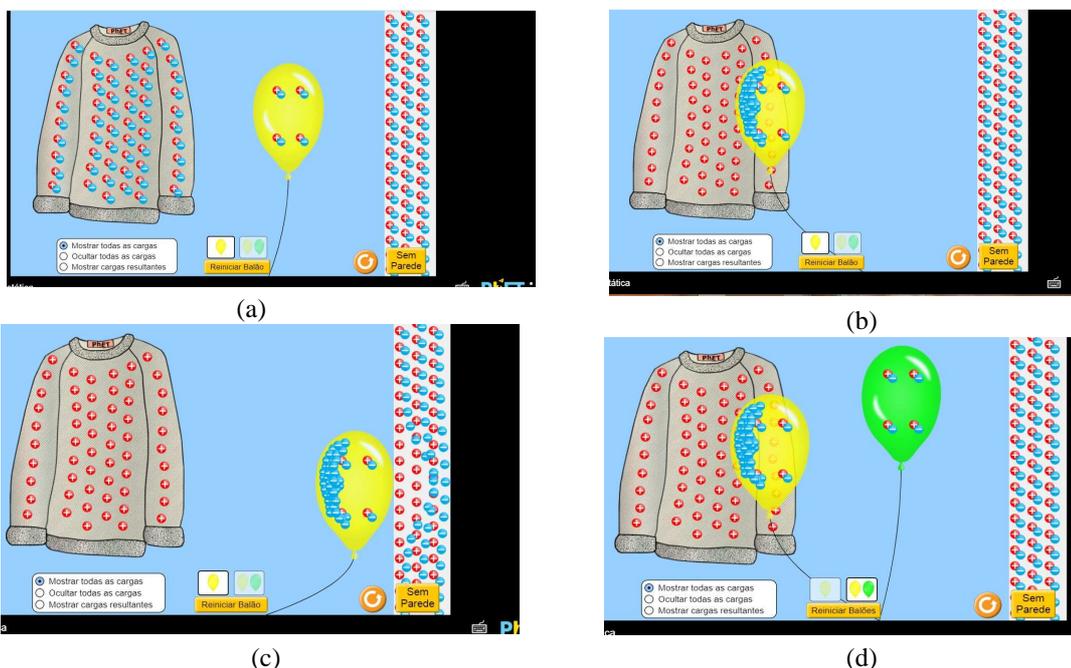
Isso significa que, um elétron (carga negativa) próximo a outro fará com que surja entre eles uma força de repulsão, ocorrendo o mesmo com um próton próximo (carga positiva) a outro próton. No entanto, ao se colocar próximos, corpos com cargas diferentes (positivo e negativo), a força de interação será a de atração (HALLIDAY et al., 2009).

Um experimento demonstrativo simples para se verificar a presença de força elétrica é o de atritar um material plástico (como um pente – material eletricamente neutro) no cabelo e colocá-lo próximo aos picotes de papel que serão atraídos pelo material plástico. Outro exemplo é esfregar vigorosamente um balão de festa cheio de ar no cabelo (ou em uma blusa de lã) e se verá que, ao afastá-lo, os fios de cabelos serão atraídos pelo balão, pois a superfície deste do lado que sofreu atrito ficará eletrizada com cargas opostas à do cabelo. Outra forma é, após atritar o

balão no cabelo (ou em uma blusa de lã), aproximar o lado do balão friccionado próximo aos picotes de papel e se verá que são atraídos pelo balão assim como o pente. Também, ao colocá-lo na parede, o balão ficará aderido na mesma, desde que a força eletrostática supere a força gravitacional.

Para se explicar esses efeitos pode-se fazer uso do simulador do PhET, disponível no site https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html. Na Figura 1.2 (a), apresenta-se o estado inicial de um balão, uma blusa de lã e uma parede, todos neutros (cargas positivas (vermelhas) e negativas (azuis) em iguais quantidades). Atritando-se o balão na blusa de lã, eles ficarão com cargas opostas, Figura 1.2 (b), e o balão é atraído pela blusa. Aproximando o balão da parede, Figura 1.2 (c), observa-se que as cargas positivas são atraídas e as negativas, repelidas no ponto onde o balão fica grudado na parede por uma força de atração. Colocando-se um segundo balão (neutro) nada ocorre com ele (Figura 1.2 (d)).

Figura 1.2 – Cópia de tela do simulador PhET – Balões e Eletricidade Estática: (a) estado natural, os três corpos eletricamente neutros; (b) após atritar o balão na blusa, esse fica eletricamente negativo, a blusa positiva e a parede continuam neutras, e o balão é atraído pela blusa, em (c) repele as cargas negativas e atrai as positivas e (d) colocando outro balão (neutro) esse fica parado.



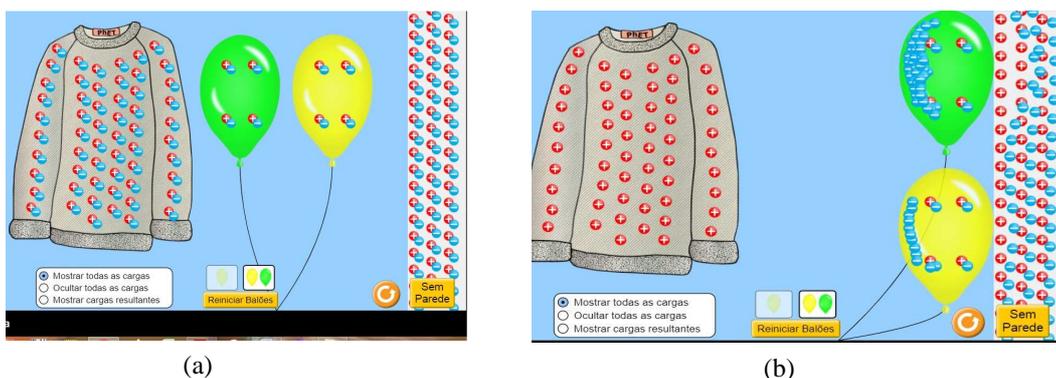
Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html.

Pode-se também fazer o jogo do balão⁴ em que é empurrada uma latinha vazia de refrigerante com o balão, promovendo-se um cabo de guerra com balões (manual do mundo: <https://www.youtube.com/watch?v=Yndkm5VB4I0>) entre dois competidores. Com essa ideia e duas latinhas pode-se fazer uma corrida de latinhas, a latinha que chegar à linha de chegada indicará o vencedor.

O vencedor será aquele que esfregar o balão no cabelo mais intensamente, carregando-o com mais cargas negativas. Como em volta da latinha há uma distribuição de cargas tanto positivas quanto negativas, o balão que atrair mais cargas positivas para o lado em que está o balão vence.

Essa explicação pode ser vista considerando-se a parede como se fosse a latinha no simulador do PhET, colocando-se dois balões (Figura 1.3 (a)). Atritando-se um mais do que o outro na blusa, como mostra a Figura 1.3 (b), percebe-se que o balão amarelo tem menos cargas negativas do que o verde. Observa-se também que o balão verde tem mais força de atração do que o balão amarelo, pois ele repulsa mais cargas negativas (azuis) do que o balão de cor amarela. Em razão disso, no jogo, quem estivesse com o balão verde ganharia.

Figura 1.3 – Cópia de tela do simulador PhET – Balões e Eletricidade Estática: (a) estado natural, os quatro corpos eletricamente neutros; (b) após se atritar os balões na blusa, percebe-se que o verde foi mais atritado do que o amarelo. As cargas na parede mudam a sua configuração, sendo as cargas negativas próximas ao balão verde, mais repelidas, do que as próximas ao balão amarelo.



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html.

Além disso, como na realidade não é necessário esfregar um material em outro para que haja transferência de cargas, basta o contato, criou-se a série triboelétrica. Essa série foi organizada em um Quadro (Quadro 1.1) e obtida de

⁴OBS: para nivelar a bancada, com o uso de um aplicativo para celular, sugere-se utilizar a ferramenta contida no Phyphox (<https://phyphox.org/>), em ferramentas, item inclinação.

forma empírica. Observa-se que os materiais que cedem elétrons, quando atritados um no outro ou colocados em contato, estão posicionados acima no Quadro (mais positivas – cedem elétrons).

Quadro 1.1 – Sequência da série triboelétrica para alguns materiais. Os materiais posicionados acima (mais positivas) cedem elétrons aos posicionados abaixo (mais negativas-recebem elétrons) quando atritados ou em contato entre eles.

Pele de mão humana (seca e sem gordura)
Vidro
Cabelos humanos secos e sem gordura
Acrílico
Lã
Papel (sulfite, guardanapos, papel enxugar mãos, entre outros)
Borracha de balões inflados
Plástico PVC, PP, vinil (canudinho, sacos plásticos, forros de pvc, entre outros)
Teflon®

Fonte: http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99_Explor_Eletrizacao/paginas%20htmls/S%C3%A9rie%20Triboel%C3%A9trica.htm

Assim, nos exemplos citados anteriormente, ao se esfregar o pente no cabelo, este cede elétrons àquele, e ao se aproximar de picotes de papel, este o atrairá. No caso do balão, este recebe elétrons tanto se atritado nos cabelos ou na blusa de lã, conforme ilustrado pelos simuladores nas Figuras 1.1 e 1.2, e, ao ser aproximado de um material neutro será atraído.

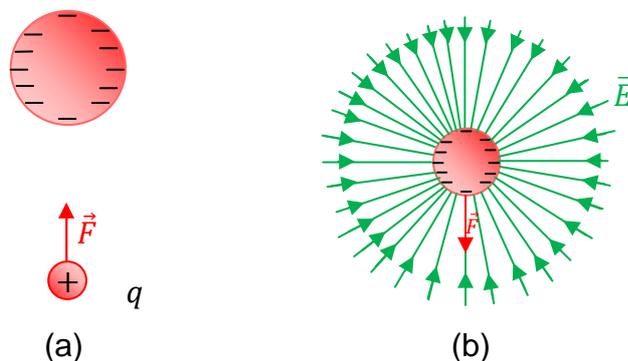
Visto o conceito de cargas e da força de interação entre cargas, apresenta-se na próxima seção, o que acontece quando uma carga pontual ou um corpo carregado sentem a presença de uma carga de prova.

1.3.2 Campo Elétrico

O campo elétrico é a região do espaço gerada por um corpo eletricamente carregado, e na presença de uma carga de prova. Na Figura 1.4 (a) ilustra-se uma carga de prova (positiva) que está localizada próxima a um corpo negativamente carregado. Na Figura 1.4 (b) estão representadas as linhas de campo elétrico (linhas de força) para um corpo carregado com cargas negativas e o sentido do vetor campo elétrico nesta configuração. Matematicamente, o campo elétrico produzido por uma carga pode ser definido como

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad . \quad (1.3)$$

Figura 1.4 – Imagens ilustrativas: (a) carga de prova, q , na presença de um campo elétrico, sente uma força eletrostática \vec{F} ; (b) linhas de campo elétrico (linhas de força) de um corpo eletricamente carregado e os vetores campo elétrico \vec{E} ao seu redor. As cores são meramente ilustrativas.

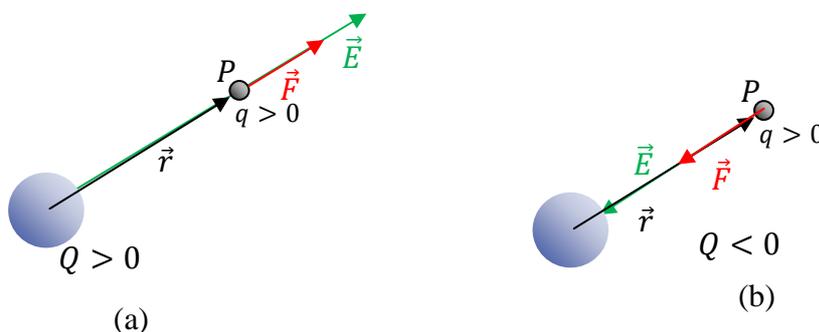


Fonte: adaptada pelo autor da referência (Halliday et al., 2009).

O campo elétrico pode ser calculado de formas diferentes em função do número de cargas, contudo nos restringiremos apenas ao caso de uma única carga.

Lembrando que, para a existência de um campo, sempre é necessário se ter uma fonte, no caso, uma carga. Assim, em volta de uma carga, há um campo elétrico, que é sentido por uma carga de prova q colocada em algum ponto P da região em torno da carga. Na Figura 1.5, ilustram-se o sentido e a direção da força elétrica sobre uma carga de prova (q) positiva em um ponto P e o campo elétrico nesse ponto gerado por uma carga (Q) fonte positiva (Figura 1.5 (a)) e fonte negativa (Figura 1.5 (b)).

Figura 1.5 – Representação da linha de campo elétrico \vec{E} para uma carga de prova em um ponto P do espaço: (a) $Q > 0$ e (b) $Q < 0$, sendo $q > 0$, submetido a uma força de interação \vec{F} .



Fonte: o autor. 2020.

A equação da intensidade (módulo) do campo elétrico \vec{E} em P (Figura 1.5) é obtida substituindo-se a Eq. (1.2) na Eq. (1.3),

$$E = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \quad (1.4)$$

A unidade de campo elétrico no sistema internacional (SI) é N/C.

Associado ao campo elétrico existe um potencial elétrico, apresentado na próxima seção.

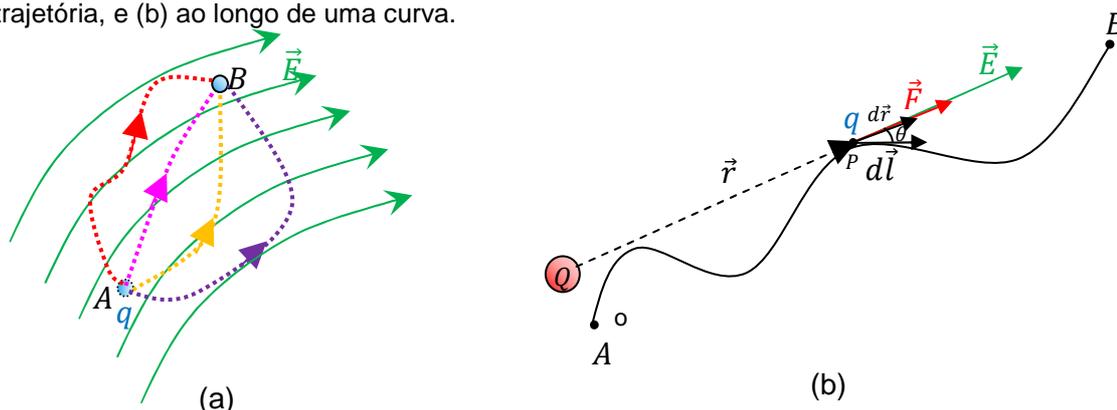
1.3.3 Potencial Elétrico

Da mesma forma que se tem a energia potencial gravitacional e elástica, existe a energia potencial elétrica. Analogamente às demais formas de energia, a referente ao potencial elétrico está relacionada com o conceito de trabalho.

Assim como há trabalho realizado por uma força sobre uma massa se movendo em um campo gravitacional, o trabalho para uma carga se mover de um ponto A até um ponto B em um campo elétrico independe da trajetória.

Na Figura (1.6 (a)), mostra-se essa situação para uma força não constante, ou seja, a força atuando sobre uma carga para movê-la, em um campo elétrico não uniforme, de um ponto A até um ponto B. O trabalho realizado pela força elétrica para mover a carga independe das trajetórias representadas com as cores vermelha, rosa, laranja e lilás, depende apenas dos pontos inicial A e final B.

Figura 1.6 – Representação de uma carga elétrica ao se deslocar de um ponto A até um ponto B em uma linha de campo elétrico não uniforme quando estão sujeitas a uma força \vec{F} : (a) independe da trajetória, e (b) ao longo de uma curva.



Fonte: cedido por H. Mukai, 2020, adaptadas de (a) Ramalho et al. (1977) e (b) Martins, 1973.

O trabalho para mover uma carga q de um ponto A até B em um campo elétrico é assim definido por (MARTINS, 1973),

$$W_{A \rightarrow B} = \int \vec{F} \cdot d\vec{l}, \quad (1.5)$$

em que $d\vec{l}$ é um elemento de linha da trajetória da carga quando se move entre os pontos A para B (Figura 1.4 (b)). Tem-se que a força exercida sobre uma carga para que se desloque sobre a linha de campo é dada pela equação (1.2) quando se isola a força \vec{F} ,

$$\vec{F} = q \vec{E}.$$

Assim, a equação (1.5) fica escrita na forma,

$$W_{A \rightarrow B} = q \int \vec{E} \cdot d\vec{l}.$$

Utilizando-se a definição de produto escalar, em que θ é o ângulo entre \vec{E} e $d\vec{l}$ (Figura 1.4 (b)),

$$W_{A \rightarrow B} = q \int_A^B E dl \cos\theta.$$

Considerando-se a projeção de $d\vec{l}$ na direção de \vec{r} , um deslocamento elementar $d\vec{r}$ (Figura 1.4 (b)) será dado por, $dr = dl \cos\theta$, tal que,

$$W_{A \rightarrow B} = q \int_A^B E dr,$$

substituindo a Eq. (1.4) para o caso de uma carga pontual

$$W_{A \rightarrow B} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \int_A^B \frac{dr}{r^2},$$

obtém-se,

$$W_{A \rightarrow B} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right). \quad (1.6)$$

Considerando agora, que a carga se move do ponto B ao ponto A , o trabalho será expresso por

$$W_{B \rightarrow A} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right). \quad (1.7)$$

Assim, o trabalho total, no percurso de ir de A até B (Eq. (1.6)) e retornar ao ponto inicial A (Eq. (1.7)), é nulo, pois,

$$W_T = W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow A} = 0. \quad (1.8)$$

Portanto, o trabalho total realizado pela força elétrica sobre uma carga q , em um campo elétrico, em uma trajetória fechada (circuito fechado), é nulo, situação válida para campos conservativos.

Logo, a equação do trabalho em um circuito fechado C (Eq. (1.5)) fica escrita na forma

$$W = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0. \quad (1.9)$$

Usando o teorema de Stokes, obtém-se que $\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_S (\vec{\nabla} \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = 0$. O integrando

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \vec{0}, \quad (1.10)$$

quando o campo elétrico e suas derivadas forem contínuas. A equação (1.10) é mais um critério para se verificar se um campo é ou não conservativo (MARTINS, 1973).

Pode-se associar o trabalho realizado pela força elétrica, ao se deslocar entre os pontos A e B uma carga de prova no interior de um campo conservativo, com a variação da energia potencial entre esses dois pontos (A e B). Assim, pode-se escrever

$$\begin{aligned} W_{A \rightarrow B} &= -\Delta E_P = q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \\ E_{PB} - E_{PA} &= -q \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \\ \frac{E_{PB}}{q} - \frac{E_{PA}}{q} &= - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}. \end{aligned} \quad (1.11)$$

A razão entre a energia potencial e a carga elétrica é definida como potencial elétrico, V ,

$$\frac{E_P}{q} = V. \quad (1.12)$$

Assim, $\frac{E_{PB}}{q} - \frac{E_{PA}}{q}$ corresponde à diferença de potencial (ddp), $V_B - V_A$. Essa ddp é definida como U , e a Eq. (1.11) fica escrita como

$$V_B - V_A = U = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q}. \quad (1.13)$$

A partir das Equações (1.12) e (1.13), nota-se que tanto o potencial (V) quanto a ddp (U), no SI, tem a unidade representada por J/C ou Volt (V).

Quando se trata de diferenças de potencial, escolhe-se um ponto de referência para todos os demais pontos. Uma das “escolhas” é que no infinito o potencial seja nulo,

$$V\left(\frac{1}{r}\right)_{r \rightarrow \infty} = 0. \quad (1.14)$$

Como a diferença de potencial ($U = V_B - V_A$) devido à presença de uma carga puntiforme Q é dada por

$$U = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right),$$

se, B é um ponto qualquer e $r_A \rightarrow \infty$, então, o potencial no ponto A tende a zero (Eq. (1.14)), e

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_B}.$$

Logo, de forma geral,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}. \quad (1.15)$$

representa o potencial em um ponto qualquer a uma distância \vec{r} da carga puntiforme Q .

Para um conjunto de cargas, e V serem uma grandeza escalar, é possível se escrever o potencial no ponto de referência 0,

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \rightarrow V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_i}. \quad (1.16)$$

O potencial pode ser calculado para linhas de cargas, superfície e volume, mas nos restringiremos a uma ou mais cargas.

Neste ponto, fecha-se, para o presente trabalho com a parte dos conceitos referentes à Eletrostática. Segue-se, na próxima seção o início da Eletrodinâmica, cargas elétricas em movimento.

1.3.4 Corrente Elétrica

Sempre que os portadores de carga se movimentam de forma ordenada, temos a denominada corrente elétrica (i).

Quando as cargas em movimento que atravessam uma seção transversal de área A não ocorram de uma razão constante, cabe introduzir a densidade de corrente (\vec{J}):

$$i = \int_A \vec{J} \cdot d\vec{A}. \quad (1.17)$$

Nos casos mais comuns \vec{J} e $d\vec{A}$ são paralelos. Logo, pela definição de produto escalar, $J dA \cos\theta$, o ângulo entre eles é 0° , resultando em

$$i = \int_A J dA.$$

Quando a densidade de corrente for constante

$$i = J A. \quad (1.18)$$

Considere-se que passem pelo material, n portadores de carga elétrica e , e \vec{v} seja a velocidade média desses portadores, o número de cargas por unidade de volume é representado por N ,

$$N = \frac{n}{V}. \quad (1.19)$$

Considerando-se que o material por onde esses portadores de cargas transitem seja em formato cilíndrico, analisando-se que, no tempo inicial eles passem pelo ponto A e, em um tempo posterior em B . Sendo esse intervalo de comprimento L percorrido com uma velocidade média $|\vec{v}| = v$ em um tempo Δt , o volume será dado por:

$$V = LA = v \Delta t A. \quad (1.20)$$

Substituindo-se a Eq. (1.20) na Eq. (1.19):

$$N = \frac{n}{v \Delta t A}. \quad (1.21)$$

Considerando-se a Eq. (1.1), $q = ne$, e substituindo-se o n da Eq. (1.21)

$$\begin{aligned} q &= Nv\Delta t Ae, \\ \frac{q}{\Delta t} &= Nev A. \end{aligned} \quad (1.22)$$

Comparando-se as Equações (1.18) e (1.22) obtém-se

$$i_m = \frac{q}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \quad (1.23)$$

e

$$j = Nev. \quad (1.24)$$

que são as equações da corrente média Eq. (1.23), e da densidade de corrente Eq (1.24).

Assim, em determinado material, a corrente que atravessa uma área de seção transversal A é dada pela quantidade de carga q que passa por essa área em determinado intervalo de tempo Δt . Matematicamente a corrente instantânea em função da taxa temporal da variação da carga é expressa por

$$i = \frac{dq}{dt} . \quad (1.25)$$

Para que as cargas se movimentem de forma ordenada, é necessário fornecer energia a elas, assim, quando se aplica uma diferença de potencial (um campo elétrico externo) nas extremidades de um corpo, é possível “observar” uma corrente elétrica (SEARS *et al.*, 2008).

A ddp pode ser fornecida pelos chamados “geradores” de energia elétrica, como as baterias (tipo pilhas ou as de automóveis), e por causa do excesso de elétrons de um polo (-) em relação a outro polo (+).

Há dois tipos de corrente elétrica: uma que é constante no tempo, denominada de corrente contínua (CC), como a que temos em uma bateria/pilha, e a denominada de corrente alternada (CA), que muda periodicamente no tempo em “sentido”, que é a da rede elétrica que chega às residências por meio dos terminais das tomadas com uma frequência de 60 Hertz ($Hz = 1/s$) (RAMALHO, et al. (1977)).

A unidade de corrente no SI é Ampère (A), em homenagem ao físico francês, Jean-Marie Ampère, e $1 A = 1 C/s$.

Mas as cargas se movimentam em qualquer tipo de material? E de qualquer forma? As respostas estão na seção seguinte.

1.3.5 Condutores e Isolantes

Do ponto de vista microscópico (nível quântico), a energia de uma partícula é apresentada por níveis energéticos. São denominadas de bandas de energia um conjunto de níveis de energia que os elétrons, em um material sólido, podem possuir. Existe uma energia denominada de **energia de Fermi** (E_F), que é o estado energético preenchido de maior energia.

A **Banda de Valência** é uma banda de energia preenchida parcialmente com elétrons que possuem o maior estado energético, ou uma banda vazia. A separação entre as bandas é denominada de **Banda Proibida** (*Band Gap*) e são os níveis de energias que os elétrons não podem ocupar.

A **Banda de Condução** é uma banda parcialmente preenchida de elétrons, é a banda mais próxima do nível de Fermi. Os elétrons que se situam mais próximos desse nível **são os que possuem maior probabilidade de se tornarem elétrons livres, sendo esses que irão conduzir eletricidade pelo material em forma de corrente elétrica.**

Os **elétrons livres** são aqueles elétrons que possuem uma energia maior do que a energia de Fermi⁵, pois somente eles sentem a ação e são acelerados na presença de um campo elétrico.

Na Figura 1.7, são ilustradas as bandas de energia para três diferentes classes de materiais⁶: os condutores, os dielétricos (isolantes) e os semicondutores.

É possível observar que, nos condutores em geral, as bandas de Valência e Condução são sobrepostas (ou muito próximas), enquanto que, nos isolantes e semicondutores ($E_{gap} < 3 eV$) as bandas são separadas (o espaço entre elas é denominado de *gap*), sendo esse espaçamento maior nos isolantes ($E_{gap} > 3 eV$).

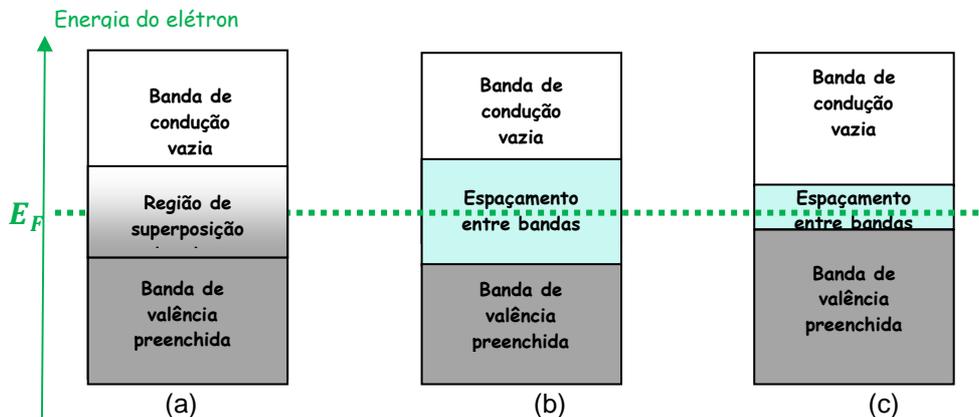
Portanto, quando conectados a uma fonte de energia, os **condutores sólidos** são materiais em que as partículas portadoras de carga, denominadas de elétrons livres, estão em maior quantidade. Os **semicondutores** são materiais com

⁵O nível de energia de Fermi, é a energia do nível mais ocupado energeticamente à temperatura absoluta em um sistema quântico fermiônico (spin $1/2$). Spin é uma propriedade intrínseca das partículas elementares relacionada a seu momento angular. Os férmions possuem spin semi-inteiros e os bósons spin inteiro.

⁶Podem ser observadas o caso condutor e isolante no simulador PhET Colorado – disponível em <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR>.

baixo fluxo de elétrons livres, e os **dielétricos ou isolantes**, aqueles em que não há elétrons livres.

Figura 1.7- Bandas de energia: (a) condutor, (b) isolante e (c) semiconductor. Sendo E_F o nível de energia de Fermi. O espaçamento entre bandas é denominado de banda proibida.



Fonte: adaptada de (Callister, 2008 e Correia e coautores, 2017).

Existem os **supercondutores**, que são materiais que conduzem corrente sem perda de energia e sem nenhuma resistência. Não se trata de um material na sua forma natural, por isso deve ser resfriado em temperaturas extremamente baixas. Para se ter uma ideia, a sua descoberta pelo físico holandês Heike Kamerlingh Onnes em 1911, ocorreu quando ele analisava o mercúrio a uma temperatura de 4 K ($-269,15^\circ\text{C}$).

Serão focados, a seguir, somente os materiais na sua forma natural, os isolantes, os semicondutores, e os condutores.

No caso dos condutores e semicondutores, vale se ressaltar que a mobilidade de cargas elétricas depende do estado físico do condutor (Quadro 1.2). Os portadores de carga além dos elétrons livres podem ser a “combinação” entre íons e elétrons.

Quadro 1.2 – Informação quanto ao estado físico do condutor e seus respectivos portadores de carga, e exemplos de onde atuam.

Estado Físico	Portadores de carga	Exemplo
Plasma	íons (+) e elétrons (-)	raios; arcos elétricos; tela de TV; raios; lâmpadas fluorescentes; entre outros.
Gasoso	íons (+) e elétrons (-)	gás ionizado
Líquido	íons (+) e íons (-)	Água do mar; soluções iônicas

Sólido	"elétrons livres"	Condutores metálicos; semicondutores
--------	-------------------	--------------------------------------

Fonte: http://www.rc.unesp.br/showdefisica/99_Explor_Eletrizacao/paginas%20htmls/Eletrons%20livres.htm

Conforme Callister (2008), a facilidade com que um material é capaz de transmitir uma corrente elétrica é expressa em termos da condutividade elétrica ou do seu inverso, a resistividade elétrica.

Na Tabela 1.1, apresenta-se a classificação de alguns materiais: condutor, semicondutor, ou isolantes (dielétricos), de acordo com a sua resistividade (ρ) que depende da temperatura e do material. Embora os autores não informem a temperatura, diante de uma pesquisa, os valores são próximos aos informados para 20°C.

Tabela 1.1 – Resistividade de alguns materiais.

Material	Resistividade (Ωcm)
Isolantes (Dielétricos)	
Al ₂ O ₃	$>10^{14}$
SiO ₂	$>10^{14}$
Si ₃ N ₄	$>10^{14}$
MgO	$>10^{14}$
Borracha vulcanizada	10^{14}
Nylon®	10^{14}
Teflon®	10^{16}
Semicondutores⁷	
Ge	40
SiC	10
B ₄ C	0,5
Condutores	
Grafite ou Grafita	$3,5 \times 10^{-3}$
Prata	$1,5 \times 10^{-6}$
Au	$2,44 \times 10^{-6}$
Fe	13×10^{-6}
Cu	$1,72 \times 10^{-6}$
Al	$2,8 \times 10^{-6}$

Fonte: adaptado de Padilha (2000) e Rolim, p. 7 (2002).

Conforme a Tabela 1.1, é possível se distinguir condutores, semicondutores e isolantes em função do valor da resistividade. Portanto, quanto mais resistente for

⁷Um exemplo de semicondutor é um dispositivo eletrônico denominado de transistor. Pois é feito de Silício puro ou Germânio, ou outro elemento semicondutor. Sua função é amplificar ou trocar sinais eletrônicos e potência elétrica. Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Trans%3%ADstor>>.

um material ao trânsito de cargas elétricas em um determinado intervalo de tempo, menor será a corrente que por ele transita.

Portanto, conforme citado por Martins (1973)

Quando aplicamos um campo elétrico a um dado material, os elétrons desse material podem ou não se libertar e, conseqüentemente, podem ou não produzir corrente elétrica. Caso o material apresente cargas livres, haverá corrente (condutor); caso contrário, o material é um dielétrico (isolante). (MARTINS, 1973, p.152).

Quais efeitos podem ser gerados com a passagem da corrente elétrica em um material condutor? É o que será apresentado na próxima subseção.

1.3.6 Materiais Condutores e os Efeitos da Corrente Elétrica

Como citado na seção anterior, um material condutor é um corpo que permite a mobilidade de cargas elétricas; no caso de condutores cujo estado físico seja o sólido, os elétrons livres são os portadores de carga. Quando submetidos a uma ddp (campo elétrico externo), movimentam-se em razão da força elétrica desse campo.

Um fio de cobre possui aproximadamente $8,5 \times 10^{22}$ elétrons livres/cm³. Observando-se a Tabela 1.2, tem-se que o cobre é um bom condutor, pois tem baixa resistividade.

Dependendo do tipo de material condutor, de sua natureza e da intensidade da corrente elétrica que o percorre, podem-se observar algumas conseqüências produzidas pela corrente elétrica. Entre os efeitos produzidos pela corrente elétrica, citam-se os fisiológicos, térmicos, químicos e magnéticos (RAMALHO et al., 1977).

1.3.6.1– Efeitos Fisiológicos

Esses efeitos são observados quando ocorre a passagem de uma corrente elétrica em organismos vivos, conhecidos por “choque” elétrico, que provoca contrações musculares, podendo danificar o coração, e até levar à morte. Essa passagem de corrente elétrica pode ocorrer de diversas formas, como, por exemplo, ao se mexer em rede elétrica sem equipamentos de segurança (EPIs) apropriados e/ou por acidente.

Um dos casos mais comuns é uma criança ou alguém colocar o(s) dedo(s) ou inserir um material metálico nos orifícios de uma tomada. A intensidade de corrente

elétrica sobre o corpo humano produz efeitos diferenciados. Nesse sentido, corrente com valor em torno de 1 mA produz “cócegas” ou formigamento leve. Em corrente elétrica em torno de 10 mA, um ser humano pode perder o controle muscular, não conseguindo, inclusive, abrir as mãos. Em razão disso, recomendam-se não dar as mãos a uma pessoa que está levando um choque, pois além de sofrer o choque, as contrações musculares impedem que as mãos se soltem. Correntes com intensidade entre⁸ 10 mA e 3 A pode ser fatal ao ser humano. Nessa situação, ocorrem alterações da frequência cardíaca ocasionando interrupções do bombeamento sanguíneo responsável pela oxigenação do organismo. Correntes mais elevadas podem paralisar o coração. (RAMALHO et al., 1977).

O ar é um condutor ou isolante? Ele é um bom dielétrico (isolante), mas, sob uma tensão elétrica de $3 \frac{M}{m}$, torna-se um condutor. Esse valor máximo do campo elétrico em que os isolantes passam a se comportar como condutores, formando corrente elétrica e dependendo do material e de sua espessura, é denominada de rigidez dielétrica. No caso da borracha o valor é de 12 MV/m, o papel, 16 MV/m e o teflon^{®9} 80 MV/m.

Fenômenos naturais interessantes são as descargas elétricas, conhecidos como raios, que ocorrem quando há ruptura da rigidez dielétrica. As moléculas de ar são ionizadas quando a parte do solo abaixo da nuvem tenha uma distribuição de cargas positivas de mesma intensidade a das cargas negativas da nuvem, e gera um campo elétrico intenso na região de ar entre as nuvens e o solo¹⁰, (Figura 1.8). Esse campo elétrico intenso em um meio dielétrico gasoso provoca a liberação de elétrons (elétrons livres) das camadas mais externas dos átomos o que causa a descarga elétrica. Esse processo somente ocorre após ocorrer a ruptura da rigidez dielétrica do meio, e como visto no ar 3 MV/m. (DA SILVA,

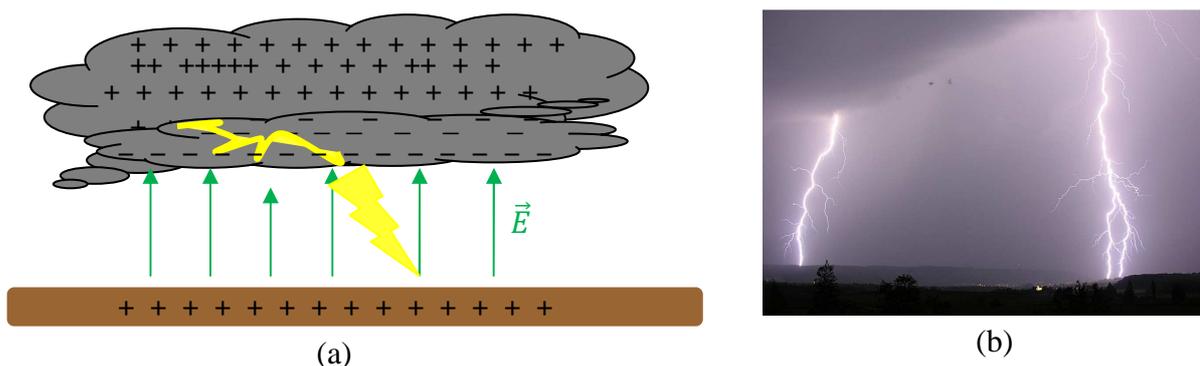
⁸ 1mA equivale a 0,001 A.

⁹ Teflon nome comercial do elemento químico politetrafluoretileno (PTFE), $C_nF_{2n=2}$, substância inerte que não age com outros elementos químicos. Descoberto em 1938 por Roy J. Plunkett (funcionário da empresa *DuPont*). Patenteado em 1945 pela empresa *DuPont* em parceria com a *General Motors*. Por resistir a altas temperaturas (ponto de fusão 327 °) foi proposto, em 1954, pelo engenheiro francês Marc Grégoire para ser utilizado como camada antiaderente em painéis. Atualmente além de ser utilizado em utensílios domésticos, é utilizado em próteses (na área da saúde), coletores de prova de balas e retardantes de chamas (na área de segurança). Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Politetrafluoretileno>.

¹⁰ Podem ainda ocorrer entre nuvens, e entre as nuvens e estratosfera.

2016). Durante esse processo de descarga elétrica, os elétrons livres são liberados das moléculas de ar e capturados por moléculas ionizadas emitindo luz, que são os relâmpagos (clarão que causa o efeito visual).

Figura 1.8 – (a) Imagem ilustrativa Raios na atmosfera - efeito de ruptura dielétrica no ar – Campo elétrico \vec{E} induzido formado entre o solo e a nuvem, tornando o ar condutor. (b) Registro fotográfico do raio.



Fonte: cedida por H. Mukai e adaptada de da Silva (2016). (b) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Trov%C3%A3o>

O movimento das cargas elétricas na atmosfera gera uma corrente elétrica de grande intensidade, que é liberada em forma de descarga elétrica, rompendo e aquecendo o ar ao longo do percurso por efeito Joule de forma brusca, provocando uma rápida dilatação no ar, produzindo assim uma alta pressão (em torno de dez vezes a pressão atmosférica) que são eliminadas em forma de ondas sonoras conhecidas como trovões. Ainda em relação às ondas sonoras, o som até chegar aos ouvidos, possui a interferência dos fenômenos de difração e reflexão quando elas se chocam com os meios materiais da localização, próximo a descarga excede $120 \text{ dB}(A)$.

Em certos casos, organismos vivos podem ser levados à morte quando são atingidos por raios. Uma maneira de se minimizar os efeitos dos raios, quando se está em espaço aberto e desprotegido, é diminuir a diferença de potencial, sentando-se ao solo e posicionando e mantendo os pés o mais próximos possível.

Segundo o INPE¹¹, a intensidade típica da corrente de um raio é de $30 \times 10^3 \text{ A}$, cerca de 1.000 vezes a de um chuveiro elétrico, e a descarga percorre distâncias da ordem de 5 Km . Por isso, muitas mortes por raios, tanto de humanos e

¹¹Fonte: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>. Acesso: 27/05/2021.

principalmente de animais como bovinos em pastos, são frequentemente veiculadas em noticiários. Assim, a importância do uso de para-raios, pois estes atraem os raios e os descarregam diretamente no solo.

Quando os raios atingem veículos, ocorre a conhecida Gaiola de Faraday. Ela foi proposta, em 1843, por Michel Faraday, e era uma sala revestida com folhas metálicas, tal que permitisse receber altas descargas de tensão de um gerador. Faraday observou, utilizando um eletroscópio, que não havia carga elétrica no interior dessa sala, mas somente nas paredes revestidas por folhas metálicas. Esse efeito pode ser observado no vídeo disponível no link: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/transcoded/3/30/Faraday_cage_-_FISL_14_-_2013-07-03.ogv/Faraday_cage_-_FISL_14_-_20130703.ogv.240p.webm, de autoria de Eugenio Hansen, OFS, 2013, em que uma pessoa, dentro da sala condutora submetida a uma descarga elétrica de alta tensão não sofre nenhum dano.

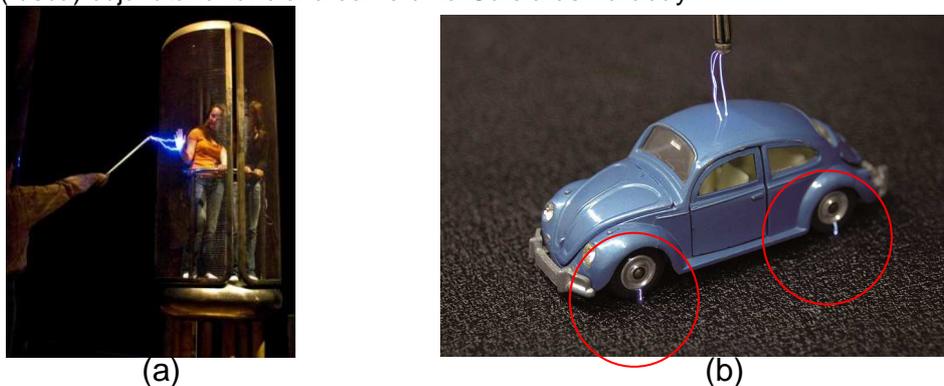
Fisicamente o que ocorre é que a superfície condutora (folhas metálicas) quando eletricamente carregada gera, um efeito de repulsão das cargas conduzindo-as homogeneamente para o envolto da superfície condutora, tornando nulo o efeito do campo elétrico no seu interior, e impede as descargas elétricas no interior do condutor (no caso do exemplo anterior, dentro da sala).

O efeito da Gaiola de Faraday é o que protege as pessoas dentro de um carro quando um raio o atinge. O depoimento de um casal que saiu ileso de um raio que atingiu o carro em que estavam pode ser visto no vídeo disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=y6Krr4TazMg&t=34s>; também há um texto que descreve o ocorrido, disponível em: <https://tecnoblog.net/meiobit/289461/raio-cai-em-caminhonete-e-camera-de-seguranca-registra-tudo/>.

Na Figura 1.9, apresentam-se uma foto de uma gaiola de Faraday, (a), com uma pessoa no seu interior, e na imagem (b) um carro em que uma descarga elétrica após percorrer a sua lataria, é eliminada no solo. Mesmo a borracha do pneu sendo um isolante, a descarga é tão alta que vence a ruptura da rigidez

dielétrica, que, no caso da borracha é de $12 \frac{MV}{m}$, portanto, a borracha passa a ser condutor de eletricidade¹². Em destaque, as descargas circuladas em vermelho.

Figura 1.9 – Imagem fotográfica: (a) de uma pessoa dentro de uma Gaiola de Faraday e em (b) um carro (fusca) cuja lataria funciona como uma Gaiola de Faraday



Fontes:(a)https://pt.wikipedia.org/wiki/Gaiola_de_Faraday(b)https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Faraday_cage.jpg

O processo da Gaiola de Faraday se denomina blindagem eletrostática e é uma proteção contra descargas elétricas, tendo, assim, grande importância, como no caso do raio que atingiu o carro, como já citado, ou mesmo quando um avião é atingido por um raio e nada ocorre aos passageiros. Também é utilizada como bloqueadora do sinal de celulares em presídios.

Esse último, é um experimento simples de ser verificado com os alunos: envolva uma caixa pequena que tenha tampa com papel alumínio, coloque, dentro, o seu celular ligado, e feche a tampa. Ligue de outro aparelho telefônico e observe que o sinal em seu celular foi bloqueado. Provavelmente do aparelho de onde está sendo feita a ligação, se ouvirá a mensagem de celular desligado ou fora da área de serviço. Outra opção é usar o rádio do celular e se verá que o som é bloqueado.

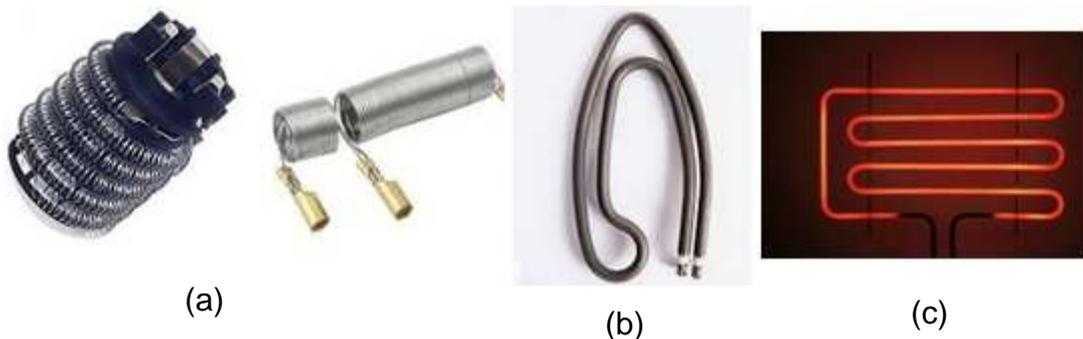
1.3.6.2 – Efeitos Térmicos

Em um material condutor, quando os elétrons livres se chocam com os átomos desse material, entram em vibração, aumentando a sua temperatura. Quanto maior a vibração, maior a temperatura, fato esse que aquece o material.

¹² Uma referência com mais detalhes e exemplos sobre a blindagem eletrostática está disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/dieletricos.htm#:~:text=A%20ruptura%20da%20rigidez%20diel%C3%A9trica%20ocorre%20quando%20o,a%20ser%20conduzidos%20atrav%C3%A9s%20da%20sua%20rede%20cristalina.>

Esse efeito é conhecido por **efeito Joule** (transformação de energia elétrica em energia térmica). O efeito Joule aparece no secador de cabelos, aquecedores, chuveiros elétricos (Figuras 1.10 (a)), ferros elétricos de passar roupa (Figura 1.10 (b)), grelhas elétricas (Figura 1.10 (c)), entre outros (RAMALHO, et al., 1977).

Figura 1.10 – Imagens fotográficas de exemplos de elementos condutores que, ao serem conectados em uma fonte de tensão, transformam energia elétrica em energia térmica: (a) “resistências de chuveiro”, (b) ferro de passar roupa e (c) uma grelha ligada à rede elétrica. As imagens não estão em tamanhos proporcionais.



Fontes: (a) <https://www.submarino.com.br/busca/resistencia>, (b) <https://www.madeiramadeira.com.br/resistencia-ferro-passar-220v-a34-sun-special-2412433.html> (c) <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-efeito-joule-suas-aplicacoes.htm>

Nesses equipamentos, o condutor é um elemento denominado de resistência e leva esse nome por dificultar o deslocamento dos elétrons e, conseqüentemente, da corrente elétrica.

A resistência elétrica de um fio delgado e homogêneo¹³ pode ser escrita como (RAMALHO et al., 1977)

$$R = \rho \frac{\ell}{A}, \quad (1.26)$$

ou seja, a resistência de um condutor depende da resistividade elétrica do condutor ρ (que depende do material e da temperatura, os valores de alguns materiais foram apresentados na Tabela 1.1), do comprimento do fio ℓ (quanto maior o comprimento maior a resistência), e da área da seção transversal (quanto maior a área menor a resistência).

O inverso da resistividade é a condutividade, denotada pela letra σ .

¹³ Por meio do simulador do PhET, é possível variar as grandezas e ver como o fio tem suas dimensões alteradas: https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_pt_BR.html

$$\sigma = \frac{1}{\rho}. \quad (1.27)$$

Unidade: no sistema gaussiano $(cm.\Omega)^{-1}$, e no sistema internacional (SI) $(m.\Omega)^{-1}$.

Curiosidade - Qual material é mais condutor: o ouro ou o cobre? Tem-se que a resistividade de cada uma a $20^{\circ}C$ é dada por, $\rho_{Cu} = 1,72 \times 10^{-6} cm.\Omega$, e $\rho_{Au} = 2,44 \times 10^{-6} cm.\Omega$. Logo, a condutividade possui os valores, $\sigma_{Cu} = 0,58 \times 10^{+6} (cm.\Omega)^{-1}$ e $\sigma_{Au} = 0,41 \times 10^{+6} (cm.\Omega)^{-1}$. Portanto, o cobre é mais (~71%) condutor que o ouro. A prata (Ag) é o material com maior condutividade, em torno de 108%, comparando com o cobre. O ouro, quando usado, é em razão da sua baixa oxidação em relação aos demais elementos.

Muitos pensam, o autor inclusive pensava, que o ouro é mais condutor que o cobre, mas que não é utilizado por causa do valor comercial.

A seguir, apresenta-se o funcionamento de uma lâmpada incandescente, utilizada no aparato experimental do Produto Educacional.

➤ Lâmpada Incandescente

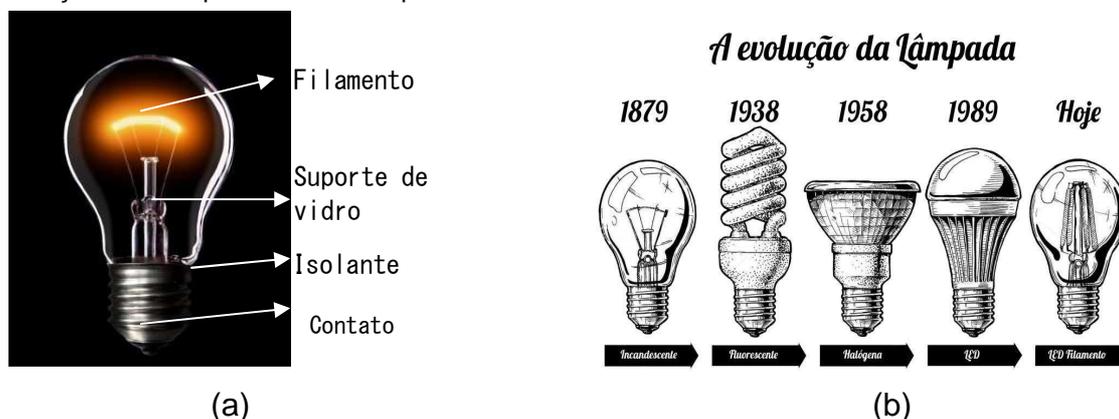
A lâmpada incandescente foi inventada de forma comercial por Thomas Edison, em torno do ano de 1878. Ela é constituída de um bulbo de vidro com gás de argônio ou criptônio, possui, no seu interior, um filamento que é um fio de tungstênio em torno de 1 m de comprimento enrolado em espiral com um diâmetro menor que 0,1 mm conectada à sua base por fios condutores. Essa base é “rosqueada” no soquete do circuito elétrico (Figura 1.11 (a)). Quando a corrente elétrica passa pelo filamento, este aquece (efeito Joule) em uma temperatura de $3000^{\circ}C$, de forma que o filamento emite luz por se tornar incandescente (RAMALHO et al., 1977).

O brilho da lâmpada está relacionado à ddp em que é ligada, bem como ao valor da potência nominal¹⁴. Se ligada em uma ddp menor, a intensidade da luz é menor; se ligada em uma ddp maior, o filamento se rompe e se diz que a lâmpada “queimou”.

¹⁴Informações estas gravadas na lâmpada e na sua caixa,

Uma imagem ilustrativa da evolução das lâmpadas está apresentada na Figura 1.11 (b): 1879 – incandescente; 1938 – fluorescente; 1958 – halógena; 1989 – *led*; “Hoje” – *led* filamento (GLIGHT, 2020).

Figura 1.11 – (a) Imagem fotográfica de uma lâmpada incandescente; (b) desenho esquemático da evolução das lâmpadas desde a época de Thomas Edison



Fontes: (a) <https://www.abilumi.org.br/fim-da-linha-para-as-lampadas-incandescentes/>; (b) <https://www.glight.com.br/blog/voce-conhece-historia-da-lampada-eletrica/>

As lâmpadas incandescentes, de potência nominal de 100 W e 150 W, tiveram sua produção encerrada, pois estão proibidas no Brasil desde 2012. A partir de 30/06/2016, foram proibidas totalmente tanto a produção, quanto a comercialização de lâmpadas incandescentes que usem a tensão de rede elétrica. Esse tipo de lâmpada apresenta um consumo de energia bem maior do que as outras lâmpadas. Por exemplo, comparando-se lâmpadas com a mesma luminosidade, consome 75% em relação às lâmpadas fluorescentes (funcionam por ionização de gás no seu interior) e 85% em relação às de *led* (diodo emissor de luz – são semicondutores). (PENSAMENTO VERDE, 2016).

Observou-se, nos testes da elaboração do aparato experimental do PE deste trabalho, que, utilizando-se uma lâmpada de *led* ou fluorescente, além de a questão da luminosidade ser afetada, o processo de aquecimento não ocorre na amostra condutora do circuito (que é a forma lúdica do experimento), ou, se ocorre, é muito lento e não foi perceptível. Acredita-se que o motivo é justamente por essas lâmpadas terem baixo ou nenhum efeito Joule.

Por essa razão, no presente trabalho, utilizou-se uma lâmpada incandescente que o autor já possuía. Posteriormente à aplicação do PE, o autor adquiriu uma

lâmpada halógena e reproduziu resultados semelhantes aos obtidos por meio da lâmpada incandescente em termos.

1.3.6.3– Efeitos Químicos

Quando uma corrente elétrica (i) atravessa um meio eletrolítico (ex. água com sal), ocorre reação química, normalmente utilizada para o recobrimento de metais (técnica denominada de galvanoplastia). Esse método, também conhecido como eletrodeposição, foi primeiramente proposto, em 1805, pelo químico italiano Luigi Brugnatelli, que depositou o ouro sobre a prata e utilizou a pilha de Volta como fonte. Alexandre Volta havia criado a pilha cinco anos antes (Gaspar, 2013).

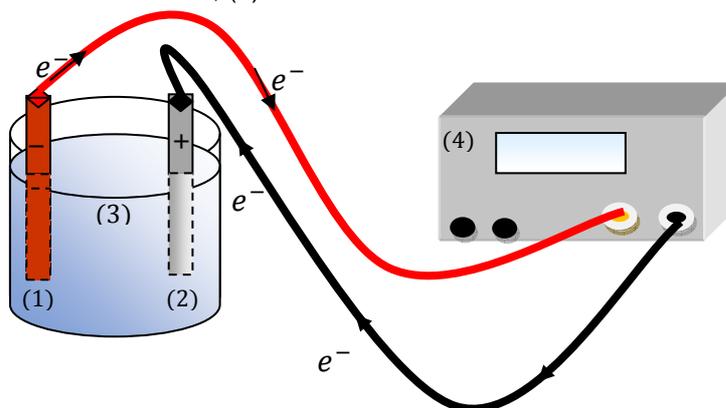
A galvanoplastia é um exemplo de processo de transformação de energia elétrica em energia química. É constituído de dois terminais, **um negativo** (o ânodo), que é o metal que doará o revestimento (ex. prata), e **outro positivo** (o cátodo), que é o material que receberá o revestimento (ex. um anel), imersos dentro de uma solução aquosa contendo o elemento do material a ser depositado. Outro processo é quando o cátodo é um material inerte, e tanto o cátodo quanto o ânodo permanecem mergulhados em uma solução saturada de água e sal com o metal a ser depositado.

Nessas duas técnicas, a perda de elétrons ocorre no ânodo e o restante fica no cátodo e na solução eletrolítica. Na primeira, há uma transformação no processo: o metal do ânodo sofre o processo de oxidação¹⁵ aumentando os cátions na solução, o que aumenta a quantidade de material a ser depositado; na segunda, devido ao sal, somente os cátions do metal sofrem o processo de redução no objeto a ser depositado. Na Figura 1.12 é ilustrada a montagem do processo de galvanização.

Os tipos de galvanização dependem do elemento com que o objeto será coberto, por exemplo, com prata (Ag), é denominado de “prateação”; se for níquel (Ni), será niquelação ou niquelagem, e assim por diante.

¹⁵Oxidação, quando o átomo perde elétrons e redução quando o átomo têm ganho de elétrons, assim o processo de oxiredução é um processo simultâneo de troca de elétrons.

Figura 1.12 – Imagem esquemática da montagem experimental do processo de galvanização: (1) ânodo, (2) cátodo, (3) substância eletrolítica, (4) fonte de tensão.



Fonte: cedido por H. Mukai, 2020, baseada na figura da referência <<https://es.wikipedia.org/wiki/Galvanoplastia>>.

O efeito químico aparece em diversos outros sistemas físico-químicos como as pilhas e baterias de carro que são à base de soluções eletrolíticas. Processo esse que pode ser visto no artigo da referência (Oliveira, Valle e Zanluqui, 2001), em que propõem a montagem de uma pilha eletrolítica (Figura 1.13).

Figura 1.13– Imagem fotográfica para explicar o funcionamento de uma pilha eletrolítica.



Fonte: Oliveira, Valle e Zanluqui, 2001.

Nas palavras dos autores,

[...] formas simples e de baixo custo de se montar pilhas, empregando-se placas de zinco, magnésio e cobre mergulhadas diretamente nas soluções eletrolíticas. Como soluções eletrolíticas podem ser empregadas suco de frutas cítricas, ou mesmo apenas água de torneira. A tensão e corrente produzidas pelas pilhas montadas são suficientes para acionar dispositivos com baixa demanda de potência, como relógios analógicos e digitais (OLIVEIRA, VALLE e ZANLUQUI, p. 235, 2001).

Observando-se que as soluções eletrolíticas sugeridas são as frutas cítricas e água de torneira, e os condutores (sólidos) utilizados placas de zinco, magnésio e cobre.

1.3.6.4 – Efeitos Magnéticos

O último efeito apresentado sobre cargas elétricas em movimento é o que ocorre quando um fio condutor ligado a uma fonte se aproxima de uma bússola.

Esse efeito foi descoberto por Hans C. Oersted (físico e químico dinamarquês) em 1820: uma corrente elétrica passando por um fio fazia defletir a agulha de um imã, ou seja, gerava um campo magnético em torno do fio condutor (CHAIB e ASSIS, 2006).

O efeito na bússola do experimento de Oersted pode ser observado com um secador de cabelo, quando se posiciona uma bússola perto do cabo, onde está localizado o fio elétrico (condutor), e o interruptor é ligado ao motor do ventilador. Essa deflexão é causada pela corrente que atravessa o fio gerando um campo magnético e provocando uma deflexão na agulha da bússola (Figura 1.14); nesse caso, o secador deve estar ligado na rede elétrica.

Figura 1.14 – Imagem fotográfica: (a) secador desligado e (b) ligado, mostrando a deflexão da agulha na bússola posicionada perto do cabo de um secador de cabelo do efeito liga-desliga. Essa deflexão é análoga à observada por Oersted.



Fonte: arquivos do autor, 2021.

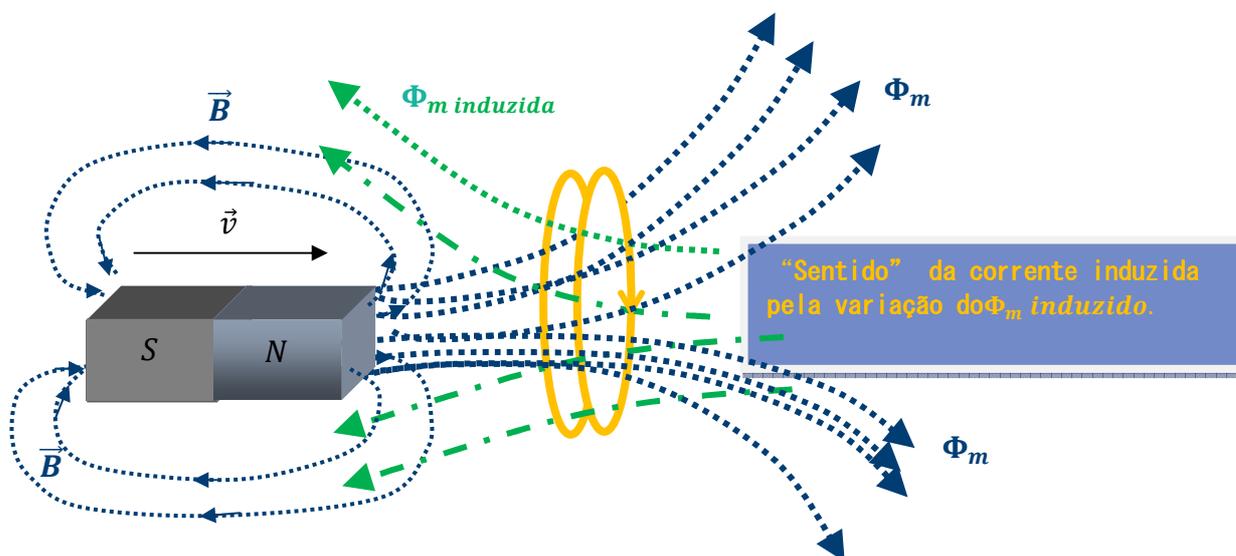
Conforme citado por Chaib e Assis (2006), Oersted declarou que: “Nessa situação, a agulha magnética será movida, e a sua extremidade que está sob a parte do fio de conexão mais próxima ao terminal negativo do aparelho galvânico será desviada para oeste.” (CHAIB e ASSIS, p.46,2006, apud OERSTED, p. 116, 1986).

Chaib e Assis (2006) esclarecem que o aparelho galvânico é o equivalente à pilha. A descoberta de Oersted unifica os fenômenos elétricos e os magnéticos, ou seja, “descobre-se” o eletromagnetismo.

Em 1831, o físico e químico britânico Michael Faraday descobre o processo inverso. “Que um campo magnético estacionário próximo a uma bobina também estacionária, ligada a um galvanômetro, não acusava a passagem da corrente elétrica. Mas que uma corrente temporária era acusada quando o campo magnético sofria uma variação” (MARTINS, p. 289, 1973). Assim, surge a Lei de Indução Eletromagnética (ou como também é conhecida Lei de Faraday).

A Figura 1.15 ilustra a Lei de Faraday. No caso, movimentando o ímã para dentro da espira a variação do fluxo do campo magnético no tempo (fem) gera uma força eletromotriz (fem) induzida e esta gera uma corrente elétrica induzida na espira (com o “sentido” indicado na espira – regra da “mão direita”, considerando-se a Lei de Lenz).

Figura 1.15– Desenho ilustrativo da Lei de Faraday-Lenz. Quanto mais próximo o ímã está da espira, maior o fluxo de campo magnético. As cores são meramente ilustrativas



Fonte: cedido por H. Mukai, 2020, adaptado de Gouveia em <<https://www.todamateria.com.br/lei-de-faraday/>>.

Para completar essa lei, H. Lenz (físico russo), em 1834, estabeleceu uma forma de justificar o sentido do movimento da corrente induzida, propondo se colocar um sinal negativo na Lei de Faraday, ou seja, que a fem ,

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt}. \quad (1.28)$$

em que, $\Phi_m = \oint \vec{B} \cdot \hat{n} dA$ é o fluxo magnético, em que \vec{B} é o campo magnético e A a seção transversal da área por onde passa o fluxo. Se Φ_m for constante em relação ao tempo, a fem (ε) será nula.

Alguns experimentos envolvendo o fenômeno de indução podem ser vistos nos vídeos explicativos com experimentos que Claudio Furukawa (UNIVESP) executa e justifica:

1. Aplicações do Fenômeno da Indução - Experimento - Transformador derretendo prego". Disponível no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=2FIUoufJBqI>>.
2. Aplicações do Fenômeno da Indução - Experimento - Mini usina hidroelétrica. Disponível no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=zc0mUBgQh5o>>.
3. Indução Eletromagnética- Experimento - Lei de Lenz: levitação magnética Disponível no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=uZj67ghKJbo>>.
4. Indução Eletromagnética - Experimento - Lei de Faraday: pêndulo eletromagnético. Disponível no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=Rba9EdXO368>>.
5. Indução Eletromagnética - Experimento - Lei de Lenz: freio magnético. Disponível no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=Oz15bjsSVxY>>.

A próxima seção será iniciada com os tópicos para se compreender o funcionamento de circuitos elétricos que é a base do aparato experimental utilizado no Produto Educacional desta dissertação.

1.3.7 Circuitos Elétricos

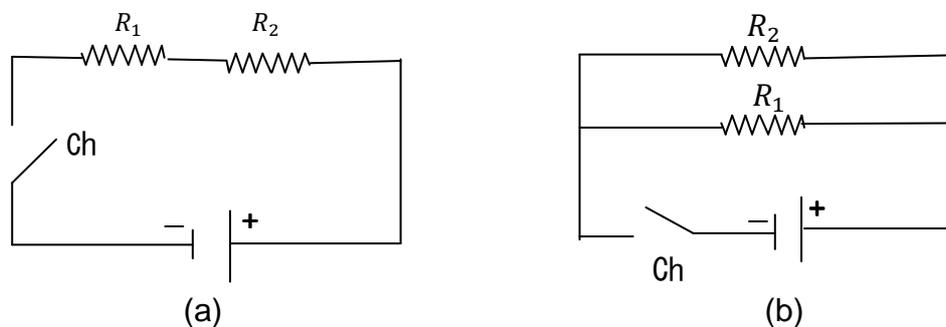
Uma ligação contendo pelo menos um dos elementos elétricos (resistores, capacitores, indutores, diodos, entre outros), ligados por um fio condutor a partir de uma fonte de energia elétrica tal como bateria, gerador ou fonte de alimentação, formando um circuito fechado por onde uma corrente elétrica possa passar, é denominado de um circuito elétrico (RAMALHO et al., 1977). Os circuitos elétricos

estão presentes no nosso cotidiano, para o funcionamento da maioria dos equipamentos.

Um circuito elétrico pode ser formado por uma ligação em série, em paralelo ou uma ligação mista de seus componentes elétricos, dependendo da necessidade.

Uma ligação em série é quando todos os componentes, no caso dois resistores, são ligados de forma contínua à fonte de energia (Figura 1.16 (a)), e, em paralelo, quando se ligam os componentes paralelamente à fonte de energia (Figura 1.16 (b)).

Figura 1.16 – Imagens ilustrativas de circuitos em (a) série, e em (b) paralelo, e uma chave (liga desliga) Ch, com dois resistores (R_1 e R_2).



Fonte: o autor, 2020.

Quando se fecha a chave convencionou-se que a corrente percorre o circuito do polo positivo para o negativo, oposto ao movimento dos elétrons. As equações para se determinar uma resistência equivalente para resistências ligadas em série e paralelo no circuito são, respectivamente,

$$R_{eqSérie} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots ; \quad (1.29(a))$$

$$\frac{1}{R_{eqParalelo}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots . \quad (1.29(b))$$

As ligações em série ou paralelo não são exclusivas de resistores, mas de qualquer elemento que seja necessário para se compor um circuito elétrico, como por exemplo, lâmpadas. No caso de lâmpadas/*leds* ligadas em série como pisca-pisca de enfeite de Natal (Figura 1.17 (a)), quando uma rompe as demais não acendem, pois não passa corrente. Nas ligações residenciais os fios são conectados de forma que as lâmpadas fiquem em paralelo para evitar esse problema (Figura 1.17 (b)).

Figura 1.17 – (a) Imagem da ligação em série das lâmpadas de enfeite de Natal. (b) Indicando a ligação em paralelo no circuito de residências



Fontes: (a) cedido por H. Mukai, 2021. (b) <<https://ensinandoeletrica.blogspot.com/2016/05/eletrica-residencial-interruptores.html>>

O uso dos equipamentos de medidas elétricas também tem regras na aferição de corrente e tensão. Esse equipamento se chama multímetro, por ter várias funções permissíveis de medidas de grandezas tais como tensão, corrente, resistência e temperatura, entre outras. Para cada função o botão seletor deve estar posicionado corretamente, bem como na escala correta. Para medidas de corrente, o multímetro deve ser inserido em série no circuito (Figura 1.18 (a)), já para medidas de tensão, deve ser inserido em paralelo ao circuito (Figura 1.18 (b)).

Figura 1.18 – Imagens de medida de: (a) corrente e (b) tensão usando-se um multímetro



Fonte: (a) como medir corrente continua disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4fg8tzt9Gf8>>(b) adaptado da referência (a).

1.3.7.1 - Lei de Ohm e Resistores

Em 1827, Georg Simon Ohm formulou a lei expressa matematicamente por:

$$U = Ri, \quad (1.30)$$

em que U é a diferença de potencial dada em Volts (V); R é a resistência dada em Ohm (Ω); e i a corrente elétrica dada em Ampère (A), no sistema internacional de unidades (SI). De forma que a equação (1.28) é chamada de Lei de Ohm.

A diferença de potencial é também conhecida como tensão, e, no cotidiano, muitos usam o termo 'voltagem'. A tensão/ddp/voltagem pode ser medida por meio de um multímetro na escala em Volts, conforme foi indicado na Figura 1.18(b). Essa grandeza, em uma associação em série de resistores, é a soma de cada ddp que passa por cada resistor, pois a corrente é a mesma; já no caso de uma associação em paralelo, a corrente se divide pela quantidade de associações em paralelo que há no circuito e a ddp é única para qualquer produto Ri fornecida ao circuito. No exemplo da Figura 1.16 (a), para o circuito em série contendo dois resistores, tem-se que:

$$U = U_1 + U_2 , \quad (1.31(a))$$

sendo U a ddp do resistor equivalente $U = R_{eqSérie} i$ e $R_{eqSérie}$ dada pela equação (1.27(a)). Enquanto que, para o caso da associação em paralelo, Figura 1.16 (b),

$$U = R_{eqparalelo} i , \quad (1.31(b))$$

em que $i = i_1 + i_2$ e $R_{eqparalelo}$ é dada pela equação (1.31 (b)).

Uma associação em um circuito elétrico pode também ser representada por uma associação mista, contendo elementos em série e em paralelo. No caso, acha-se primeiramente a resistência equivalente em série e, depois, em paralelo.

O valor da resistência depende apenas do material, da geometria e da resistividade do condutor e em geral independe diretamente da corrente elétrica¹⁶ (PADILHA, 2000), conforme equação (1.18).

No caso do circuito elétrico das Figuras 1.16, o elemento que fornece resistência à passagem de corrente elétrica, é um dispositivo eletrônico denominado de **resistor**. O mais comum no meio acadêmico é o resistor de valor fixo com barra de cores.

¹⁶Independente diretamente, porque a tensão entre os terminais do condutor pode ser escrita como $U = \frac{1}{\sigma A} L i$, substituindo na lei de Ohm, se obtém a eq.(1.18).

Essas cores possuem valores tabelados que fornecem o seu valor nominal, de forma que o tamanho do resistor não significa mais ou menos resistência, mas depende do material de que é feito.

Para fazer sua leitura *online* em *sites* da *internet* que facilitam essa atividade, como por exemplo: <<https://br.mouser.com/technical-resources/conversion-calculators/resistor-color-code-calculator>>.

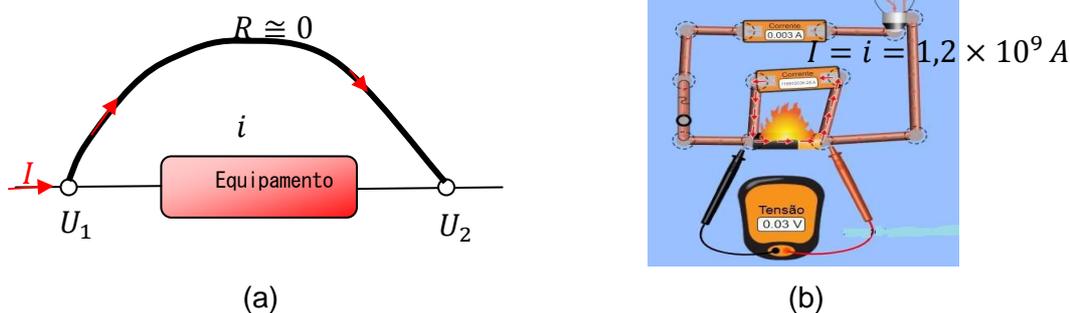
No site <https://www.raisa.com.br/resistores-tipos-usos-detahes>, há detalhes sobre os tipos de resistores, os mais utilizados e onde são utilizados.

Ainda em relação a circuitos elétricos, uma frase comumente ouvida, quando se trata de manuseios de equipamentos elétricos, é “*cuidado para não causar um curto circuito!*” ou em situações em que, ao se ligar um aparelho que possui um circuito elétrico com um material condutor, o aparelho não funciona. **Mas, o que vem a ser um curto circuito?** (RAMALHO et al., 1977).

Um curto circuito ocorre quando um condutor, de resistência desprezível, é ligado, em paralelo, entre dois pontos de um circuito elétrico (Figura 1.19 (a)).

Na maioria das vezes, no momento do curto circuito, como a corrente sofre uma brusca elevação, em razão à baixa resistência no condutor, a tensão se eleva muito rápido, dissipando calor, o que provoca explosão (danificando o equipamento ou dispositivo eletrônico) e/ou até incêndio (Figura 1.19(b)).

Figura 1.19 – Desenho esquemático indicando (a) um equipamento em curto circuito causado por um condutor de resistência desprezível; (b) Simulação de um curto circuito, tensão inicial de 120 V



Fonte: (a) adaptado da referência, 1977; (b) https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_pt_BR.html

Em termos da Lei de Ohm (Eq. (1.30)), no material condutor

$$U_1 - U_2 = Ri \cong 0 \Rightarrow U_1 \cong U_2,$$

ou seja, estará praticamente sobre o mesmo potencial. A corrente I continuará a circular passando pelo condutor e $I = i$ deixando de passar pelo equipamento de forma que ele deixa de funcionar. Esse fato é como se o circuito ficasse mais curto, por isso leva esse nome.

1.3.8 – Usinas de Energia Elétrica

Todo o conteúdo apresentado torna-se mais interessante se souber de onde vem a energia elétrica. Assim, a seguir, serão apresentadas as usinas “geradoras” de energia elétrica mais conhecidas.

Hidroelétrica ou Hidrelétrica: proveniente da pressão da água que, ao atingir as turbinas (formada de pás) presas em um eixo, aciona o gerador da usina. Na Física, a Energia Mecânica é constituída de energia cinética mais a energia potencial ($E_m = E_c + E_p$), e a energia cinética podem ser de translação e/ou rotação. Considerando-se que a água canalizada no alto da barragem possui energia potencial (gravitacional, devido à altura da barragem) bem maior do que a energia cinética da água em movimento, essa energia potencial se transforma totalmente em cinética de translação, na parte mais baixa da barreira, aumentando a velocidade da água que, ao impactar com as pás da turbina, realizará um trabalho mecânico; este está relacionado com a energia cinética de rotação do eixo que, por sua vez, está conectada à bobina do gerador, que gera a energia elétrica.

O funcionamento do gerador é baseado na Lei de Indução eletromagnética de Faraday. No caso, é a bobina que gira dentro de um campo magnético provocando um fluxo de campo magnético variável, e a ddp produzida se alterna “gerando” uma corrente alternada.

Exemplo dessa usina é a de Itaipu¹⁷ Binacional (Figura 1.20 (a)), situada em Foz do Iguaçu – PR, que usa queda de água. E a usina a fio d’água de Rosana, situada em Primavera (distrito do município de Rosana) - SP, divisa com Diamante do Norte – PR, que usa a água do rio Paraná (Figura 1.20 (b)).

¹⁷Do tupi-guarani que significa “Pedra que canta”, junção de Itá=pedra, y=água, pú=som, barulho.

Figura 1.20 – Imagem fotográfica da barragem da Usina de (a) Itaipu Binacional – Foz do Iguaçu – PR, e (b) Usina a fio d’água de Rosana-SP (divisa com Diamante do Norte – PR)



(a)



(b)

Fonte: (a) https://pt.wikipedia.org/wiki/Usina_Hidrel%C3%A9trica_de_Itaipu; (b) <https://www.memoriadaeletricidade.com.br/acervo/1241/aspectos-da-construcao-da-usina-hidreletrica-rosana>

Um vídeo que apresenta o uso de energia elétrica no cotidiano e apresenta o funcionamento de uma hidrelétrica está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kpcOeHcyRIU>.

- **Eólica** – proveniente da “força” dos ventos, que giram uma hélice (Figura 1.21) análoga às turbinas, denominado de rotor, que está acoplado a um gerador. Logo, também transforma energia mecânica em elétrica.

Figura 1.21 – Imagem fotográfica do Parque Eólico situado em Palmas – PR.

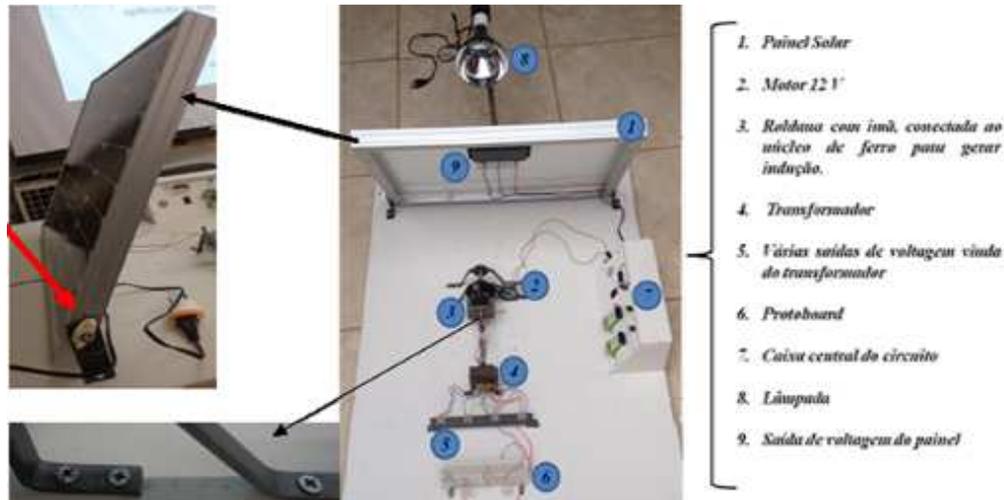


Fonte: Herr Stahlhoefer- https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica_no_Brasil

- **Solar** – incidência dos raios solares sobre uma placa solar, constituída de células fotovoltaicas, transformando a energia solar em energia elétrica. Uma referência para a compreensão de seu funcionamento fica como sugestão a referência (Astrath, 2015), que versa sobre: “Princípios sobre uma usina

fotovoltaica: uma aplicação ao ensino médio” (Figura 1.22). Esse tipo de fonte de energia elétrica também poderia ser explorado no questionário do PE.

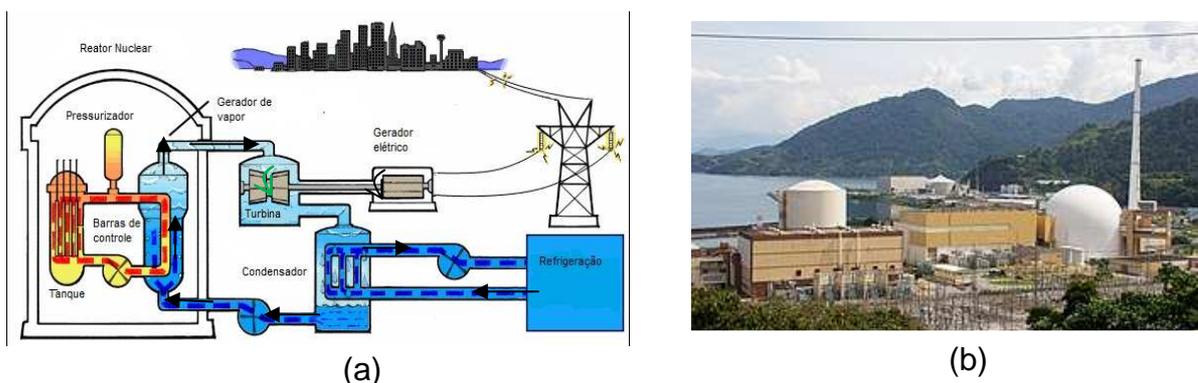
Figura 1.22 - Imagem fotográfica do aparato experimental utilizando uma placa fotovoltaica (painel solar)



Fonte: Astrath, 2015.

- **Nuclear** – energia liberada por meio de uma reação nuclear, mais precisamente uma fissão do núcleo do átomo de Urânio enriquecido. Isso provoca o aquecimento que transforma a água da caldeira em vapor, que movimenta uma turbina e esta, o gerador de eletricidade (Figura 1.23 (a)). Exemplo de usina nuclear é a de Angra dos Reis – SP (Figura 1.23 (b)).

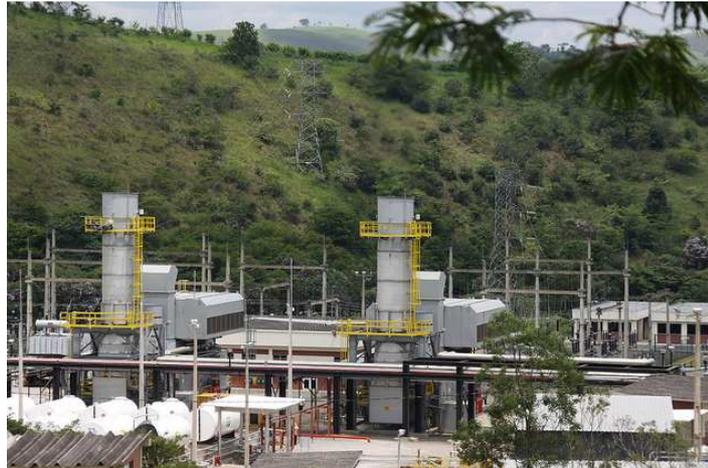
Figura 1.23 -(a) Desenho esquemático de uma Usina Nuclear gerando energia elétrica, e (b) imagem fotográfica da Usina de Angra dos Reis – RJ.



Fonte: (a) Masili e Esteves, <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/nuclear/nuclear.ht>
 (b) https://pt.wikipedia.org/wiki/Central_Nuclear_Almirante_%C3%81lvaro_Alberto

- **Termoelétricas:** são as usinas movidas por resíduos orgânicos como bagaço de cana ou qualquer material que possa liberar energia em forma de calor, como: madeira, óleos, gás natural, entre outros, Figura 1.24. Quando se entra na bandeira vermelha (bandeira tarifaria), normalmente é essa a usina que gera energia elétrica.

Figura 1.24 – Imagem fotográfica da termoelétrica situada em Juiz de Fora – SP.



Fonte: wikipedia <https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_termel%C3%A9trica_no_Brasil>

Capítulo 2 – Produto Educacional e Aplicação

Neste capítulo, o produto educacional será apresentado no contexto de sua aplicação. Trata-se de uma metodologia de aplicação de um jogo em formato de “quiz” com respostas de “conduz” ou “não conduz”, baseada em uma atividade experimental envolvendo desde a montagem do aparato experimental (Figura 2.1) a algumas medidas elétricas. A ideia do aparato foi escolhida entre os disponíveis na *internet* e este confeccionado com materiais de fácil acesso, com o tema escolhido em função das experiências diárias em sala de aula do autor do presente trabalho. As amostras também são de livre escolha dentro do proposto.

A teoria apresentada em cada aula está baseada nos livros dos autores, Halliday et al. (2009); Ramalho et al. (1977 e 1999), Gaspar (2013), Sadiku (2003) e Sears, et al. (2008).

Figura 2.1 – Imagem fotográfica (a) do aparato experimental e suas partes. (1) *plugue* a ser conectado na tomada externa; (2) interruptor; (3) garfos; (4) local onde será colocada a amostra; (5) fio; (6) lâmpada no soquete; (7) base de fixação de madeira



Fonte: o autor, 2019, baseada na referência Doescher et al. (2009).

2.1 Metodologia

Este PE envolve os conceitos relacionadas à Eletrodinâmica a fim de possibilitar, aos estudantes, visualizar na prática e compreender melhor os

fenômenos físicos. Além do que for brevemente explanado nas aulas, os alunos também devem contar com seus conhecimentos prévios (senso comum) para responder ao jogo e espera-se que, na sequência, a partir da experiência vivida, os estudantes se apropriem dos novos conceitos.

O jogo pode ser reproduzido e utilizado em qualquer ambiente escolar. As atividades como um todo foram desenvolvidas em dez horas-aulas (cada hora/aula com 50 minutos) com alunos do terceiro ano do ensino médio. Participaram 21 alunos de uma instituição da rede privada do município de Mandaguaçu-PR.

No Quadro 2.1 está apresentada uma visão geral da abordagem do conteúdo por aula.

Quadro 2.1- Distribuição do conteúdo por aula e aplicações do PE.

Atividade	nº de aulas	Tema abordado
Aula 1 - Aplicação do Pré-teste (Questionário1)	01	Conhecimentos prévios do aluno
Aulas 2 e 3- aulas expositivas	02	Campo elétrico
Aula4- aula expositiva	01	Potencial elétrico, superfícies equipotenciais e diferença de potencial elétrico;
Aula 5- aula expositiva	01	Condutores, isolantes e resistores
Aulas 6 e 7 - aulas práticas e jogo;	02	Explicação da montagem experimental e seu funcionamento Medidas elétricas Regras do jogo Aplicação do jogo
Aulas 8 e 9 – aulas expositivas	02	Retomada dos conteúdos aulas (1 a 5). Discussão sobre o jogo,
Aula 10 – Aplicação Questionários Avaliativos	01	Reaplicação do pré-teste (Questionário 1), aplicação do Questionário 2. <i>Feedback</i> aos alunos.

Fonte: o autor, 2019

Antes da Aula 1, os alunos já deveriam ter conhecimento dos conceitos relacionados à carga elétrica (positivas e negativas e suas interações), processos de eletrização, Lei de Coulomb e corrente elétrica. Mas, caso não tenham esse conhecimento, podem-se utilizar os organizadores prévios; sugere-se o uso de simuladores como os disponíveis no *site* do *Physics Education Technology*, PhET: <https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons->

[and-static-electricity_pt_BR.html](#) (processos de eletrização); https://phet.colorado.edu/sims/html/coulombs-law/latest/coulombs-law_pt_BR.html (Lei de Coulomb) e https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_pt_BR.html (Lei de Ohm).

Na próxima seção, estão apresentadas as descrições das atividades por aula.

2.2 Aplicação do PE: descrição das atividades

Nesta seção, são apresentados o desenvolvimento detalhado das dez aulas ministradas bem como a aplicação do PE.

2.2.1 - Aula 1 - Aplicação do Pré-teste (Questionário 1)

Inicialmente, verificou-se sobre os conhecimentos prévios (senso comum e aulas anteriores) por meio de um pré-teste (Questionário 1) dos alunos.

Orientação aos alunos: *“Caro(a) aluno(a), este questionário faz parte da avaliação continuada, trata-se de uma pré-análise afim de se diagnosticar seus conhecimentos prévios acerca dos conteúdos referentes à eletrodinâmica. Você deverá respondê-lo individualmente, ou seja, sem consulta ao material didático, não é permitido o uso de calculadoras, celulares e afins. Procure organizar suas ideias e lembre-se de situações cotidianas que podem ajudá-lo(a) na elaboração das respostas”.*

O pré-teste é composto de seis questões e foi denominado de Questionário 1. O que se espera são respostas semelhantes às contidas junto às questões.

Questionário 1

- 1- Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica. (R.: transformação de energia mecânica ($E_m = E_p + E_c$) em energia elétrica. No caso de uma usina de barragem, a energia potencial gravitacional (E_p) da queda da água se transforma em energia cinética de translação (E_{cT}) que impulsionará as pás (energia cinética de rotação) da turbina que irá girar o eixo acoplado a um gerador transformando em energia elétrica.
- 2- Defina corrente elétrica. (R.: movimento ordenado de cargas elétricas em determinado intervalo de tempo; ou fluxo ordenado de elétrons/portadores de carga.)

- 3- Explique o que é diferença de potencial elétrico. (R: É a variação do potencial entre dois pontos em um circuito elétrico, ou o trabalho necessário para que uma carga se desloque entre dois pontos em um campo elétrico, ou $U = W_{AB}/q$.)
- 4 – Explique o que é tensão elétrica¹⁸. (R: é o mesmo que diferença de potencial elétrico (ddp)).
- 5- Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes. (R: condutores são materiais cujas condutividade é alta, ou seja, tem baixa ou nenhuma resistividade (possuem uma grande quantidade de elétrons livres que podem se mover com grande facilidade ao longo do material, quando submetidos a uma ddp); e isolantes, o oposto, materiais cuja condutividade é baixa ou nula e têm alta resistividade.)
- 6- Explique o que são resistores. (R: Dispositivos elétricos feitos de cerâmica, fios metálicos e sua função é causar resistência (limitam) à passagem de corrente elétrica, ou para dissipação de energia - efeito Joule - energia elétrica em energia térmica.)

Após recolher o teste, foi realizado um breve debate sobre os temas abordados no mesmo, solicitando-se aos alunos que citassem suas principais dúvidas e dificuldades a fim de estimulá-los a pesquisar e comparar as diferentes opiniões sobre o tema.

Para motivação do assunto, sugeriu-se que assistissem a um vídeo como atividade “em casa”. O vídeo foi **Viagem na Eletricidade Sem Cortes – tempo: 47:29**, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3AZcVRDGIk>>

2.2.2- Aulas 2 e 3 - Campo Elétrico

Para a compreensão de campo elétrico, nessas aulas foram recordados os conceitos de carga elétrica, corrente elétrica e Lei de Coulomb, conforme citados no início da seção 1.3, e, por fim, foi apresentado, aos alunos, o conceito de campo elétrico, mostrando-se assim, a importância da compreensão da questão 2 que tratava do conceito de corrente elétrica.

No caso da força da Eq. (1.4) na Eq. (1.5) ser constante (como é visto no ensino médio), o campo é uniforme, e pode-se tratar o sistema de forma

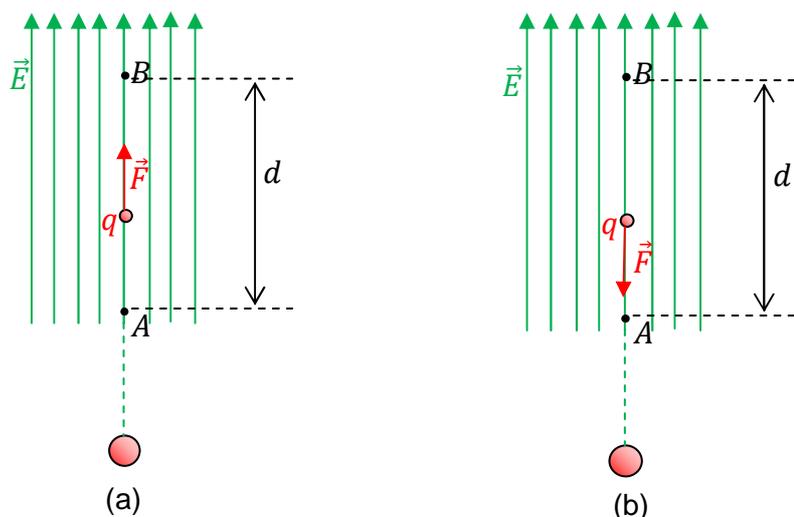
¹⁸Neste caso a questão foi utilizada apenas para se discutir, com os alunos, as diferentes formas de se nomear o mesmo fenômeno e comentar os possíveis erros e equívocos que envolvam esse conceito. Assim, nesta questão as respostas da questão 3 são consideradas corretas.

unidimensional, em que a força e o campo elétrico estão na mesma direção do deslocamento (de magnitude d), Figura 2.1 (a); se no mesmo sentido, $\theta = 0^\circ$:

$$W_{A \rightarrow B} = F d = qEd. \quad (2.1)$$

Se $\theta = 180^\circ$, o trabalho de $B \rightarrow A$ (Figura 2.2(b)) terá um sinal negativo $= -qEd$.

Figura 2.2 – Representação de: (a) uma carga indo do ponto A ao ponto B e (b) o inverso.



Fonte: o autor, 2020.

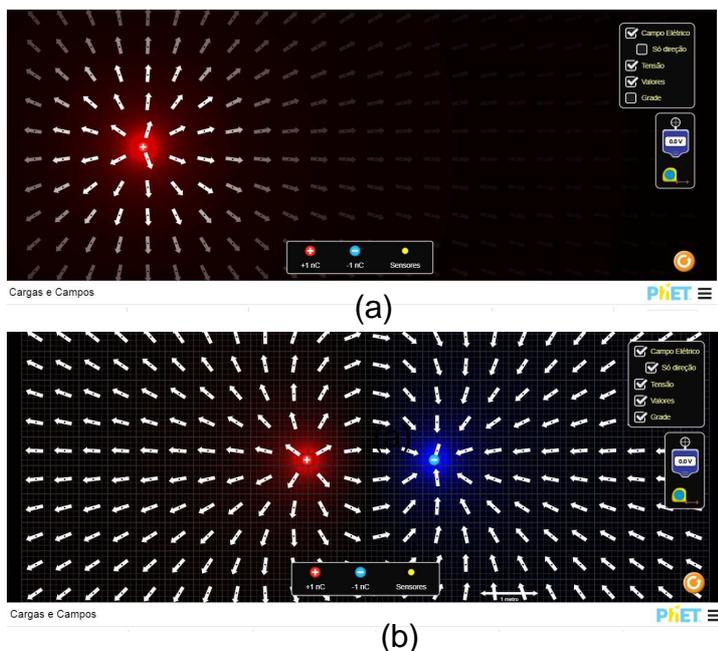
O trabalho positivo é denominado de trabalho motor, e o negativo de trabalho resistente. Como o trabalho total da carga se movendo do ponto A até o ponto B e retornando ao ponto A é nulo, $W_T = W_{AB} + W_{BA} = 0$, isso significa que o trabalho independe da trajetória, condição válida para campos conservativos, e, depende da carga elétrica e das condições elétricas entre A e B .

A unidade de trabalho no sistema internacional é Joule representado por J .

Sugestão - Demonstrar essa parte utilizando-se o simulador do PhET, disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_pt_BR.html. De forma que, para se mostrar o efeito da formação do campo elétrico, inserir uma carga (Figura 2.3 (a)) e ver o comportamento do campo, depois acrescentar outra carga com sinal oposto (Figura 2.3 (b)). Para isso, basta se arrastar a carga na tela para o quadro em preto e clicar, com o mouse na parte superior direita, o que quer que mostre, se as linhas de campo elétrico, com a opção de mostrar “só direção”; tensão, valores e grade. Ainda permite se colocar

um “voltímetro”, para se “medir” e/ou conferir os valores em qualquer ponto da configuração formada, e uma trena para se “medir” a distância do que se deseja saber na configuração formada.

Figura 2.3 - Cópia da tela do simulador “Cargas e Campos” do PhET – (a) para uma carga positiva e (b) duas cargas de sinais opostos.



Fonte: o autor, 2020, usando o simulador do PhET: <https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_pt_BR.html>.

Podem ser colocadas quantas cargas se desejar. Caso se arraste o sensor (ponto em amarelo), é possível obter os valores numéricos do ângulo e da intensidade do campo elétrico no ponto onde o sensor for posicionado.

2.2.3 – Aula 4 - Potencial Elétrico e Diferença de Potencial Elétrico

Dando continuidade ao conteúdo, foram apresentados, aos alunos, os conceitos de potencial elétrico e diferença de potencial, e novamente foi retomada a discussão acerca das perguntas do Questionário 1.

Como apresentado na obtenção da Eq. (1.13), a grandeza escalar é dada pela razão entre o trabalho W_{AB} e a carga elétrica q denominada de diferença de potencial elétrico (U):

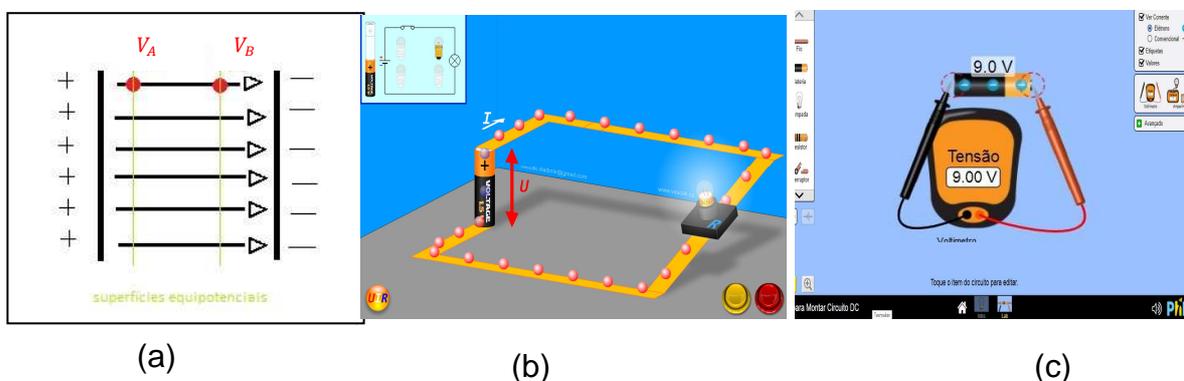
$$U = \frac{W_{AB}}{q}. \quad (2.2)$$

Também conhecida como ddp, sendo que $U = V_A - V_B$, em que V é o potencial elétrico em cada ponto.

Na Figura 2.4 (a) está apresentado um desenho ilustrativo para se explicar o ponto de potencial em uma superfície equipotencial.

No caso da bateria a ddp (U) está especificada na Figura 2.4 (b), e na Figura 2.4(c), tem-se a ilustração de como se medir a tensão de uma bateria com um “voltímetro”.

Figura 2.4 - Cópia de tela (a) uma superfície equipotencial e os pontos dos potenciais A e B; (b) da animação de um circuito elétrico, em que U é a ddp- Física na Escola (*Physics at School*), (c) indicando a medida da tensão (ddp) de uma bateria com o “voltímetro” por meio de um simulador



Fonte: (a) o autor, 2020;

(b) <https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_uir&l=pt>

(c) <https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html>.

Essa sugestão do uso de animação com simuladores fortalece a compreensão do conteúdo e ambos os simuladores são disponíveis para uso em celular e de forma gratuita. Neste período de isolamento social em razão do SARS-CoV-2, é uma excelente sugestão.

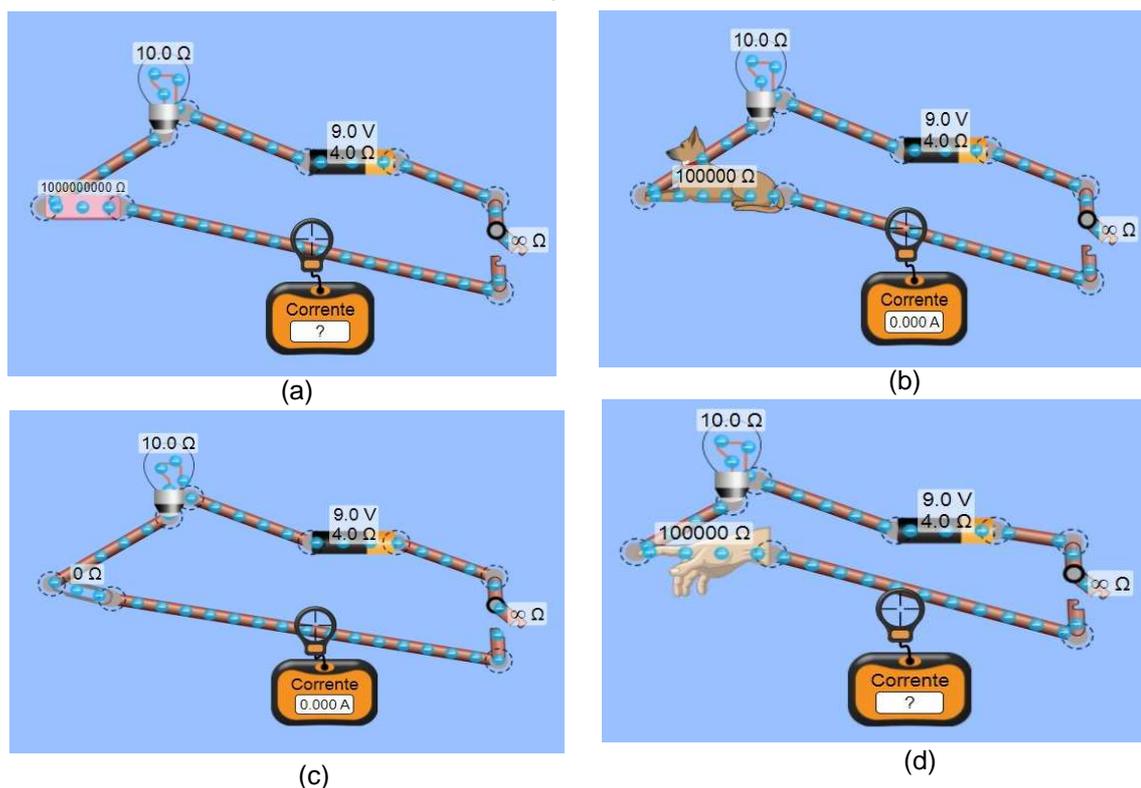
2.2.4 - Aula 5 - Condutores, Isolantes e Resistores

Esta aula teve início com a discussão da questão 5 do Questionário 1 ('Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes'). Após os questionamentos sobre o tema, o professor retomou o conceito de corrente elétrica e estabeleceu a diferença entre materiais condutores e isolantes.

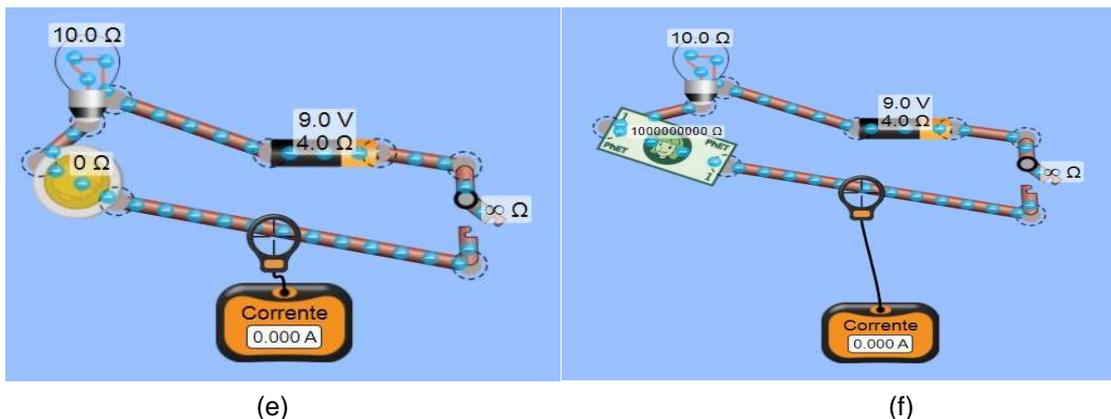
Essa parte do conteúdo está apresentada na seção 1.3.5 (referindo-se à parte dos materiais condutores e isolantes), e os resistores são tratados na subseção 1.3.6.1. Explicou-se, por meio de exemplos, mas não os que foram utilizados no jogo, deixando-se claro que, para classificar se um material é condutor ou isolante, deve-se observar a resistividade do material (Tabela 1.1).

SUGESTÃO¹⁹: é interessante explicar o conteúdo desta aula, por meio de um circuito utilizando-se o simulador do PhET, em que é possível se ir colocando resistor, lâmpada e materiais condutores, como uma “moeda”, “dinheiro de papel”, “clips”, “mão”, “cachorro deitado”, “borracha”, e simular o que será feito depois com o aparato experimental. Nas Figuras 2.5 (a) - (f) e 2.6 (a) – (f) apresentam-se esses exemplos que foram “montados” utilizando-se o simulador do PhET, reproduzindo-se a ideia do aparato experimental.

Figura 2.5 – Cópia da tela do simulador do PhET em que os objetos representados no circuito são: (a) “borracha”, (b) “cachorro”;(c) “clips”, (d) “mão”; (e) “moeda”; (f) “nota de papel (dinheiro)”. Qual conduz ao se fechar a chave? Qual fará a lâmpada “brilhar” mais?



¹⁹ Esta parte não foi aplicada aos alunos dessa turma, iria ser reaplicado no ano de 2020 o que não foi possível devido a pandemia do SARS-CoV-2 que causou instabilidade no sistema educacional. Manteve-se o texto elaborado como uma sugestão para um ensino híbrido.



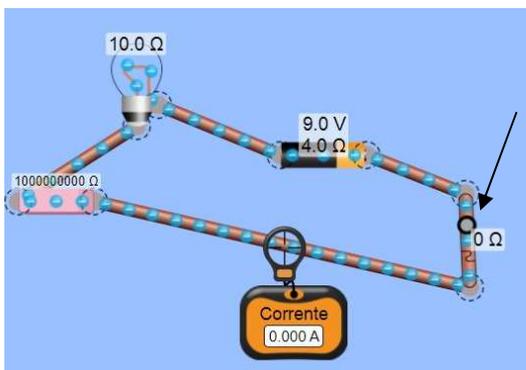
(e)

(f)

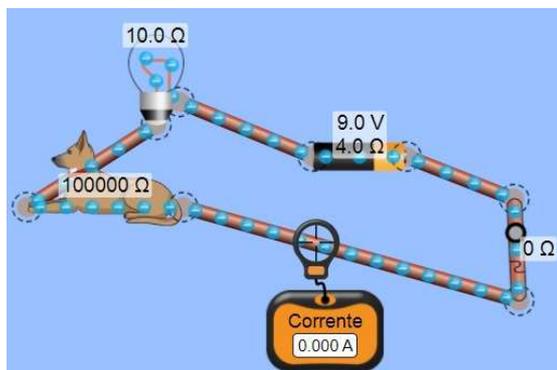
Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html

Após os alunos responderem, ligar-se a chave à direita. Se os elétrons se moverem, o que na figura será indicado pelo valor da corrente no “amperímetro”, e também pela lâmpada acendendo (Figura 2.6 (a) - ((f)), isso indica que o material é condutor.

Figura 2.6—Cópia da tela do simulador do PhET em que os objetos representados no circuito são: (a) “borracha”, (b) “cachorro”; (c) “clips”, (d) “mão humana”; (e) “moeda”; (f) “nota de papel (dinheiro)”. Qual conduz ao se fechar a chave? Qual fará a lâmpada “brilhar” mais? Chave (indicada pela seta em (a) fechada.



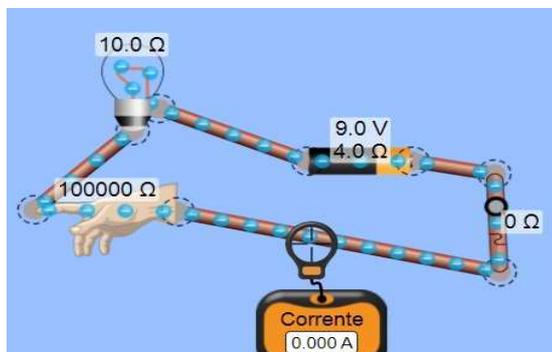
(a)



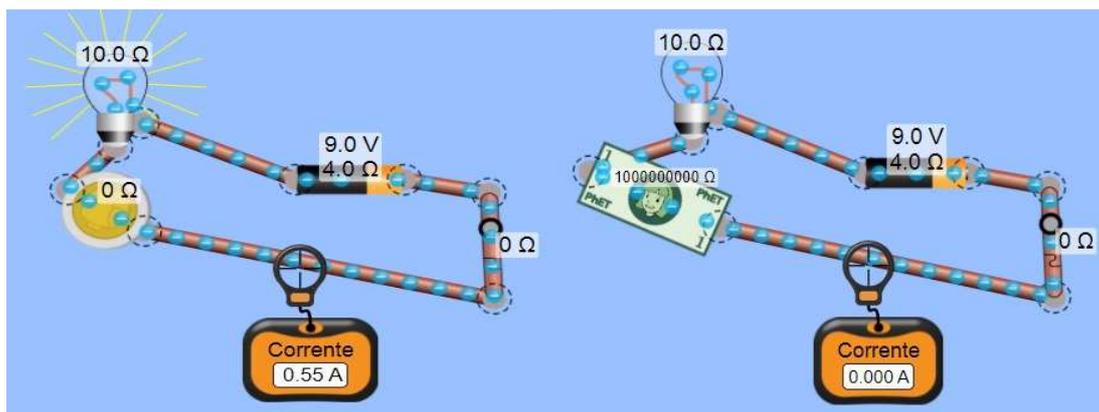
(b)



(c)



(d)



(e)

(f)

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

Como se pode observar nos “amperímetros”, quanto maior a resistência do material, para uma tensão fixa $9,0\text{ V}$ a corrente diminui (concordando com a Lei de Ohm), Tabela 2.1, e não há condução de cargas elétricas pelo circuito na “borracha”, “cachorro”, “mão” e “papel moeda (dinheiro)”.

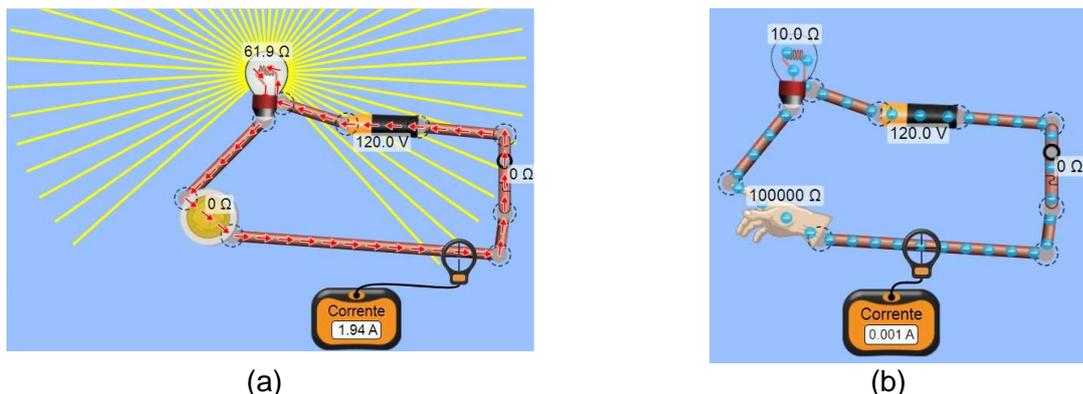
Tabela 2.1 – Dados das medidas do simulador PhET para uma tensão de bateria de $9,0\text{ V}$ e $4,0\ \Omega$ fixos. Ressalta-se que o cachorro e a mão estão secos, sem umidade.

Material	$R(\Omega)$	conduz	Não conduz	Lâmpada
Borracha	10^9		x	Não acendeu
Cachorro	10^5		x	Não acendeu
Clips	0	x		Acendeu
Mão	10^5		x	Não acendeu
Moeda	0	x		Acendeu
Papel moeda “dinheiro”	10^9		x	Não acendeu

Fonte: o autor, 2020.

Aumentando-se a tensão da bateria equivalente à de uma rede de energia elétrica 127 V , na imagem da Fig. 2.7 foi colocado 120 V , observa-se que a iluminação na lâmpada aumenta (na Figura 2.7(a) aumentou o tamanho dos raios em comparação com aqueles da Figura 2.6 (e)), mas os resultados entre conduz e não conduz, foram os mesmos. No exemplo da mão na Figura 2.7 (b), observa-se que a corrente aumenta, em virtude de a tensão ter aumentado, mas muito pouco em comparação com o resultado da Figura 2.6 (d) que era de $0,000\text{ A}$.

Figura 2.7– Cópia da tela do simulador PhET: (a) Para a moeda e (b) mão, quando submetidos a uma tensão de 120 V



Fonte: o autor, 2020, por meio do simulador: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html .

É interessante se explicar que, no caso dos exemplos apresentados, principalmente da mão e do cachorro, estes mostraram uma alta resistência à passagem de corrente elétrica, e, nesse caso, podem ser classificados como “isolantes”. Talvez por ser somente a mão e não o corpo inteiro, e, no caso do cachorro, pelo fato de este estar sem contato com a Terra e também pelo provável fato de seu pelo ser um isolante elétrico. Observou-se que, se aumentar a tensão, há um ponto em que o “cachorro” late, e o circuito se rompe.

Outro motivo é por estarem secos, pois se estivessem molhados, no corpo humano/animal a resistividade diminui para em torno de 1.000 vezes, e a corrente para uma tensão de 120 V será aproximadamente de 0,1 A e, para 220 V, de 0,2 A, podendo ser fatal para o organismo humano e animal. Outras consequências são queimaduras (efeito Joule), dores musculares, paralisia, paradas cardíacas (principalmente se no braço esquerdo).

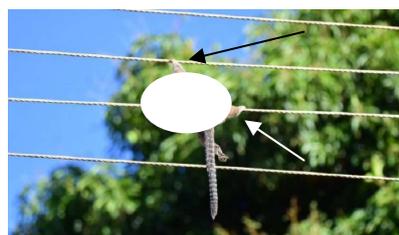
Apresentado sobre resistências discute-se sobre os resistores como dispositivos elétricos, que têm a propriedade de “controlar” a passagem de corrente elétrica em um circuito. Existem vários modelos de resistores, dependendo da finalidade. No caso, está se referindo ao resistor fixo com cor de barras. No “site” <https://br.mouser.com/technical-resources/conversion-calculators/resistor-color-code-calculator>, é possível se calcular o seu valor nominal. Ao contrário de resistências, o valor do resistor independe do seu tamanho, mas continua dependendo do material de que é feito.

CURIOSIDADE - Por qual motivo passarinhos não sentem descargas elétricas, e os saguis sentem, quando se movem sobre fiação elétrica? Aqui entram os conceitos de potencial e ddp. No caso do passarinho, este fica em um único fio, logo, em um único potencial (Figura 2.8(a)), enquanto os saguis têm mais partes do corpo que ficam em contato em mais de um fio (indicado por setas na Figura 2.8(b) – imagem ofuscada pelo autor deste trabalho), ou seja, formam uma ddp provocando a descarga elétrica sobre o animal.

Figura 2.8 – Imagem fotográfica de um pássaro no caso um pombo pousado em um fio da rede elétrica, e em (b) um sagui em contato com dois fios da rede elétrica, indicados por setas. A imagem do sagui foi ocultada pelo autor deste trabalho



(a)



(b)

Fonte: (a) <https://voapassarinho.wordpress.com/> (b) Marcos Vinicius/midiamax<<http://faunanews.com.br/2020/12/14/saguis-ficam-feridos-na-rede-eletrica-em-al-orgao-ambiental-divulga-o-problema-sem-apresentar-solucao/>>

2.2.5 - Aulas 6 e 7 - Montagem Experimental e JOGO (QUIZ)

Foram retomados os conceitos referentes às aulas ministradas, os alunos foram indagados sobre tais conteúdos e estimulou-se um debate sobre as definições teóricas, exemplos e aplicações.

Para se aumentar a interatividade da aula os alunos participaram da montagem do aparato experimental e o professor solicitou que diferentes alunos realizassem parte do experimento, dando oportunidade a todos para o manusearem. O material foi todo fornecido pelo professor da turma, no caso, o autor deste trabalho.

2.2.5.1 - Aparato Experimental- Circuito Elétrico

A seguir, são listados os materiais utilizados na montagem do aparato experimental, e o roteiro para a elaboração do mesmo. No Apêndice A, está apresentado um texto que utiliza uma tensão de 12 V , cujos efeitos visuais e aromáticos não são obtidos como o aqui exposto em que se utiliza uma tensão de rede elétrica, 127 V . Mas, há o ponto positivo de que os alunos podem eles

mesmos, montar todo o aparato e realizar o jogo, compreendendo o conteúdo da Física aqui pretendido.

2.2.5.1 (a) - Materiais Utilizados

- 1 placa de madeira com dimensões 20 x 25 x 1 *cm*;
- 1 lâmpada incandescente de 60 W;
- 2 garfos de aço inox;
- 1 m fio de cobre de 2,5mm² de espessura;
- 1 m fio para conectar o sistema à rede;
- 1 interruptor de 10 A;
- 1 “plugue” (tomada macho) de 10 A;
- 1 soquete para a lâmpada;
- alicate de corte;
- martelo;
- multímetro;
- chave de fenda;
- 2 *led's*;
- fita isolante;
- 10 fixadores de fio;

Amostras: aproximadamente 10 cm de comprimento cada:

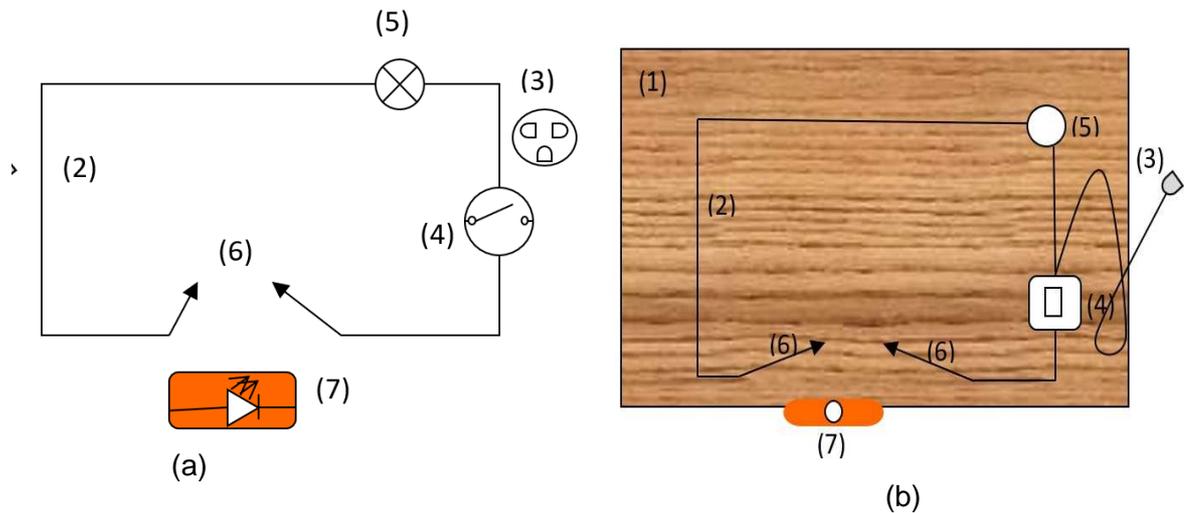
- pedaço de couro;
- placa de isopor;
- lápis com grafite (não colorido);
- batata;
- cenoura;
- salsicha;
- fio de cobre escapado;

2.2.5.1 (b) - Montagem do Aparato Experimental

O aparato experimental trata-se de um circuito elétrico em série. Na Figura 2.9 apresenta-se o esquema experimental do circuito, em que: (1) uma base de madeira; (2) fio elétrico; (2) fio de cobre; (3) plugue (a ser conectado na tomada da fonte de tensão da rede elétrica de 127 V); (4) interruptor; (5) lâmpada incandescente de 60 W; (6) garfos de metal dobrados adequadamente; (7) local

onde será fixada a amostra para teste, entre os garfos. Para se fixar os fios e as peças, foram usados os fixadores, bem como parafusos.

Figura 2.9 - Desenho esquemático de um circuito com as imagens no formato (a) usado em eletrônica e (b) como é visto sobre a base. Sendo: (1) uma base de madeira; (2) fio elétrico; (2) fio de cobre; (3) plugue macho (para se conectar em uma tomada de rede elétrica de 127 V);(4) interruptor;(5) lâmpada de 60 W; (6) garfos de metal; (7) amostra para teste



Fonte: o autor, 2019.

Para a montagem do circuito, conforme a Figura 2.8, seguiu-se os seguintes passos:

1. Sobre uma base de madeira (1), prendeu-se o fio de cobre (2) com fixadores próprios, caso não os tenha, podem-se recortar pequenos pedaços retangulares de garrafa Pet e fixar com pequenos pregos ou parafusos;
2. Uma das extremidades do fio foi fixada no cabo de um dos garfos (6), este deve ter o formato de um L, e a outra extremidade do fio foi fixada no soquete da lâmpada (5) que deve estar fixada com parafusos na base de madeira;
3. Com outro pedaço de fio de cobre cuja extremidade está fixada no outro terminal do soquete a extremidade livre do fio será fixada em um dos lados do interruptor (4);
4. No interruptor, devem estar fixadas as extremidades do fio que será conectado na tomada da rede elétrica;
5. Ainda do outro terminal do interruptor oposta àquele conectado no soquete, fixou-se a extremidade de outro pedaço de fio de cobre e sua extremidade livre na direção de onde ficará o segundo garfo também em formato de L;

6. Fixaram-se também os garfos (6) separados por 12 cm um do outro na base de madeira, com as pontas dos fios elétricos descascados por baixo dos garfos fechando-se o circuito e, formando-se um circuito simples em série, como apresentado na Figura 2.10.

Para ajudar na montagem do aparato experimental, levou-se a parte do material previamente montado, como as conexões dos fios, os locais de fixação dos materiais já marcados com uma furadeira, para posteriormente parafusar os garfos dobrados em L, o soquete, e os fios que os conectam formando um circuito em série (Figura 2.10).

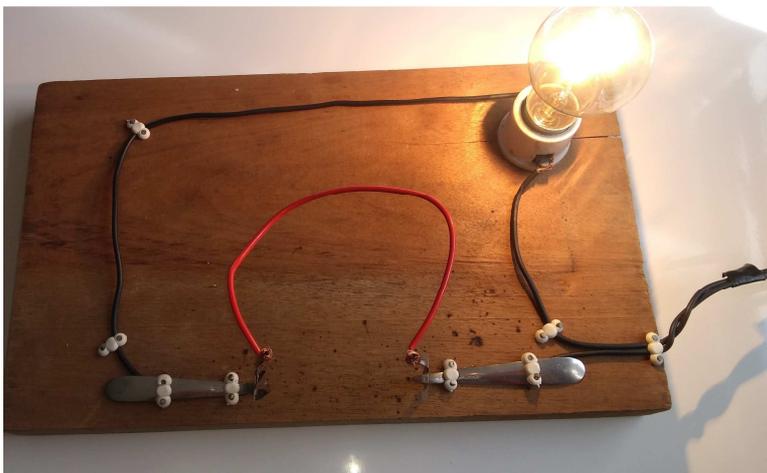
Figura 2.10 – Imagem fotográfica do Aparato Experimental – um circuito elétrico simples em série, contendo; uma base de madeira, fios de cobre, soquete com lâmpada (em destaque na parte inferior), interruptor (questão de segurança), fio com terminal para a tomada (*plugue*), e dois garfos.



Fonte: o autor, 2019, baseado na referência Doescher et al. (2009).

Com o circuito devidamente montado, o aparato foi testado colocando-se um pedaço de fio de ligação entre os garfos, fechando-se o circuito para ver se estava funcionando (Figura 2.11). Devido a alta tensão esta etapa deve ser feito pelo professor. Lembre-se de conectar o plugue na tomada e ligar o interruptor; e após o teste, desligar o interruptor e, por segurança, tire o plugue da tomada.

Figura 2.11 - Imagem fotográfica do teste do aparato experimental foi colocado um pedaço de fio de cobre, como amostra



Fonte: o autor, 2019.

Para a **aplicação do jogo**, todos os 21 alunos receberam uma tabela individual, conforme modelo apresentado no Quadro 2.2, em que escreveram quais das amostras eles consideravam condutores ou isolantes, no sentido de conduz ou não conduz, e vão conferir durante o uso do aparato experimental, que faz parte deste jogo em forma de *quiz*.

Quadro 2.2 – Modelo de quadro a ser usado pelos alunos para a participação do jogo. O número de linhas depende do número de amostras.

Nome:	
Data:	
Condutores	Isolantes

Fonte: o autor, 2019.

Esse modelo de Quadro foi trocado para uma segunda aplicação do PE, o que acabou não ocorrendo. No lugar de condutores, foi colocado conduz e, no lugar de isolantes, foi colocado não conduz, pois, conforme visto na Tabela 1.1, o material pode ainda ser um semicondutor.

2.2.5.1 (c) - Procedimento Experimental

1. Verifica-se se o aparato experimental está desligado da tomada e o interruptor, na posição desligada;
2. Encaixa-se a amostra (material) entre os garfos, lembrando-se de que cada amostra deve ser devidamente ajustada quanto às suas dimensões (tarefa incumbida aos alunos);
3. Liga-se a saída na tomada da rede de tensão;
4. Os alunos são questionados, se o material conduz ou não conduz;
5. Eles respondem de acordo com o quadro de respostas preenchidas antecipadamente (ver regras do jogo);
6. Solicita-se a um aluno que acione o interruptor;
7. Se a luz acender, isso significa que conduz eletricidade, se não acender, isso mostra que o material é isolante, no caso não conduz;
8. O professor explica por que o material em questão conduz ou não eletricidade;
9. Desliga-se o interruptor e, por segurança, retira-se o plugue da tomada;
10. Encaixam-se as extremidades de outro material uma em cada garfo;
11. São repetidos os passos de 3 a 8 com todas as amostras;
12. Desliga-se o interruptor e retira-se o *plugue* da tomada por segurança;
13. Também é possível se saber qual a tensão que passa por cada amostra, ligando-se o multímetro em paralelo ao circuito, antes de cada garfo.

Sugestão - Indicar alguns alunos para medir a resistência de cada amostra, utilizando o multímetro, e, anotar em uma tabela. Comparar com o resultado do jogo, qual material se apresentou mais ou menos resistivo à passagem da corrente elétrica. Como o resultado depende das dimensões da amostra, colocar os terminais próximo aos pontos onde foram espetados nos garfos ou os *leds* (quando foram utilizados).

2.2.5.2 - JOGO: conduz ou não conduz?

Deixar claro as regras do jogo.

2.2.5.2 (a) - Regras do jogo

1. As amostras (materiais de teste) são apresentadas aos alunos;
2. Cada aluno preenche seu quadro (Quadro 2.1) e escreve a caneta, qual amostra é isolante e qual condutor, pois, após preencher, não se pode mais alterar;
3. Cada item acertado vale 1 ponto;
4. Colocar no quadro branco, a Tabela 2.2 na vertical como está ou na horizontal, cada aluno deve ter um identificador (ID). Uma sugestão de ID são as letras do alfabeto. Ganha quem tiver o maior número de pontos;

Tabela 2.2 – Modelo da tabela de pontuação.ID – Identificador do aluno.

ID	Pontos

Fonte: o autor, 2019.

5. Sugestão de prêmio: um material escolar; um livro, o que o docente considerar que tem o perfil da turma e o ganhador ficará feliz em receber;

2.2.5.2 (b) - Início do jogo

❖ Amostra 1 – Salsicha

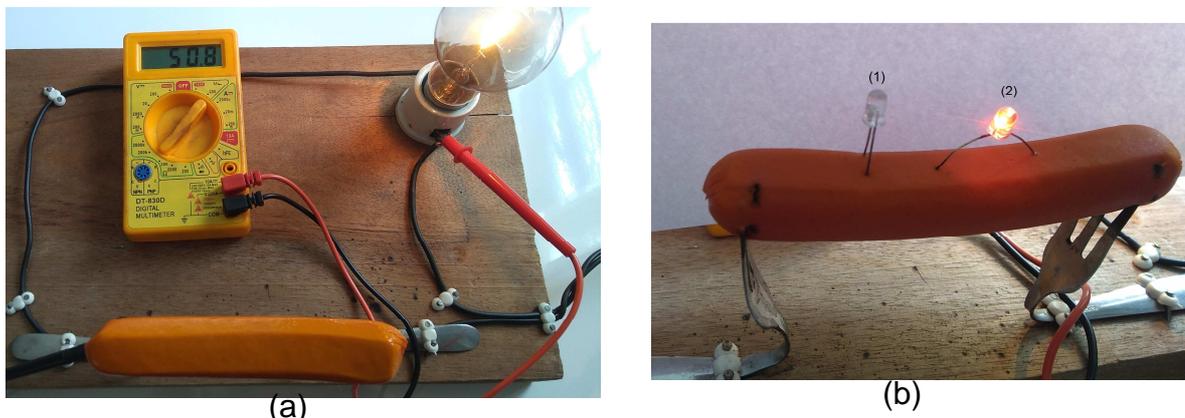
Verificado se o aparato estava desligado, solicitou-se a um aluno, que fixasse a salsicha nos garfos na longitudinal;

Com o circuito devidamente alimentado, ou seja, ligado à tomada, iniciou-se a demonstração de seu funcionamento;

Perguntou-se, aos alunos: conduz ou não conduz?:

Um aluno acionou o interruptor; o resultado foi o apresentado na Figura 2.12 (a).

Figura 2.12 – Imagem fotográfica do jogo *quiz* – conduz ou não conduz energia elétrica no caso através da salsicha, (a) sem *leds*, conduz, lâmpada acendeu; (b) com *leds* posicionados: (1) transversal e (2) longitudinal.



Fonte: o autor, 2019.

Resposta - Conduz! A lâmpada de 60 W acendeu, e com uma luminosidade intensa como se pode observar à direita no canto superior da foto da Figura 2.12 (a), indicando que houve condução de energia elétrica através da salsicha. Os alunos deveriam marcar se acertaram ou não a resposta. Um total de 33% dos alunos acertaram, portanto, deve ter sido uma surpresa para a grande maioria que não acertou.

Para se **explorar os conceitos de potencial, superfície equipotencial, ddp e se a energia condutora na salsicha conseguia acionar outro dispositivo e de que forma estes deveriam ser conectados**, testou-se espetar na salsicha os terminais de dois *leds* e, depois, os terminais dos fios de um *cooler*.

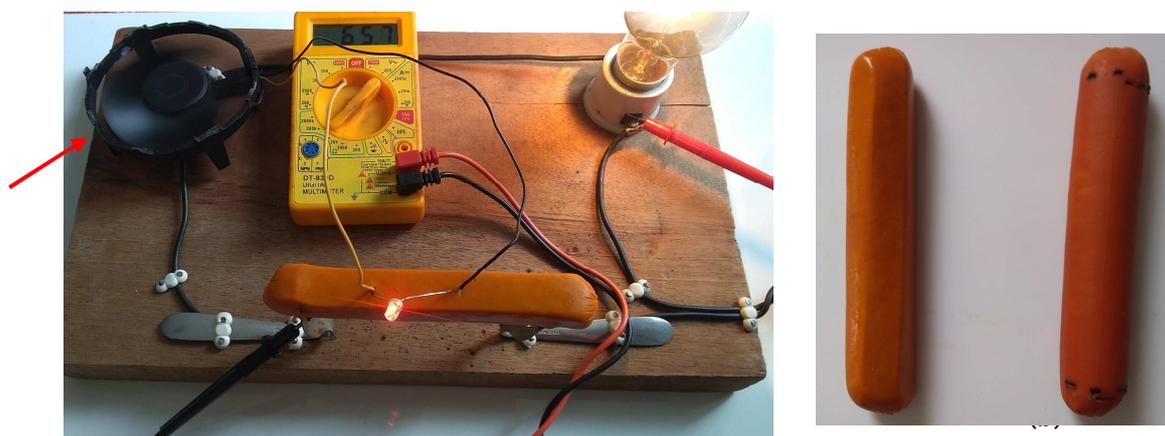
Na Figura 2.12 (1), o *led* é posicionado no sentido transversal da salsicha, então, as suas hastes estão sob uma superfície equipotencial (Figura 2.3(a)), assim, ele não acende. Enquanto que, na Figura 2.12 (2), como as hastes do *led* ficaram no sentido longitudinal da salsicha, existe uma diferença de potencial elétrico, logo, o *led* acende.

Dessa forma, o professor, além do jogo, retoma conceitos importantes sobre diferença de potencial e mostra na prática que o ‘acender’ do *led* está, entre outros, diretamente ligado ao lado do posicionamento correto do mesmo.

O mesmo procedimento foi repetido inserindo-se além do *led* um *cooler* reaproveitado de um computador. Neste caso, observou-se que o cooler girar ou não a sua hélice, se devia ao posicionamento dos seus terminais elétricos A Figura

2.13 (a) ilustra o *cooler* funcionando, o *led* aceso, a ddp que passa pela salsicha medida com o multímetro que registra o valor de 65,7 V e, além disso, a lâmpada está acesa, o que significa que a corrente circula por todo o circuito.

Figura 2.13 – Imagem fotográfica (a) do aparato experimental com a amostra de salsicha conectada a um *cooler* com conexão na salsicha. Manteve-se também o *led* espetado na mesma. (b) aparência da salsicha antes do experimento – crua, e após o experimento em que ficou pré-assada



Fonte: o autor, 2019.

Observa-se que a tensão de entrada no circuito é de 127 V, entre as extremidades da salsicha, cai para 65,7 V, o que indica uma dissipação de energia elétrica em energia térmica, ou seja, por meio do **efeito Joule**. Assim, caso se mantivesse ligado por um tempo maior a salsicha conectada no aparato, ela fritaria devido a esse efeito, ou seja, havia um churrasco de salsicha. Na Figura 2.13 (b), apresenta-se a comparação da aparência entre a salsicha crua e a pré-assada com aparato experimental que ocorreu durante a execução do experimento. “O cheirinho ficou bom na sala”.

Ainda em relação ao experimento, conforme o tempo passava, diminuía a condutividade na salsicha, observada pela intensidade luminosa da lâmpada que ficou menor do que no início do experimento.

Calculando-se a “resistividade” da salsicha crua²⁰ por meio da equação (1.18): sabendo-se que²¹ a salsicha crua possui uma resistência na ordem de $R = 440 \text{ K}\Omega$, considerando que a área da seção transversal for de $A = 7,1 \text{ cm}^2$ e o comprimento $\ell = 12 \text{ cm}$, a sua resistividade será de $\rho = 260 \text{ K}\Omega \text{ cm}$. Comparando-se com os valores da Tabela 1.1, em que os isolantes (dielétricos) estão na ordem

²⁰Somente uma suposição como se fosse um fio.

²¹ (Ufscar 2007), mas pode-se medir utilizando um multímetro na escala de ohmímetro.

de $10^{14}\Omega cm$ e os condutores $10^{-6}\Omega cm$, pode se considerar a salsicha um bom condutor de eletricidade. Como possui uma “resistividade” na ordem de $10^5\Omega$, dissipa calor em razão do efeito Joule, e ocorre o seu cozimento. Na internet esse mesmo circuito é chamado de “fritador de salsichas” (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=7642>).

Em todos os casos, além de observarem se a lâmpada acendia ou não dando a indicativa conduz ou não conduz, os alunos também puderam verificar quantos volts estavam ‘passando’ pelo material utilizando o multímetro; nesse momento, foi realizada uma breve revisão sobre o uso do multímetro.

Uso do Multímetro²²

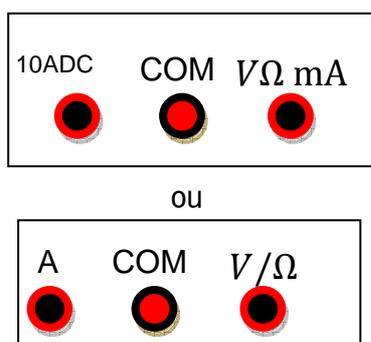
Um multímetro leva esse nome, por ser um equipamento de medidas elétricas com multifunções. Podem-se medir tensão, corrente, resistência e alguns deles ainda medem temperatura, entre outras funções. Para cada medida, deve-se posicionar o botão seletor (Figura 2.14 (a)), e o lado do borne das pontas de prova deve ser conectado adequadamente. Na Figura 2.14 (b) mostram-se dois modelos.

Figura 2.14 – Imagem: (a) exemplo das escalas de um multímetro e (b) exemplos de pontos de conexão para o borne das pontas de prova, usadas aos pares. Para não haver confusão convencionou-se o preto para o COM (TERRA) negativo e o vermelho como sendo o positivo, para a outra opção $A, V/\Omega$.



(a)

(b)



Fonte: o autor, 2020.

Na Tabela 2.3 estão apresentados exemplos de escalas do seletor para cada função.

²²Sugere-se que esta explicação seja feita na seção 2.2.5.1(c), para testar o aparato experimental.

Tabela 2.3 – Escalas do multímetro para cada função do botão seletor: V (tensão/ddp); R (resistência) e i a corrente.

$V(V)$		$R(\Omega)$	$i (A)$	
Tensão contínua	Tensão alternada	200	contínua	
200m	200	2K	200 μ	2m
2	750	20K	2000 μ	20m
20		200K		200m
1K		2M		2
				10 ou 20

Fonte: o autor, 2020.

Conexão das pontas de prova no multímetro (Figura 2.14 (b)):

- para se medir corrente, o seletor deve estar direcionado para medida de corrente, um fio de conexão no A e o outro em COM, e a outra extremidade em série no circuito (Figura 1.15 (a));
- para se medir tensão, uma extremidade de um dos cabos no COM e a outra em V/Ω e o seletor em V (contínua ou alternada) e os lados da ponta de prova em paralelo com o circuito (Figura 1.15 (b)); e
- para se medir resistência, o seletor em Ω , e os cabos no multímetro saindo com COM e o outro do V/Ω , e os lados das pontas de provas devem ser posicionados no intervalo que se deseja medir.

Importante: ao se efetuar a medida, deve-se observar a escala dentro de cada função para se evitar danificar o fusível dentro do equipamento.

Em relação à corrente, há duas entradas ou no seletor dois, um em mA e outro em $10 A$; observar qual é a que se deve utilizar.

MUITO CUIDADO AO SE REALIZAR MEDIDAS PRINCIPALMENTE DE TENSÃO E CORRENTE – PEÇA O PROFESSOR PARA FAZÊ-LO. Uma opção menos perigosa é o aparato apresentado no Apêndice A, que é a reprodução deste, mas com o uso de uma fonte de 12 V.

Um *site* que ensina passo a passo como utilizar um multímetro é

<<https://blogmasterwalkershop.com.br/eletronica/ferramentas-de-medicao-multimetro>>.

❖ Amostra 2 – Grafite

Verificou-se se o aparato experimental estava com o *plugue* fora da tomada e o interruptor desligado;

Posicionou-se o lápis devidamente preparado para que o grafite apareça exposto como na Figura 2.15, no detalhe;

Conectou-se o *plugue* na tomada;

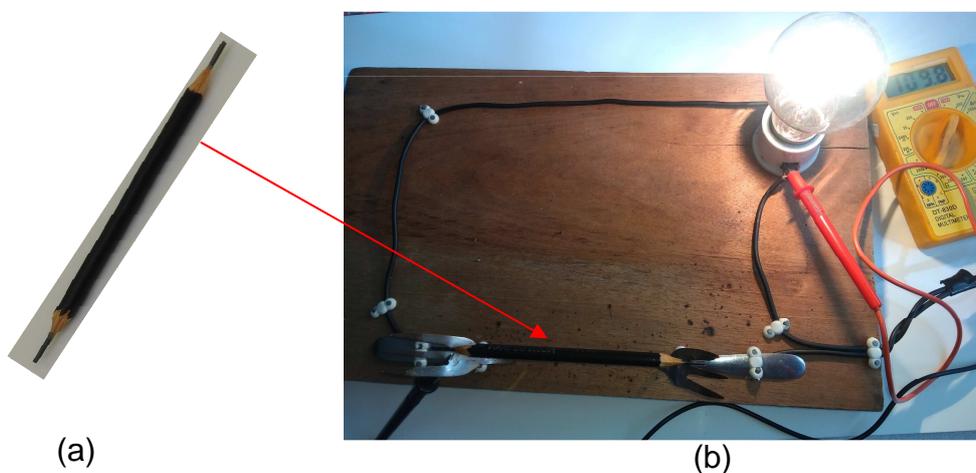
Perguntou-se: conduz ou não conduz?:

Esperou-se: que os alunos respondessem;

Solicitou-se que um aluno apertasse o interruptor;

A Figura 2.15 (b) apresenta o resultado.

Figura 2.15 – Imagem fotográfica do aparato experimental com a amostra de grafite, e em destaque como deve ficar o lápis para seu uso. Tensão após se ligar a chave (interruptor) 109,8 V.

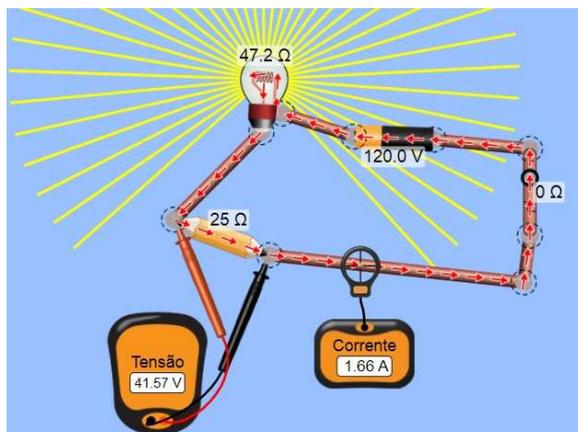


Fonte: o autor, 2019.

Resposta: Conduz! O grafite é um material condutor, e a lâmpada possui uma boa intensidade de luminosidade. A tensão é outra forma de se observar quão bom condutor é o grafite, pois a rede é de 127 V; no circuito após o grafite, conforme indica no multímetro, a ddp foi de 109,8 V. Dos 21 alunos, 13 acertaram, ou seja, quase 62% de acertos.

Pode-se ver esse mesmo sistema utilizando-se o simulador do PhET (Figura 2.16), com o valor da resistência para o grafite do lápis de $R=25\Omega$.

Figura 2.16 – Cópia da tela da imagem do simulador do PhET, utilizando o grafite com $R = 25\Omega$ como amostra.



Fonte: elaborado no simulador PhET=>https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html,

CURIOSIDADES - O grafite ou grafita puro (um mineral, formado por moléculas de carbono, sendo este de coloração acinzentado escura, metálico e macio), conforme a Tabela 1.1, é um condutor e possui uma resistividade de $3,5 \times 10^{-3} \Omega cm$, para um lápis em torno de 12 cm e $A = 0,03 cm^2$, o que significaria uma resistência de 1,4Ω. O grafite utilizado é uma mistura do grafite e pó bem fino de cerâmica, o que altera esse valor. No experimento mostrou-se um bom condutor de corrente elétrica pela luminosidade na lâmpada, e pela tensão medida após o grafite.

SUGESTÃO - Pode-se utilizar o grafite de lápis para se desenhar um circuito elétrico em um papel²³. O papel é um material isolante. Como apresentado neste vídeo do Youtube®: <https://www.youtube.com/watch?v=BwKQ9ldq9FM>. O material utilizado são uma bateria de 9 volts, dois cabos de conexão com dois jacarés pequenos, dois leds simples (cores usadas no vídeo: branco e vermelho), um lápis com grafite acima de 2B, papel sulfite e fita adesiva. Nesse vídeo o autor mostra dois circuitos e como se fazer uma lanterna de papel.

Um circuito utilizando o grafeno²⁴ pode ser visto neste vídeo:

<http://complexogeek.com/2013/12/02/fazendo-circuitos-que-funcionam-com-papeis-e-lapis/>

²³ No artigo “RESISTORES DE PAPEL E GRAFITE: ENSINO EXPERIMENTAL DE ELETRICIDADE COM PAPEL E LÁPIS”, os autores sugerem alguns circuitos interessantes (da Rocha Filho et al, 2003).

²⁴ Nome proposto em 1968 por Hanns-Peter Boehm, unindo o grafite com o sufixo eno, pois são formados por nanotubos de carbono e furelenos. Material altamente condutor e térmico. Um vídeo que trata sobre o grafeno é: <<https://www.youtube.com/watch?v=l6yqJxB4uzA>>.

❖ Amostra 3 – Cenoura (nome científico: *Daucus Carota*)

Após se ter desligado o aparato experimental da tomada e trocado a amostra, ligou-se novamente à tomada;

Perguntou-se: conduz ou não conduz?:

Após, os alunos responderam;

Solicitou-se a um deles que acionasse o interruptor;

O resultado foi o apresentado na Figura 2.17.

Figura 2.17 – Imagem fotográfica do circuito ligado usando com amostra uma cenoura. A tensão no multímetro é de 0,00 V



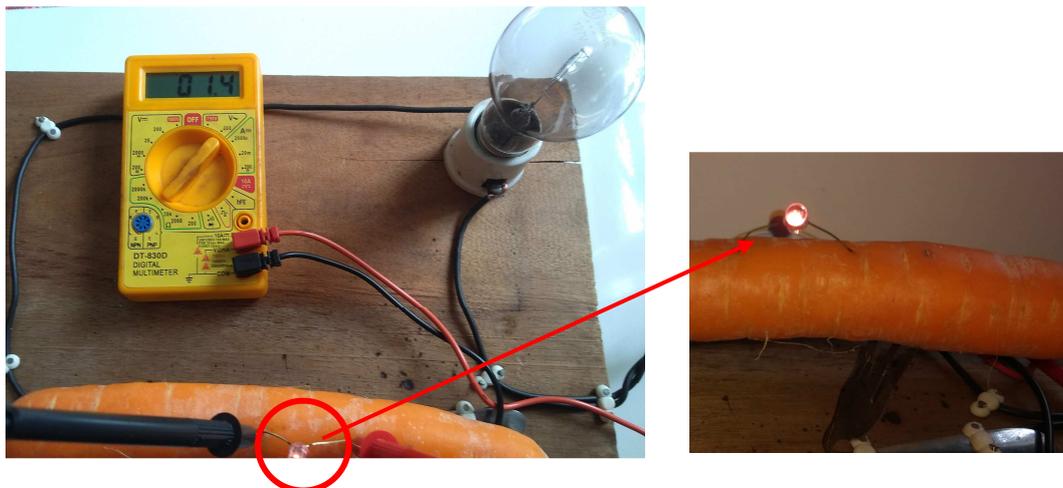
Fonte: arquivo do autor, 2019.

Resultado 1 - Não conduz! Com essa resposta, 67% teriam acertado.

Esperava-se que a cenoura tivesse alguma condutividade, em razão da sua composição química²⁵, inclusos os minerais ferro, sódio, potássio e água. Resolveu-se testar, então, se havia alguma condução de eletricidade. Desligou-se o interruptor e tirou-se o *plugue* da tomada por segurança. Espetou-se um *led* no sentido longitudinal. O sistema foi ligado novamente e o resultado foi o apresentado na Figura 2.18. Gerou-se assim, uma nova expectativa e experimentação.

²⁵<http://tabnut.dis.epm.br/alimento/11124/cenoura-crua> .

Figura 2.18 – Imagem fotográfica do circuito com um *led* espetado na cenoura. A tensão indicada 1,4 V. Ao lado o detalhe do *led* aceso



Fonte: arquivo do autor, 2019.

A medida da tensão teve que ser feita próximo ao local onde cada haste do *led* foi espetada na cenoura, pois é baixa a tensão, e a corrente não consegue circular por todo o circuito. Portanto, a cenoura conduz muito pouca eletricidade, e a **resposta correta** é: **CONDUZ!** Houve 33% de acertos.

❖ Amostra 4 – COURO

Após se ter desligado o aparato experimental da tomada e trocado a amostra para um pedaço de cinto de couro;

Ligou-se novamente à tomada, e perguntou: **conduz ou não conduz?**

Após os alunos responderem;

Solicitou-se a um deles que acionasse o interruptor;

O resultado está apresentado na Figura 2.19.

Figura 2.19 – Imagem fotográfica do circuito com um pedaço de couro fixado nos garfos. A tensão indicada é 0,00 V



Fonte: o autor, 2019.

Resposta: não conduz! O couro, sendo um material seco, é um dielétrico (isolante), utilizado para se confeccionar luvas usadas por eletricitistas. Quando em trabalho com alta tensão, estes usam como luva de cobertura sobre a luva de borracha. A maioria, 81%, acertou, mas tiveram quatro alunos que ficaram a pensar no porquê não conduz.

❖ Amostra 5 – Isopor®

Após se ter desligado o aparato experimental da tomada e trocado a amostra, ligou-se novamente à tomada, e perguntou-se: **conduz ou não conduz?**

Após os alunos terem respondido;

Solicitou-se que um deles acionasse o interruptor;

O resultado foi o apresentado na Figura 2.20.

Figura 2.20 – Imagem fotográfica do circuito com o isopor® como amostra. A tensão é de 0,00 V.



Fonte: o autor, 2019.

Resposta: não conduz eletricidade. O isopor®, além de ser um isolante elétrico, é também um isolante térmico e isolante sonoro, sendo também um material altamente inflamável. Vale lembrar que “Isopor” é o nome de uma marca do Poliestireno. Essa amostra teve um acerto de 86%, e três alunos ficaram tentando compreender o porquê não conduziu eletricidade.

❖ Amostra 6 – Batata – nome científico: *Solanum Tuberosum*

Após se ter desligado o aparato experimental da tomada e trocado a amostra, ligou-se novamente à tomada;

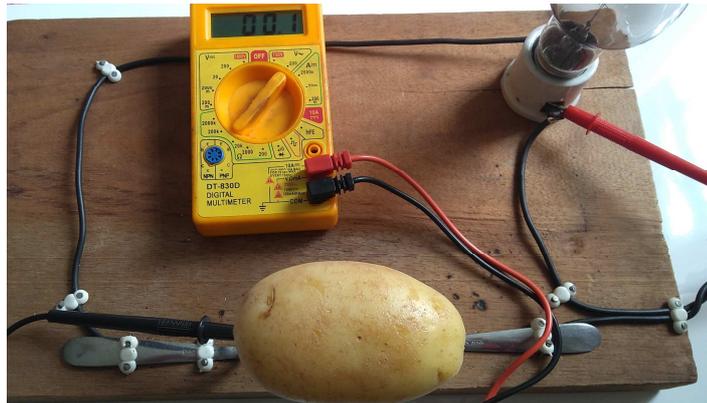
Perguntou-se: **conduz ou não conduz?**;

Após os alunos responderem;

Solicitou-se a um deles que acionasse o interruptor.

O resultado foi o apresentado na Figura 2.21.

Figura 2.21 – Imagem fotográfica utilizando como amostra uma batata. O multímetro indica uma tensão de 0,01 V



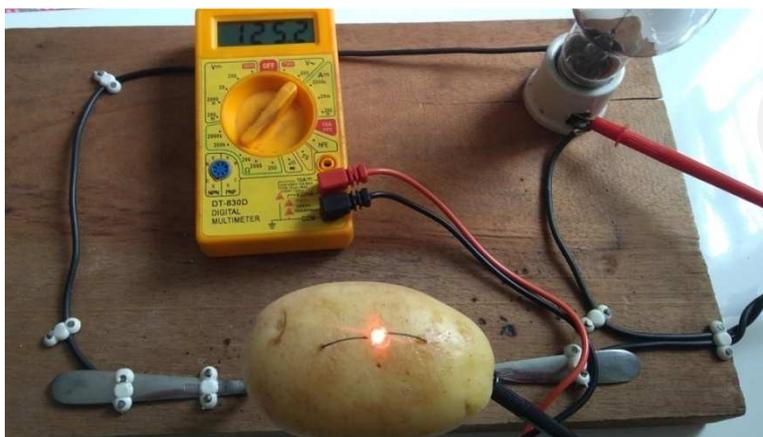
????????????

Fonte: o autor, 2019; “carinha” cedida por H. Mukai, 2021.

Resposta: não conduz! COMO ASSIM???? Somente um aluno acertou?

Mas, conforme se conhece da literatura, o fato de se utilizar a batata como uma fonte de tensão e este conter água e amido, além dos minerais, na sua constituição química, resolveu se testar colocando-se um *led*, como foi feito com a cenoura. O resultado foi o apresentado na Figura 2.22.

Figura 2.22 – Imagem fotográfica utilizando como amostra uma batata com o *led*. O multímetro indica uma tensão de 125,2 V na batata, medida antes da batata, logo, sendo a tensão da rede



Fonte: arquivo do autor, 2019; “carinha” cedida por H. Mukai, 2021.

Observa-se que a tensão apresentada no multímetro é a tensão de entrada (antes da amostra) e não entre a amostra e a lâmpada.

A quantidade de água, a cada 100 g de batata, é semelhante à encontrada na cenoura. Em relação aos minerais, a batata possui um teor maior por miligramas (mg) do que a cenoura (Tabela 2.4), talvez por isso o *led* apresente uma maior luminosidade na batata em relação à cenoura.

Tabela 2.4 – Dados de alguns compostos a cada 100g de cenoura e da batata crua

legumes	água	Mg (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Vitamina C (gm)
Batata	83,29	23	3,24	413	10	11,4
Cenoura	88,29	12	0,3	320	69	5,9

Fonte: <http://tabnut.dis.epm.br/alimento/11124/batata-crua> e cenoura crua

Resposta correta: CONDUZ!!!! 95% de acerto!!!!

❖ Amostra 7 – Fio de Cobre

Após se ter desligado o aparato experimental da tomada e trocado a amostra, fixou-se o fio de cobre nos garfos, ligou-se novamente à tomada;

Perguntou-se: **conduz ou não conduz?**

Após os alunos responderem;

Solicitou-se a um deles que acionasse o interruptor.

O resultado foi o apresentado na Figura 2.23.

Figura 2.23 – Imagem fotográfica utilizando como amostra o fio de cobre. Tensão 124,8 V após a amostra



Fonte: arquivo do autor, 2019.

Resposta: a resposta, nesse caso, não é surpresa: o fio de cobre é um bom condutor, a tensão é a mesma que a entrada, tanto que o fio de cobre é utilizado em fiação, circuitos, transformadores, entre outros. Com 90% de acerto, somente dois alunos responderam que não conduzia.

Curiosidade: atualmente também se usa o fio de alumínio em substituição ao do cobre na rede elétrica. Por qual motivo?²⁶(R. Por motivos de furtos devido ao valor comercial do fio de cobre (Cu) que é bem maior (cerca de 8 vezes) do que o do alumínio (Al); e do Al ser muito menos massivo e mais maleável do que o do cobre). Em que ambiente ele é recomendado? (R. normalmente o de Al em ambientes externos e o de Cu ambientes internos e pequenos dispositivos eletrônicos), e por qual motivo? (R. o fio de Cu oxida e sofre corrosão em ambientes externos, outro motivo é devido o fio de Al ter uma resistência maior que o do Cu e dissipar mais calor, além disso, o de Al é de difícil emenda, necessitando de técnica especial de solda).

Calcule a sua condutividade elétrica e compare com a do cobre. (R. Utilizando os dados da Tabela 2.1: $\rho_{Al} = 2,44 \times 10^{-6} \text{ cm}\Omega$; $\sigma_{Al} = \frac{1}{\rho_{Al}} = 4,1 \times 10^5 (\Omega \text{ cm})^{-1}$ e para o cobre $\sigma_{Cu} = 5,8 \times 10^7 (\text{cm}\Omega)^{-1}$, logo o cobre é 71% mais condutor que o alumínio.)

Comportamentos e Percepções durante o jogo: houve durante o jogo muitas perguntas entre o observado e o respondido, e os alunos se mostraram motivados e interessados no que ocorria.

2.2.5.2 (c) – Final do jogo

Na Tabela 2.5 a tabela de pontuação, indicando o vencedor.

Tabela 2.5 – Dados de pontuação. ID – Identificação; P – pontuação.

ID	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
P	4	5	3	6	4	3	5	6	5	6	4	5	5	5	1	7	5	6	6	4	4

Fonte: o autor, 2019.

²⁶ Fonte: <https://www.decorlux.com.br/qual-o-melhor-condutor-cobre-ou-aluminio/>

O VENCEDOR foi o aluno **ID: P** quem acertou todas as sete amostras, 100% de acerto;

2º Lugar: 5 alunos com 6 acertos;

3º Lugar: 7 alunos com 5 acertos.

2.2.6 - Aulas 8 e 9 - Esclarecimentos sobre os Resultados

Nessas aulas, foi feita uma análise das respostas do *quiz*, esclarecendo-se e reforçando-se o conteúdo físico envolvido.

Para tal, os alunos foram questionados sobre o jogo aplicado na aula anterior, sobre seus resultados, isto é, sobre as questões que erraram e acertam e o que os levou a marcar cada uma das opções. Nesse momento, o professor discutiu cada um dos experimentos explicando por que cada amostra conduzia ou não.

2.2.7 - Aula 10 - Aplicação dos Questionários 1 e 2

Os alunos repetiram o Questionário 1, a fim de comparar a evolução das respostas em função da aplicação do jogo bem como dos conceitos abordados em aula, e, por fim, foi respondido o Questionário 2. Esse questionário foi acrescentado para se observar se houve alguma aprendizagem significativa. As recomendações foram as mesmas informadas antes de se aplicar o Questionário 1 na primeira aula.

Questionário 2

1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa? (R: (b))

- a) Sim
- b) Não

2- Assinale a alternativa que está relacionada à correta forma de produção de energia elétrica. (R: (a))

- a) Energia elétrica está baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.
- b) Energia elétrica está baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor.
- c) Energia elétrica é concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Assinale a alternativa que responde corretamente à questão:

Como podemos explicar o que é corrente elétrica? (R: (c))

- a) É a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.
- b) É a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.

c) É um fluxo ordenado de elétrons que circula por um material quando, entre suas extremidades, houver uma diferença de potencial elétrico.

4- Assinale a alternativa correta a respeito de condutores e isolantes. (R: (b))

- a) Materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.
- b) Condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.
- c) Somente os isolantes podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico conduzem eletricidade.

5- Assinale a alternativa que responde corretamente à questão:

O que são resistores elétricos? (R: (c))

- a) São componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando-se assim, isolantes.
- b) São componentes mecânicos que, quando ligados, permitem a passagem de corrente elétrica.
- c) São componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a corrente elétrica ou gerar calor.

Após a correção dos Questionários 1e 2, os alunos receberam um *feedback* a respeito dos erros e acertos geral, ou seja, média por turma. Também deram um *feedback* quanto à metodologia do uso do jogo como uma ferramenta de ensino.

Capítulo 3 – Resultados e Análises

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos nos Questionários 1, antes e após aplicação do jogo (*quiz*: conduz ou não conduz) por meio de um aparato experimental (circuito elétrico em série); Questionário 2, cujo objetivo era ter um diferencial rápido para ver se houve uma aprendizagem significativa; e observações e debates das aulas de aplicação do Produto Educacional aos 21 alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola da rede privada no município de Mandaguçu, no estado do Paraná.

3.1 Resultados e Análises do Pré-teste

O pré-teste foi aplicado na primeira aula antes do jogo (Capítulo 2 – Aula 1) e reaplicado após o jogo (Capítulo 2 - Aula 10).

As respostas foram classificadas como correta, parcialmente correta e incorreta, além das em branco.

As respostas consideradas parcialmente corretas foram as que tinham alguma ideia relacionada com a pergunta, por exemplo, para a questão 2 - Explique o que é corrente elétrica.

- Pré-teste - Resposta do aluno – *“É o que faz as coisas ficarem ligadas ou que faz você levar choque”*. Considerada parcialmente correta.
- Pós-teste do mesmo aluno com a mesma pergunta 2 – *“É o movimento dos elétrons no fio”*. Considerada como correta.

Na Tabela 3.1, está listado o número de respostas corretas, parcialmente corretas, incorretas, e se mantidas em branco em cada uma das questões (as respostas julgadas satisfatórias foram as apresentadas em cada questão no Capítulo 2 – Aula 1, bem como uma amostragem das respostas dos alunos (Anexo 2).

Conforme a Tabela 3.1, é possível se observar que mais de 50 % dos alunos acertaram total ou parcialmente todas as questões salvo a questão 3 (Explique o que é diferença de potencial elétrico).

Tabela 3.1- Resultado da Análise do Questionário 1 - antes do jogo.

Incorretas (%)	Corretas (%)	Parcialmente corretas (%)	Questão em branco (%)
1. Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica.			
9,5	38,1	47,6	4,8
2. Defina corrente elétrica.			
4,8	28,6	66,7	0
3. Explique o que é diferença de potencial elétrico.			
71,4	0	14,3	14,3
4. Explique o que é tensão elétrica.			
28,6	19	52,4	0
5. Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes.			
9,5	42,9	47,6	0
6. Explique o que são resistores.			
33,3	19,1	47,6	0

Fonte: o autor, 2019.

➤ Análise dos Debates das Questões e Relatos dos Alunos

Questão 1- *Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica.* Nessa questão, houve um bom índice de respostas corretas, os alunos relataram que já haviam visto filmes e documentários sobre o tema.

Questão 2 – *Defina corrente elétrica.* Assim como na questão anterior, o índice de acertos foi considerável, neste caso, a justificativa apresentada pelos alunos foi o senso comum. Ao se observar a Tabela 3.1, nota-se que 66,7 % acertaram a questão parcialmente; ao se analisar as respostas constata-se que os mesmos sabiam sobre o conceito, contudo as explicações não eram formais e estes, apesar de responderem corretamente, não sabiam explicar com clareza nem formular precisamente as ideias.

Questão 3 – *Explique o que é diferença de potencial elétrico.* Nesse caso, a maioria dos alunos respondeu incorretamente à questão e até mesmo não responderam alegando não terem ideia do que escrever.

Questão 4 – *Explique o que é tensão elétrica.* Nessa questão, em geral os alunos relacionavam o conceito de tensão com “aquilo que faz a TV funcionar” – referindo-se à energia elétrica. Novamente se observou que os mesmos conheciam o conceito porém não sabiam formalizá-lo.

Questão 5 – *Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes.* Essa também foi uma questão com um bom índice de respostas corretas. Na justificativa,

além da definição, os alunos usaram exemplos como madeira (não conduz), fio (conduz), mostrando que o senso comum está presente na formação desse conceito.

Um deles argumentou: “Tem que saber o que conduz e não conduz para não sair pegando nas coisas e morrer eletrocutado”. Nesse caso, nota-se que o conceito de condutor e isolante é “visto”, pelos alunos, como algo fundamental para sua segurança e que está amplamente presente em seu dia a dia.

Questão 6 – *Explique o que são resistores.* Nessa questão o número de respostas incorretas foi significativo. Ao se questionar os alunos sobre as dificuldades encontradas, os mesmos informaram que conheciam um resistor, mas que pensaram que, na questão, a resposta era sobre outro assunto, sobre um conceito físico e não um componente eletrônico. Neste caso, conclui-se que o erro se deu mais pela incorreta interpretação do que pela falta de conhecimento sobre o componente.

De modo geral, os alunos responderam satisfatoriamente a todas as questões obtendo mais de 60 % (corretas e corretamente parciais), a média percentual de respostas incorretas foi de 26,2 %, corretas 24,6 %, corretamente parciais, 46 % e questões em branco, 3,2 %.

3.2 Resultados e Análises das Respostas do Jogo

Na Tabela 3.2, estão apresentados os números de acertos para cada amostra respondidos no total dos 21 alunos que participaram do jogo.

Tabela 3.2 – Dados para cada amostra do número de acertos. Total de participantes 21 alunos.

Amostra	Nº de Acertos	Nº de acertos (%)
Salsicha	7	33,3
Grafite	13	61,9
Cenoura	7	33,3
Couro	17	80,9
Isopor	18	85,7
Batata	20	95,2
Fio de Cobre	19	90,4

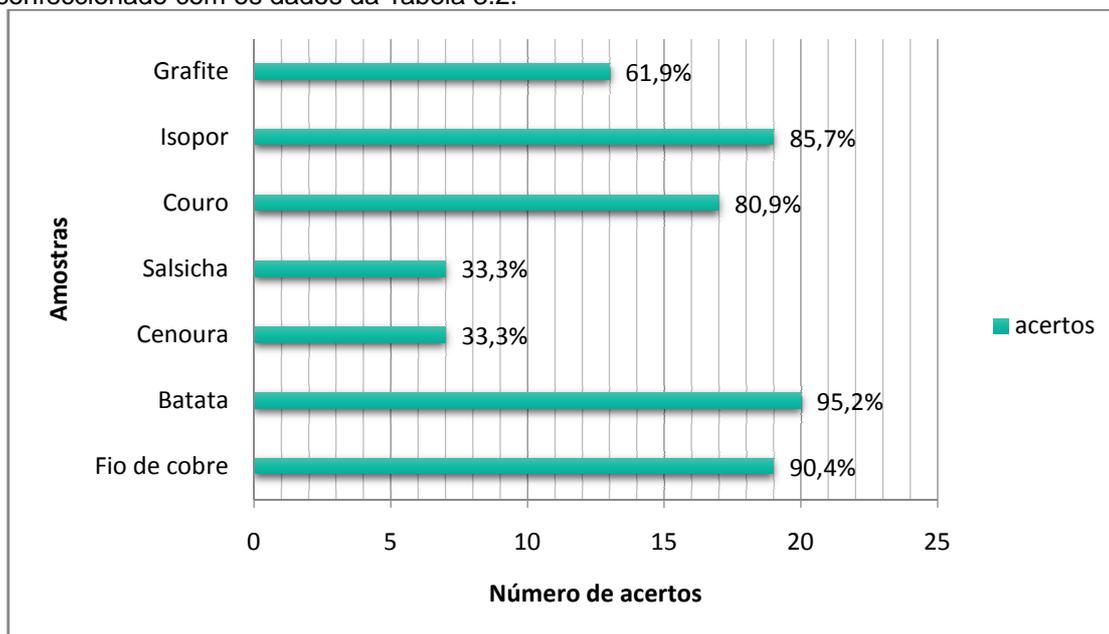
Fonte: o autor, 2019.

No gráfico da Figura 3.1, estão apresentados os resultados obtidos pelos alunos no jogo “conduz ou não conduz” (Tabela 3.2) para melhor análise. Na indicação na vertical, os números de 2 a 8 indicam as amostras e o número de

alunos que acertaram a resposta, e, na horizontal o quanto isso implica em porcentagem.

Conforme o gráfico da Figura 3.1, o fio de cobre e a batata foram as amostras com maior percentual de acertos. Os alunos em geral relataram que “O fio é usado nos eletrodomésticos, na luz então tem que conduzir. Quanto a batata vários disseram que já tinham visto ou feito experimentos nas aulas de física ou química envolvendo batata”. Mas, no caso da batata, inicialmente se surpreenderam com o fato da lâmpada não ter acendido (Figura 2.23), mas depois, com o acréscimo do *led* na própria batata, perceberam que haviam acertado. O conhecimento prévio, em relação ao que haviam aprendido ou lido, estava correto, talvez não com a intensidade de condutividade que esperavam. Quando se diminuiu a distância entre os potenciais, o multímetro acusou uma baixa tensão (Figura 2.24) da luminosidade emitida no *led*.

Figura 3.1 – Gráfico das Amostras versus o número de acertos, dos resultados do número de alunos que acertaram e o seu equivalente em porcentagem do jogo conduz ou não conduz?, confeccionado com os dados da Tabela 3.2.



Fonte: o autor, 2020.

O isopor® e o couro, segundo os alunos, são materiais intuitivos. Boa parte dos alunos não soube explicar o porquê, porém sabiam que estes se comportavam como isolantes. Esclareceu-se que, no caso do isopor®, a resistividade do material

é um valor alto, em torno²⁷ de $10^{15} \text{ cm } \Omega$, pois é o material é o poliestireno, um tipo de plástico.

No caso do grafite, alguns alunos disseram já ter ouvido algo sobre este e suas possíveis aplicações. E esses alunos manifestaram ideias confusas, informações descasadas, sabiam o fenômeno, mas não conheciam o motivo. Foi esclarecido, a eles, que o grafite é composto de grafeno, um material composto por uma malha hexagonal de átomos de carbono, altamente condutivo ($\sim 1 \times 10^{+6} (\text{cm } \Omega)^{-1}$), e pó de argila bem fino com uma resistividade de $10^{-6} \text{ cm } \Omega$, logo, um material condutor.

No caso da cenoura e da salsicha, a maior parte dos alunos alegou ter “chutado”, e os que não ‘chutaram’ não conseguiram explicar qual motivo os levou a dar sua resposta. Foram esclarecidos, então, os motivos: a salsicha possui íons em movimento devido a presença do cloreto de sódio (sal), o que a torna condutora em relação à cenoura, que primeiramente a lâmpada não acendeu, parecia ser um isolante, mas, ao se colocar um *led* espetado na amostra, percebeu-se que conduz corrente a uma baixa tensão, semelhante à batata.

De forma geral, observou-se que os alunos têm ideias sobre quais materiais conduzem ou não eletricidade, e essas ideias são baseadas, na sua maioria, em experiências vividas ou experimentos vistos na televisão, escola, no ambiente caseiro, entre outros. Contudo, nota-se que os fenômenos físicos que levam o material ao processo de condução são desconhecidos da maioria dos estudantes.

3.3 Resultados e Análises dos Questionários (após o jogo)

Nesta seção, estão apresentados os resultados e análises feitas dos questionários 1 e 2 após o jogo.

3.3.1 – QUESTIONÁRIO 1

Na Tabela 3.3, estão apresentados os resultados do questionário 1, aplicado após a realização do jogo. Este questionário foi repetido para se comparar com as respostas antes do jogo. Ressalta-se que houve explicação da teoria antes da

²⁷ Valor extraído da fonte: <https://incomplast.com.br/poliestirenops/>.

aplicação do jogo sobre o conteúdo da Eletrodinâmica e, após, esclarecimentos referentes a cada amostra do jogo e sobre o que ocorre envolvendo esse conteúdo, conforme descrito nas aulas.

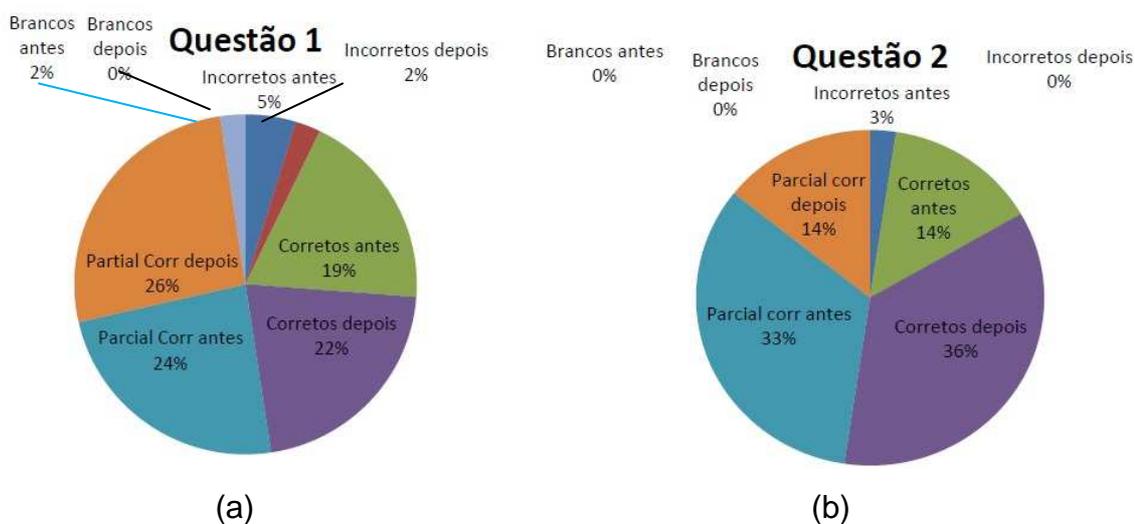
Tabela 3.3 – Resultados da Análise do Questionário 1 - após o jogo.

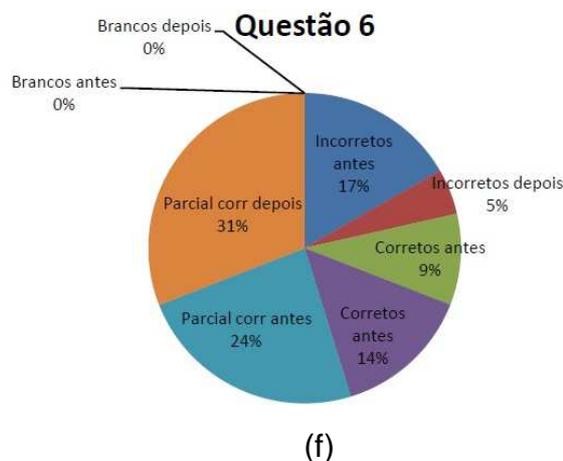
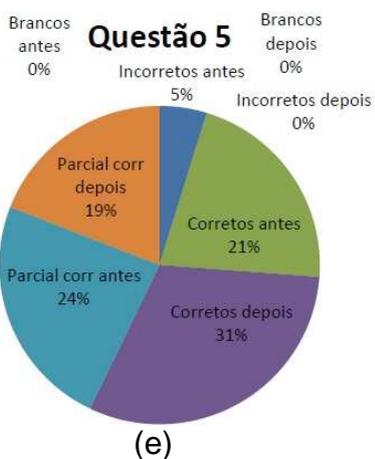
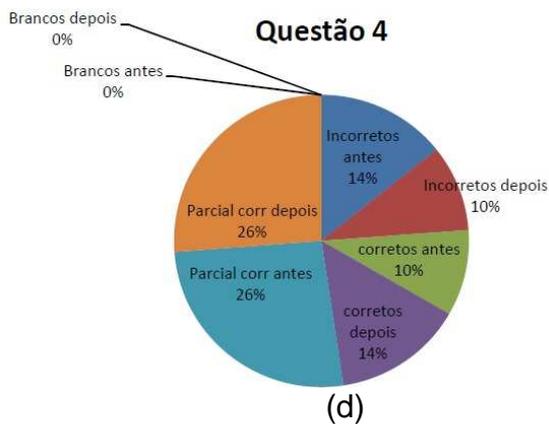
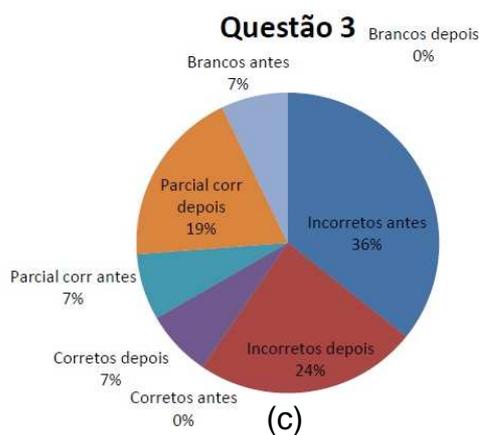
Incorretas (%)	Corretas (%)	Parcialmente corretas (%)	Questão em branco (%)
1. Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica.			
4,8	42,9	52,4	0
2. Defina corrente elétrica			
0	71,4	28,6	0
3. Explique o que é diferença de potencial elétrico.			
47,6	14,3	38,1	0
4. Explique o que é tensão elétrica.			
19,1	28,6	52,4	0
5. Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes.			
0	61,9	38,1	0
6. Explique o que são resistores.			
9,5	28,7	61,8	0

Fonte: o autor, 2019.

Na Figura 3.2 estão apresentados a análise das questões antes e após o jogo em *quiz* e esclarecimentos após a aplicação antes do jogo.

Figura 3.2 – Gráficos da análise, comparando as respostas antes e depois, do jogo– referentes aos dados das Tabelas 3.1 e 3.3 – (a) Questão 1: Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica; (b) Questão 2: Defina corrente elétrica; (c) Questão 3: Explique o que é diferença de potencial elétrico; (d) Questão 4: Explique o que é tensão elétrica; (e) Questão 5 - Pontue a diferença entre condutores e isolantes; (6) Questão 6 – Explique o que são resistores.





Fonte: o autor, 2020.

Fazendo-se uma comparação na divisão da Figura 3.2 em formato de pizza e, considerando-se cada tipo de resposta e a diferença entre elas em %, tem-se que:

- **Questão 1** – sobre o funcionamento da hidroelétrica (Figura 3.2 (a)), houve aumento de acertos em 3% a mais e os parcialmente corretos aumentaram em 2%, os incorretos diminuíram em 3% e os em brancos diminuíram em 2% zerando. Mesmo alguns alunos já tendo conhecimento sobre o assunto, o reforço do conteúdo fez com que houvesse aumento no número de acertos.
- **Questão 2**-sobre o conceito de corrente elétrica, pode-se observar no gráfico da Figura 3.2 (b),- que o número de brancos se manteve, ou seja, nenhum aluno deixou em branco. Os incorretos zeraram, diminuindo de 3%,

as corretas aumentaram em 22% e as parcialmente corretas diminuíram em 19%. Desses 19% e 3% que haviam errado inicialmente, todos passaram a acertar a questão, o que é realmente muito bom.

- As **Questões 3** (conceito de ddp - Figura 3.2 (c)) e **4** (conceito de tensão elétrica – Figura 3.2 (d)) – a primeira observação a ser feita é que não compreenderam que se trata do mesmo conceito, pois o quantitativo, após a aplicação do jogo e explicações que tratam dos conceitos de ddp/tensão, é diferente.

Em relação à questão 3, diminuíram em 12% as respostas incorretas e aumentaram nessa quantidade as respostas corretas, visto que os parcialmente corretos não se alteraram, mantendo-se os 7%. Como os brancos zeraram, as respostas ficaram distribuídas entre corretas, incorretas e parcialmente corretas.

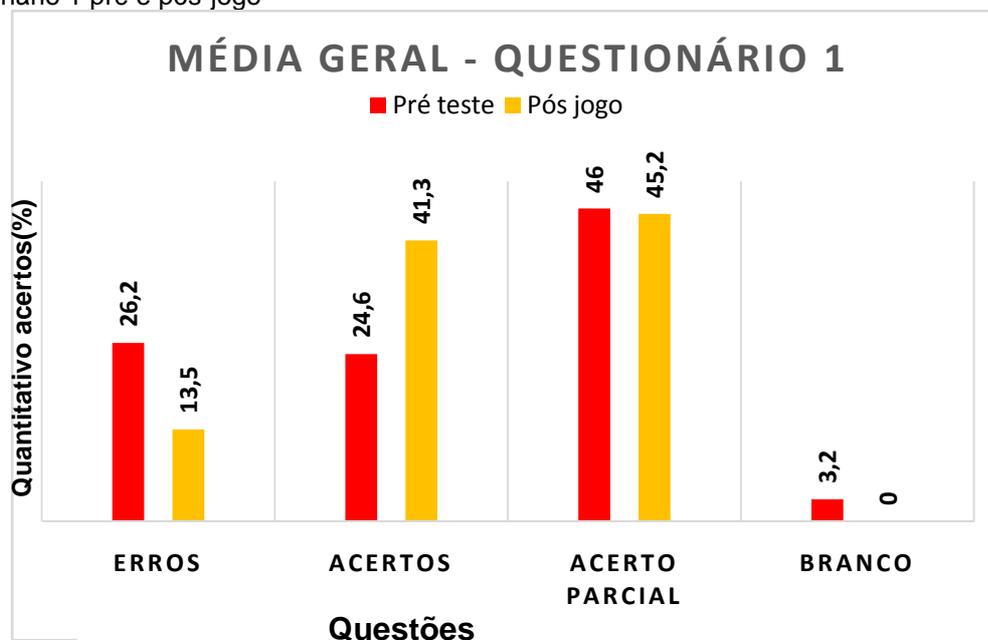
Na questão 4, os incorretos diminuíram em 4%, que aumentou nas corretas, pois as parcialmente corretas não se alteraram.

De forma geral, aumentou o número de acertos.

- **Questão 5** – Pontuar sobre condutores e isolantes – Figura 3.2 (e) – os incorretos (zerou) e os parcialmente corretos diminuíram, e, 5%, foi o aumento ocorrido nos acertos de 10%. Essa questão está diretamente ligada ao jogo, portanto, houve melhoria mesmo não se atingindo os 100% de acertos. O que mostra que, mesmo parcialmente, todos tiveram compreensão sobre os dois conceitos envolvidos.
- **Questão 6** – (conceito de resistores – Figura 3.2 (f)) – nesse caso, observa-se que, após o esclarecimento sobre o que se tratava do elemento de circuito, essa questão foi colocada para se saber se os alunos possuem noção de sua função e se compreendem, o motivo de um material ser um isolante. As respostas incorretas diminuíram em 12%, que foram distribuídas entre o aumento das respostas corretas em 5% e o restante nas parcialmente corretas que aumentou de 7%. Um resultado a ser melhorado.

Após a realização do jogo, os percentuais de acertos aumentaram. Quanto à análise das repostas por questões baseadas nas Figuras 3.2 (a) a (f), o gráfico da Figura 3.3 apresenta os resultados gerais pré e pós-jogo.

Figura 3.3 – Gráfico do Quantitativo de acertos (%) versus Questões, dos resultados gerais do Questionário 1 pré e pós-jogo



Fonte: o autor, 2020.

Conforme gráfico da Figura 3.3, observa-se que o número de acertos aumentou em 16,7%. Os alunos relataram que, além da aula, o jogo também serviu para melhorarem o entendimento sobre os temas abordados.

Além de se analisar as respostas, também foi cronometrado o tempo que os alunos levaram para responder ao questionário. Na primeira tentativa (pré-jogo), o tempo máximo gasto foi de 38 *min.*, também alguns alunos deixaram algumas questões em branco. Já na segunda tentativa (pós-jogo) o tempo máximo foi de 19 *min.* E neste caso, todas as questões foram respondidas.

3.3.2 Questionário 2

Após a realização do jogo, esclarecimentos e se responder ao Questionário 1 novamente, os alunos também responderam a um outro questionário denominado de questionário 2. Este questionário era para ser utilizado como um detector de se

houve aprendizagem significativa. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.4.

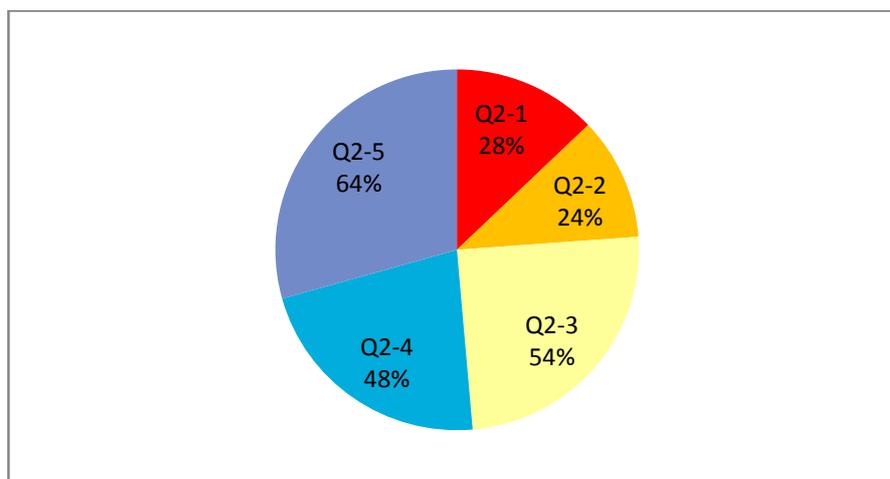
Tabela 3.4 – Resultados da análise do Questionário 2.

Incorretas (%)	Corretas (%)
Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa?	
36	64
Assinale a alternativa que está relacionada à correta forma de produção de energia elétrica.	
38	62
Assinale a alternativa que responde corretamente à questão: Como podemos explicar o que é corrente elétrica?	
23	77
Assinale a alternativa correta a respeito de condutores e isolantes.	
26	74
Assinale a alternativa que responde corretamente à questão: O que são resistores elétricos?	
18	82

Fonte: o autor, 2020.

Conforme a Tabela 3.4, a maior parte dos alunos responderam satisfatoriamente ao Questionário 2, com um aproveitamento variando de 24% a 64% (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Aproveitamento por questão referente ao Questionário 2: Q2-1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa? Q2-2- Assinale a alternativa que está relacionada à correta forma de produção de energia elétrica. Q2-3 - Como podemos explicar o que é corrente elétrica? Q2-4 Assinale a alternativa correta a respeito de condutores e isolantes. Q2-5- O que são resistores elétricos? Baseados nos dados da Tabela 3.4.



Fonte: o autor, 2020.

Contudo, parte dos acertos pode ser atribuída ao formato das questões (múltipla escolha). Ao se realizar a correção oral das questões, foi possível se observar algumas dúvidas no que tange à definição e ao processo de produção de energia elétrica. Assim, em conjunto com a correção, foi realizada uma revisão para que os alunos fixassem melhor o conteúdo.

Perante os resultados obtidos e observações feitas em aula, pode-se afirmar que houve um indicativo de uma aprendizagem significativa, segundo Ausubel, pois, diante do conhecimento que tinham antes de aplicar o PE, tendo o jogo como um agente de despertar interesse pelo assunto bem como a curiosidade nos conceitos envolvidos, percebeu-se um aproveitamento na média acima de 40% quantitativamente e de 90% de forma observacional e comentários dos alunos. Esse PE foi aplicado no primeiro semestre do ano de 2019, e, em 2020, antes da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2-, os alunos perguntaram se seria aplicado novamente.

Terminadas as aplicações e correções dos questionários e com as respostas referentes ao jogo, os alunos foram indagados individualmente sobre se gostaram ou não do jogo e como eles encaram este jogo no processo de ensino aprendizagem. Seguem algumas das respostas (fala integral dos alunos) registradas:

Aluno 1 – “Gostei muito do jogo, foi muito legal ver que a posição do *Led* faz diferença para luz acender ou não”.

Aluno 2 – “Eu gostei muito de ajudar montar, deveríamos fazer isso mais vezes”.

Aluno 3 – “Nunca imaginei que o lápis (referindo-se ao grafite) aí acender (conduzir eletricidade), sem o jogo talvez eu não acreditaria”.

Aluno 4 – “Eu entendi bem mais as coisas depois do jogo”.

Aluno 5 – “O jogo foi legal, só não gostei de ter que responder os questionários”.

Aluno 6 – “Da próxima o Sr. poderia deixar cada um de nós trazer um material”.

Aluno 7 – “Podíamos fazer mais jogos assim, aí a gente poderia ter equipes e ver quem acerta mais”.

Aluno 8 – “Não gostei muito”.

No geral, a maior parte dos alunos gostou do jogo, principalmente por terem a oportunidade de participar do processo de montagem; salvo um aluno que disse não ter gostado (mas sem apresentar justificativa do motivo), os demais se mostraram entusiasmados.

Tendo os dados coletados, o resultado do jogo e a observação da reação e comentário dos alunos, o que permaneceu nos anos seguintes, lembrando-se sobre aparato utilizado, leva a se concluir que esse tipo de atividade pode ser adotado como ferramenta de indício de ensino-aprendizagem significativa.

Considerações Finais

O presente trabalho foi fundamentado em uma proposta de atividade experimental baseada em um circuito elétrico em série que engloba a montagem, indagações sobre o tema no contexto da eletrodinâmica (em ciências da natureza e tecnologia) e conclusões/verificação de resultados por meio de um aparato experimental já existente na literatura (Doescher, 2009), abrangendo desde a montagem do aparato, as medidas elétricas e o procedimento experimental explorado em forma de um jogo (*quiz*: conduz ou não conduz).

Além de contribuir para aprendizagem, espera-se que os alunos, após a realização do jogo, sintam-se estimulados a compreender melhor os diversos ramos da física, entendendo que esses fenômenos estão presentes em seu dia a dia.

O jogo segue uma metodologia simples e de baixo custo, contorna as dificuldades (falta de laboratórios) vividas por muitas escolas, podendo ser montado, sem grandes dificuldades, pelos próprios alunos com a supervisão adequada do professor, estimulando estes a construir habilidades de investigação e exemplificando e aprofundando os conceitos em construção.

O jogo, por si só, não é capaz de promover a aprendizagem, contudo, o conjunto: montagem experimental + jogo + explicações do professor + promoção de debate e investigação resulta em uma aprendizagem significativa.

Com base nos resultados dos questionários e da devolutiva dos alunos, conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados, já que houve evolução na construção dos conceitos, contudo destaca-se que seria interessante se aplicar o jogo para mais alunos de diferentes escolas e até mesmo se montar a metodologia para a turma em questão a fim de avaliá-la em longo prazo (perspectivas do trabalho).

Além dos resultados satisfatórios constatados pelo professor/autor outro aspecto importante diz respeito ao retorno (*feedback*) feito pelos alunos sobre as atividades. A maioria considerou o jogo importante para o processo de aprendizagem e alegou que seria interessante ter mais atividades nesse formato.

No geral, o jogo pode ser melhorado, sendo inclusos outros materiais e diferentes questionários. Além disso, mesmo sendo algo relativamente simples, foi

comprovado que o jogo pode ser incluso como uma ferramenta a fim de tornar o ensino mais atrativo para os alunos. Do ponto de vista docente, a preparação em si desse tipo de atividade leva mais tempo se comparada a uma aula tradicional, contudo o resultado final foi muito satisfatório, com indício positivo para uma aprendizagem significativa.

O aparato experimental mostrou-se muito rico na questão de seu uso, pois, além do jogo conduz ou não conduz, somente com a salsicha e dois *leds*, pode-se explorar a salsicha como uma *protoboard*, trabalhar os conceitos de potencial, superfície equipotencial e ddp. Visto que, os alunos observaram que, se as hastes do *led* fossem e perpendicularmente não. Além disso, foi explorado o efeito Joule, conversão da energia elétrica em energia térmica, e, como consequência, aguçou-se o sentido olfativo dos alunos, com o aroma da salsicha fritando; por fim, ocorreu a aplicação da segunda lei de Ohm, supondo-se a salsicha como um fio condutor e calculando-se a sua resistividade. Também, os alunos puderam acompanhar o uso e funcionamento de um multímetro.

No ano de 2020, pretendia-se aplicar novamente o PE, e este foi reestruturado para ser utilizado juntamente com simuladores como a do PhET/Colorado (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=html&sort=alpha&view=grid) e do Física na Escola (<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>), que são excelentes opções, o que acabou ficando como sugestões no PE. O isolamento social em razão da pandemia do SARS-CoV-2 e com o início desta justamente quando se pretendia iniciar a reaplicação, que foi no mês de março de 2020, não permitiu que o mesmo pudesse ser realizado. Não houve condições, pois todo o sistema educacional ficou bastante confuso. Os docentes e discentes tiveram que se adaptar com as aulas remotas e síncronas. Além de necessitarem aprender novas metodologias de ensino, muitos professores tiveram que assumir as atividades de e da casa, além de cuidarem dos filhos em período integral, o resultado foi o estado psicológico bastante abalado, situação essa que não mudou em 2021, pelo menos até o momento.

Por último e não menos importante, acrescentada após a defesa, por sugestão da banca, em particular pelo o membro suplente que estava presente, Prof. Dr. Otávio A. Capeloto (UFAM), e com a concordância dos membros titulares,

a construção do aparato, mas que se use uma fonte de tensão de 12 V no lugar de ser direto da rede elétrica que é de 127 V. A sugestão foi acatada, e o aparato foi construído e testado, e o resultado está no texto apresentado no Apêndice A. De forma geral, a sugestão é válida para que os alunos possam eles mesmos montarem, utilizar o multímetro para medir tensão e corrente, assim realizar as ligações em série e em paralelo, enfim, para a parte física, e até praticarem o jogo com os elementos que eles desejem testar, tudo sob orientação docente.

Um dos fatores que o aparato original proporciona é a parte lúdica, entre eles, a intensidade luminosa da lâmpada e o aroma da salsicha fritando, pois na versão 12 V o jogo deveria ser realizado observando-se o *led* conectado às amostras. Portanto, a sugestão é que se façam ambos os aparatos, um com o professor manuseando e o outro para os alunos montarem e manusearem, o que enriquece ainda mais o produto educacional aqui proposto.

Referências Bibliográficas

Araújo, E. D. S. e Santos, B. M. (2018). Jogo das grandezas: um recurso para o ensino. *Revista do Professor de Física, UNB*, v.2, n.2, p. 73–83, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/12079/10590>>. Acesso em 02/03/2021.

Araujo, M. S. T.; Abib, M. L. V. dos S. (2003). Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes possibilidades, *Rev. Bras. em Ens. de Física*, v. 25, n. 2, p.176–194. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2.pdf>>. Acesso em 18/05/2019.

Astrath, E. A. C. (2015). Princípios de uma usina fotovoltaica: uma aplicação ao ensino médio. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 08/04/2021.

Baliscei, M. P. (2016). Uma sequência didática alternativa: conceitos de eletricidade e o efeito fotoelétrico utilizando simulações computacionais. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 08/04/2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018

Callister Jr., W. D. (2008). *Ciência e Engenharia de Materiais :Uma Introdução*. LTC Editora, Rio de Janeiro, 7a Edição.

Campanholi Jr., L. (2019). O uso de um protótipo de refrigerador com Pastilhas Peltier: uma proposta didática para o processo ensino-aprendizagem das leis da termodinâmica e introdução aos conceitos de termoeletricidade. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 08/04/2021.

Capelari, D., e Zukovski, S. N. S., (2019). A importância da Física experimental no cotidiano e a educação. *Revista F@ciência*, v. 5 n. 2, p.12–16, 2019. <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LCFIS_7859_1276288474.pdf>. Acesso em 02/03/2021.

Cavalcante, J., Bueno, F., Costa, C., e Amorim, (2017). R. Física e Música: uma proposta interdisciplinar. *Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências, [S.l.]*, v. 5, n. 9, abr. 2017. Disponível em: <<http://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/50>>. Acesso em

02/03/2021.

Chaib, J. P. .M. .C.; Assis, A.K.T. (2007). Experiência de Oersted em sala de aula. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo, v. 29, n. 1, p. 41-51, 2007. Disponível em:<<<https://www.scielo.br/j/rbef/a/vG43rxQYKR8rNfSPmYJ3bGJ/abstract/?lang=pt21>>>
<https://doi.org/10.1590/S0102-47442007000100009>. Acesso em 21/03/2021.

Correia, E. de S.; Dantas, J. de M.; de Andrade, J. E. (2017). Considerações acerca dos conceitos de condutores, isolantes e semicondutores nos livros de Ensino Médio sob um olhar da teoria de bandas de energia. Scientia Plena,v.13, n. 01, p. 012716 – 1 a 7, 2017; DOI: 10.1408/sci.plena.2017.012716. Disponível em: <[file:///C:/Users/Master/Downloads/3485-Texto%20do%20Artigo-14238-1-10-20170108%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Master/Downloads/3485-Texto%20do%20Artigo-14238-1-10-20170108%20(2).pdf)>. Acesso em 21/03/2021.

da Rocha Filho, J. B.; Coelho; S., Salami; M., Maciel; M. R., Schrage, P. U. (2003), Resistores de Papel e Grafite: ensino experimental de eletricidade com papel e lápis, Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.2: p.228-236. Disponível em:<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6548/6036/0>>. Acesso em: 15/08/2020.

da Silva, R. G. 2016. Avaliação do Efeito de Ruptura a meio de vão no desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas. Trabalho de Conclusão de curso – Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Dias, D. L., 2020. Manual da Química – Galvanoplastia. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/galvanoplastia.htm>. Acesso: 20/05/2021.

Doescher, A. M. L.; Doescher, E.; Mattiazzo, B. P.; Bardi, L. R., (2009).Efeito Joule: de um fritador de salsicha ao secador de cabelo. Portal do Professor, MEC. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=7642>>. Acesso em 15/10/2018.

Gaspar, A. (2013), Compreendendo a Física 3 – Eletromagnetismo e Física Moderna, Editora Ática, SP.

Gaspar, A.; Monteiro, I. C. de C. (2005). Atividades Experimentais de Demonstração em Sala de Aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/518/315>>. Acesso em 02/03/2019.

Glight (Equipe Glight), (2020). Você conhece a história da lâmpada elétrica? Disponível em: <<https://www.glight.com.br/blog/voce-conhece-historia-da-lampada-eletrica/>> . Acesso em: 12/04/2021.

Griffiths, D. J. (2011). Eletrodinâmica (3ª ed). Ed. Pearson Education.São Paulo.

Halliday, D., Resnick, R. e Walker, J.. (2009). Eletromagnetismo - 8ª ed. Editora LTC, Rio de Janeiro.

Maldonado, A. P. B. (2020). Ondas Eletromagnéticas com ênfase em Raios X: uma proposta didática com o uso de tecnologias educacionais.Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 08/04/2021.

Martins, N. (1973). Introdução à teoria da eletricidade e do magnetismo. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo.

Mello, H. A. D. E., eBiasi, R. S. de. (1975). Introdução à física dos semicondutores. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo.

Moreira, M. A.. (2006). Teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula. Editora Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF,.

_____. (2012). O que é afinal aprendizagem Significativa?. Revista Cultural La Launa, Espanha. Disponível no site: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>> . Acesso em 21 de março de 2021.

Oliveira, I. F.; (2016).Raios X no Ensino Médio via Acesso Remoto na Perspectiva da Aprendizagem Significativa. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 08/04/2021.

Oliveira, L. A. A.; Valle, G. G.; Zanluqui, L. A..(2001). Construção de pilhas elétricas simples: Um experimento integrado de química e física. Eclet. Quím., São Paulo , v. 26, p. 235-244, 2001 . Disponível em <<https://www.scielo.br/j/eq/a/Bqsx5ZZWkhPnFVn8PryGpyB/abstract/?lang=pt>>. acesso em 21 mar. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46702001000100018>.

Ørsted, H.C.,(1986) Cad. Hist. Fil. Ci. 10, 115.

Padilha, A. F. (2000) Materiais de Engenharia Microestrutura e Propriedades. Editora Hemus. São Paulo.

Pensamento verde, 2016. Venda de lâmpadas incandescentes está proibida no Brasil, disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/economia->

verde/venda-de-lampadas-incandescentes-esta-proibida-no-brasil/> . Acesso em: 20/08/2020.

Ramalho Jr, F; Ivan J., C.S.; Nicolau, G. F.; e Toledo S., P. A. . (1977) - Os Fundamentos da Física - Vol. 3 - Eletricidade e Física Moderna, 1ª. edição - Ed. Moderna. São Paulo.

Ramalho Jr, F; Nicolau, G. F.; e Toledo S., P. A. . (1999) - Os Fundamentos da Física - Vol. 3 - 7ª. edição - Ed. Moderna. São Paulo.

Rodrigues, M. H.S., Pinon, J. C. S.; Lopes, S.S.; Almeida, A.C. P. C.. (2017). Ludicidade e ensino de física: Desenvolvendo uma atividade lúdica sobre o movimento circular uniforme. Física na escola, v. 15, n. 2, 52–57.

Rolim, J. G. (2002). Materiais Elétricos (Apostila). Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_UFSC/Materiais_EEL_7051/Apostila_Materiais.pdf

Sadiku, M. N.O. (2003) Elementos de eletromagnetismo. – 3. ed. – Editora Bookman, Porto Alegre.

Santos, F. C. (2008). Física lúdica. Trabalho de Conclusão de Curso, Licenciatura em Física, Faculdade de Física, Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <http://www.infis.ufu.br/infis_sys/pdf/FABRICIO%20LAMOUNIER%20SANTOS.pdf>. Acesso em: 20/05/2018.

Sears, F., Young, H., Freedman, R., Zemansky, M. (2008). Física III: Eletromagnetismo - .12ª Ed. Editora Addison Wesley São Paulo.

Silva, W., Claro, G., e Mendes, A. (2017). *Aprendizagem significativa e mapas conceituais*. IV seminário internacional se representação sociais subjetividade e educação (SIRSSE) e VI Seminário Internacional sobre Profissionalização Docente (SIPD/Cátedra UNESCO) Formação de professores; contextos, sentidos e práticas, EDUCERE, ISSN 2176-1396. p. 22694–22705. Disponível em: <https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2017/24179_12230.pdf>. Acesso em: 10/11/2018.

Villani, C. E. e Porto, S. S. do N., (2003). *A argumentação e o ensino de Ciências: Uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio*. Revista: Investigações em Ensino de Ciências . v.8, n.3, UFRGS, 187–209. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/download/539/334>>. Acesso em: 10/08/2019.

Wippel, M. (2020). *Física e Poesia: diálogos e potencialidades no ensino de Física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 37(2), 351–368. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2020v37n2p351/4>

3898>. Acesso em 14/05/2019.

Zanatta, S. C.; Leiria, T. F. (2018). *Uma análise das atividades experimentais publicadas em artigos científicos*. Revista: Ensino & Pesquisa, v.16, n.1, 120-149. Disponível em:<<http://periodicos.unespar.edu.br/index.php/ensinoepesquisa/article/view/1764>>. Acesso em: 10/08/2019.

Zompero, A. F.; Laburu, C. E. (2011) Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Revista: *Ensaio: pesquisa em educação em ciências*, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 67-80 Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/epec/v13n3/1983-2117-epec-13-03-00067.pdf>>. Acesso em: 23/08/2019.

Anexo A - Termo de Autorização



"Sacrificar-nos e consagrar-nos inteiramente à juventude."
M^{te}. Agatha Veriselle



TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Eu Maria Nazareth Gomes da Silva , Diretora geral do Colégio São Francisco de Assis – Mandaguaçu PR tenho ciência e autorizo o professor Rafael Salvalagio Martins à utilizar suas aulas para aplicar um produto educacional, dentro da disciplina de física, ao 3º ano do ensino médio. Esta aplicação é parte do trabalho de pesquisa desenvolvido pelo professor supracitado e está vinculada ao Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MNPEF).

Mandaguaçu-PR, 15 de Maio de 2019.



10.847.762/0009-39
ASSOCIAÇÃO DAS RELIGIOSAS
DA INSTRUÇÃO CRISTÃ
RUA NICOLA STEFANO, 449
CEP 87.190-000
MANDAGUAÇU - PARANÁ

Anexo B – Amostragem de Respostas dos Alunos

B.1 – Amostragem de respostas do Questionário 1 – antes do jogo e explicações -
Respostas dos alunos ID: B, F, M e P.

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

A produção de energia elétrica é feita quando ocorre uma reação que conduz as partículas eletrizadas e assim determinada energia é liberada.

2- Explique o que é corrente elétrica.

Corrente elétrica é quando existe muitas partículas que possuem carga elétrica e estas partículas podem estar dentro de um condutor.

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

Diferença de potencial é quando pegamos dois valores de voltagem e calculamos a diferença entre eles.

4- Explique o que é voltagem.

Voltagem é a quantidade de carga elétrica liberada utilizada para fazer determinada força à uma certa distância.

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

materiais condutores são aqueles que podem conduzir corrente elétrica e os isolantes são aqueles que não entram em contato com um condutor não permitem a passagem da energia.

6- Explique o que são resistores elétricos.

Resistores elétricos são materiais que suportam uma quantidade maior de energia não permitindo a ocorrência de curtos circuitos.

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

A energia é gerada por uma carga

2- Explique o que é corrente elétrica.

Quando colocamos uma carga em um campo elétrico, essa carga gera uma corrente elétrica

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

É a subtração de dois potenciais

4- Explique o que é voltagem.

A unidade de medida da energia

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

Materiais condutores são os que permitem a passagem de energia e os isolantes são os que não permitem

6- Explique o que são resistores elétricos.

Materiais resistentes a energia

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

A produção de energia elétrica pode ser feita de várias formas, uma delas é através de turbinas formadas, movendo por exemplo o movimento da água, que gira um turbinha, e por campos magnéticos se produz energia.

2- Explique o que é corrente elétrica.

Corrente elétrica é a corrente que podemos observar, por exemplo, em um fio, onde os elétrons caminham de um ponto A para um ponto B, e que chamamos a corrente elétrica.

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

A ddp é a diferença em que será sujeita uma deformação da carga Q , que vai de um ponto a outro, em que Q potencial tem um valor diferente, havendo uma diferença de potencial.

4- Explique o que é voltagem.

Voltagem é o nome designado a quantidade de elétrons de algo, por exemplo, a tomada tem 110V, logo, essa será a voltagem dela, dos elétrons necessitados.

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

Materiais condutores são aqueles em que os elétrons tem facilidade de "propagação"

Materiais isolantes é aqueles em que a uma dificuldade de "propagação" de elétrons

6- Explique o que são resistores elétricos.

Resistores elétricos é algo que oferece resistência a passagem dos elétrons, por exemplo, um um fio de 15V, pode-se colocar um resistor no meio dele, e que irá diminuir a voltagem por resistor

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

É feita pela interação de dois objetos

2- Explique o que é corrente elétrica.

Identificada pela nomenclatura "I", é a força que a energia elétrica possui

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

É a diferença de tensão maior e menor de uso de um sistema ou equipamentos.

4- Explique o que é voltagem.

É o tamanho, ou melhor, altura do curva senoidal, por exemplo, em uma tensão de 110V, sua senóide varia de -110V à +110V.

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

Condutores são os que transmitem energia. No caso da elétrica, o cobre é o melhor custo benefício. Isolantes são os que evitam a conservação de energia, por exemplo, o caso de proteção de um fio elétrico.

6- Explique o que são resistores elétricos.

São componentes responsáveis por reduzir a tensão elétrica para o uso desejado em determinado projeto. Como há resistência, produzirá calor.

B.2- Amostragem da resposta do jogo -Respostas dos alunos ID: B, F, M e P.

Organize os itens a seguir como condutores ou isolantes elétricos:

(Fio de Cobre, Batata, Cenoura, Salsicha, Couro, Isopor e Grafite)

CONDUTOR	ISOLANTE
Fio de Cobre	Isopor
Batata	Cenoura
Grafite	Couro
	Salsicha

Organize os itens a seguir como condutores ou isolantes elétricos:

(Fio de Cobre, Batata, Cenoura, Salsicha, Couro, Isopor e Grafite)

CONDUTOR	ISOLANTE
Fio de cobre	Cenoura
batata	salsicha
isopor	Couro
	grafite

Organize os itens a seguir como condutores ou isolantes elétricos:

(Fio de Cobre, Batata, Cenoura, Salsicha, Couro, Isopor e Grafite)

CONDUTOR	ISOLANTE
Fio de cobre	Cenoura
Batata	Salsicha
Grafite	Couro
	Isopor

Organize os itens a seguir como condutores ou isolantes elétricos:

(Fio de Cobre, Batata, Cenoura, Salsicha, Couro, Isopor e Grafite)

CONDUTOR	ISOLANTE
Fio de cobre	Couro
Batata	Isopor
Salsicha	
grafite	
cenoura	

Fonte: arquivos do autor, 2019.

B.3 – Amostragem de resposta do Questionário 1 – após o jogo- Respostas dos alunos ID: B, F, M e P.

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

através de materiais condutores, que possuem diferença de potencial elétrico.

2- Explique o que é corrente elétrica.

Corrente elétrica é o movimento / fluxo de elétrons dentro do fio, e o que faz funcionar os aparelhos.

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

é o que faz ter energia elétrica, diferença entre os dois pontos existentes.

4- Explique o que é voltagem.

é apenas uma unidade de medida.

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

materiais condutores são aqueles que conduzem corrente elétrica e isolantes são os que não conduzem.

6- Explique o que são resistores elétricos.

Resistores são usados para limitar a passagem de corrente elétrica para a voltagem correta.

QUESTIONÁRIO

Nº da chamada: 6

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

Tem usinas hidrelétricas, ou mais da energia potencial que é gerada na queda das águas

2- Explique o que é corrente elétrica.

movimento dos elétrons com um fio

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

Quanto mais alto o objeto, mais a energia potencial, que cria energia devido ao movimento dos e.

4- Explique o que é voltagem.

Unidade de medida

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

materiais que permitem ou não a passagem de corrente elétrica

6- Explique o que são resistores elétricos.

controlam a passagem de corrente elétrica

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

Existem várias formas, uma delas é a produção de energia eólica, onde o vento roda as pás da hélice e gira uma "este" que da umas mudanças de campo magnético no mecanismo e gera energia.

2- Explique o que é corrente elétrica.

É a passagem dos elétrons em um fio, e em um ciclo ou não, o que gera uma corrente elétrica.

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

A diferença de potencial elétrica é a diferença de um ponto de maior carga por um ponto de menor carga, onde no movimento de uma pl o outro, há uma d.p.

4- Explique o que é voltagem.

É simplesmente a unidade de medida da energia elétrica.

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

Materiais condutores são aqueles que tem mais elétrons livres e portanto tem maior facilidade de deslocamento. Isolantes são aqueles que não há elétrons livres e portanto, há uma dificuldade no deslocamento dos elétrons.

6- Explique o que são resistores elétricos.

É algo que gera resistência a passagem dos elétrons, gera calor e diminui a voltagem por resistir.

1- Explique como é feita a produção de energia elétrica.

É a diferença de campo magnético, no caso das usinas hidrelétricas.

2- Explique o que é corrente elétrica.

É a capacidade dos elétrons se deslocarem no circuito.

3- Explique o que é diferença de potencial elétrica.

É o que temos na tomada, no caso, 0V e 127V.

4- Explique o que é voltagem.

Uma unidade de medida.

5- Explique o que são materiais condutores e isolantes.

Condutores permitem a passagem de corrente, isolantes impedem.

6- Explique o que são resistores elétricos.

Resistores responsáveis por diminuir a corrente elétrica quando resistências, sendo assim, também produzem calor.

Fonte: arquivos do autor, 2019.

A.4 – Amostragem de resposta do Questionário 2 – após o jogo -Respostas dos alunos ID: B, F, M e P.

1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa?

a) sim

não

2- O que está relacionado a produção de energia elétrica?

energia baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.

b) energia baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor.

c) energia concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Como podemos explicar o que é corrente elétrica?

a) é a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.

b) é a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.

é um fluxo de elétrons que circula por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial elétrica.

4- O que são materiais condutores e isolantes?

a) materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.

condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.

c) somente os metais podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico nunca conduzem eletricidade.

5- O que são resistores elétricos?

a) são componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando assim isolantes.

b) são componentes mecânicos que quando ligados permitem a passagem de corrente elétrica.

são componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a corrente elétrica ou gerar calor.

1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa?

a) sim

b) não

2- O que está relacionado a produção de energia elétrica?

a) energia baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.

b) energia baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor.

c) energia concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Como podemos explicar o que é corrente elétrica?

a) é a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.

b) é a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.

c) é um fluxo de elétrons que circula por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial elétrica.

4- O que são materiais condutores e isolantes?

a) materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.

b) condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.

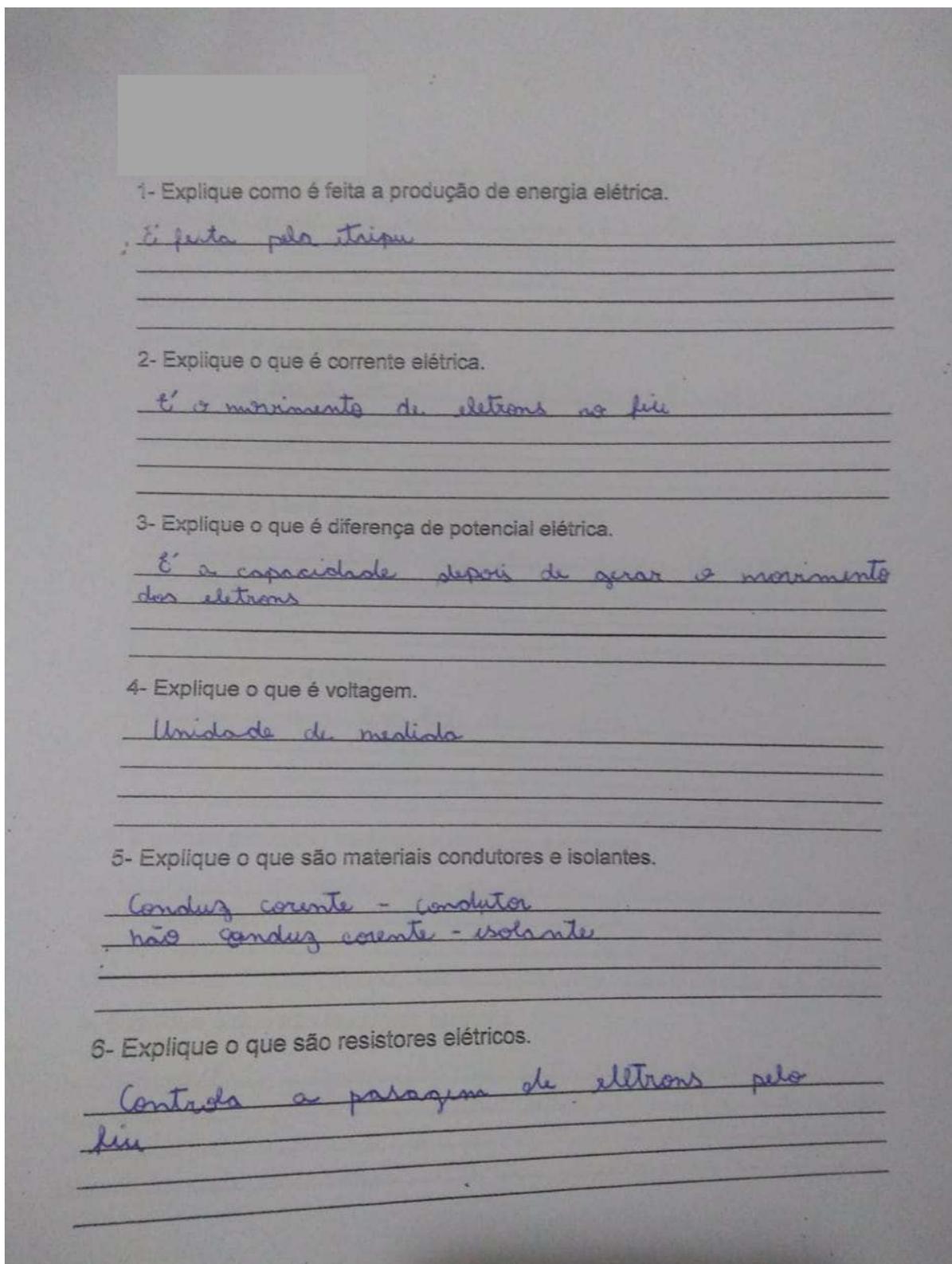
c) somente os metais podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico nunca conduzem eletricidade.

5- O que são resistores elétricos?

a) são componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando assim isolantes.

b) são componentes mecânicos que quando ligados permitem a passagem de corrente elétrica.

c) são componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a corrente elétrica ou gerar calor.



Fonte: arquivos do autor, 2019.

A.4 Amostragem de resposta do Questionário 2 - Alunos ID: B, G, N e Q.

ca são a mesma coisa?

a) sim

b) não

2- O que está relacionado a produção de energia elétrica?

a) energia baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.

b) energia baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor.

c) energia concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Como podemos explicar o que é corrente elétrica?

a) é a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.

b) é a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.

c) é um fluxo de elétrons que circula por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial elétrica.

4- O que são materiais condutores e isolantes?

a) materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.

b) condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.

c) somente os metais podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico nunca conduzem eletricidade.

5- O que são resistores elétricos?

a) são componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando assim isolantes.

b) são componentes mecânicos que quando ligados permitem a passagem de corrente elétrica.

c) são componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a corrente elétrica ou gerar calor.

1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa?

a) sim

b) não

2- O que está relacionado a produção de energia elétrica?

a) energia baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.

b) energia baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor.

c) energia concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Como podemos explicar o que é corrente elétrica?

a) é a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.

b) é a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.

c) é um fluxo de elétrons que circula por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial elétrica.

4- O que são materiais condutores e isolantes?

a) materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.

b) condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.

c) somente os metais podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico nunca conduzem eletricidade.

5- O que são resistores elétricos?

a) são componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando assim isolantes.

b) são componentes mecânicos que quando ligados permitem a passagem de corrente elétrica.

c) são componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a corrente elétrica ou gerar calor.

1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa? Elétricos:

- a) sim (Alumínio, Bateria, Cadeira, Estalido, Couro, Isopor e Grafite)
- b) não

2- O que está relacionado a produção de energia elétrica?

- a) energia baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.
- b) energia baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor. X
- c) energia concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Como podemos explicar o que é corrente elétrica?

- a) é a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.
- b) é a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.
- c) é um fluxo de elétrons que circula por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial elétrica.

4- O que são materiais condutores e isolantes?

- a) materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.
- b) condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.
- c) somente os metais podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico nunca conduzem eletricidade.

5- O que são resistores elétricos?

- a) são componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando assim isolantes.
- b) são componentes mecânicos que quando ligados permitem a passagem de corrente elétrica.
- c) são componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a corrente elétrica ou gerar calor.

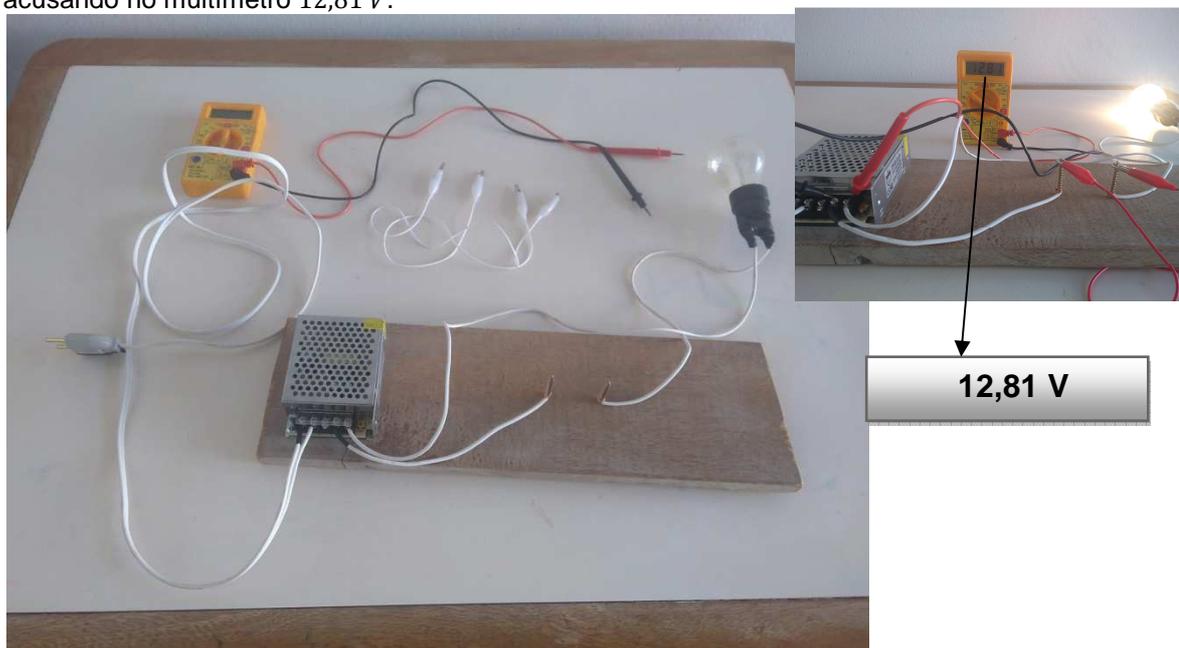
Fonte: arquivos do autor, 2019.

Apêndice A – Aparato Experimental “mini” - 12 Volts

Este apêndice foi dedicado à versão do aparato experimental usando uma fonte 12 V e 5 A. Contém um guia de montagem do mesmo, para ser utilizado individual ou coletivamente com os alunos, sem perigo de serem atingido por uma tensão de 121 V, mas isso não quer dizer que não necessitam da supervisão do professor.

Apresentam-se, para isso, a lista de materiais utilizados e, a construção do aparato experimental (Figura A.1) passo a passo. Posteriormente, apontam-se também alguns resultados preliminares e a conclusão a que se chegou em comparação com a versão original que usa diretamente a tensão da rede elétrica de 127 V.

Figura A.1 – Aparato Experimental confeccionado com uma fonte de 12 V. E no destaque testando, acusando no multímetro 12,81 V.



Fonte: arquivos do autor, 2021.

A.1 Guia de Montagem

Primeiramente, apresentam-se a lista de materiais utilizados e uma tabela com o investimento dos principais elementos adquiridos em agosto de 2021.

A.1.1 Materiais Utilizados

Segue a lista de materiais utilizados para construção do aparato experimental.

- 1 placa de madeira com dimensões em torno de (20 x 45 x 1) cm;
- 1 lâmpada incandescente de 12 volts e 40 W;
- 2 parafusos 5 cm;
- 1m de fio de cobre de 2,5 mm de espessura (usado em fiação de residência);
- 2 m de fio para se conectar o sistema à rede;
- 1 “plugue” (tomada macho) de 10 A;
- 1 soquete para a lâmpada;
- 7 Leds (1 para cada amostra);
- 4 fios com pontas tipo “jacaré”;
- Amostras com pelo menos 7 cm de comprimento: couro, isopor, grafite, batata, cenoura, salsicha, fio de cobre encapado e extremidades livres;
- 1 fonte de 12 V, 5 A;
- 1 alicate de corte;
- 1 chave de fenda equivalente aos parafusos de fixação da fonte;
- 1 multímetro;
- 1 martelo ou chave de fenda ou chave Philips.

A.1.2 Investimento dos Principais Materiais

Seguem uma tabela do investimento e a data de aquisição dos materiais principais elementos utilizados na versão “mini” do aparato experimental versão **12 Volts**.

Tabela A.1 – Tabela do investimento dos principais elementos para a construção do aparato com uma fonte de 12 V.

MATERIAIS	VALOR	AQUISIÇÃO
Fonte 12 V e 5 A	R\$ 50,00	03/08/2021
Lâmpada 12 V e 40 W	R\$ 10,00	03/08/2021
Soquete da lâmpada	R\$ 2,00	03/08/2021
Fios elétricos 2,5mm	R\$ 1,00 o metro	03/08/2021
Fios elétricos com jacarés	R\$ 2,50 unidade	03/08/2021

Fonte: o autor, 2021.

A.1.3 Montagem Experimental

Como já informado no Capítulo 2 deste trabalho, Figura 2.9, o aparato experimental trata-se de um circuito elétrico, uma ligação em série, para ser montado de forma que seja possível se entender, de maneira simples, o seu funcionamento.

A.1.3.1 - Passo a passo da montagem

1. Fixam-se os fios de cobre à entrada e saída da fonte. Na extremidade de entrada da fonte de tensão deve-se conectar uma tomada “macho” de 10 A. Conecte os fios elétricos de 2,5 mm de espessura em seus terminais de entrada 127 V e de saída 12 V.
2. Fixa-se a fonte na base de madeira.
3. Fixam-se os parafusos a 5 cm um do outro na base de madeira, com as pontas dos fios elétricos descascadas e enroladas aos parafusos.
4. Fixam-se os fios elétricos aos terminais do soquete da lâmpada.
5. Conecte-se e à tomada o plugue macho.

Passos 3 a 5 - o fio de saída 12 volts é ligado ao soquete da lâmpada; do outro terminal do soquete sai outro fio e é deixado uma ponta descascada presa a um parafuso metálico (substituirá um dos garfos). Fixam-se o soquete e o parafuso na base de madeira. A uns 5 cm, repete-se essa passagem, fixando-se outra ponta de saída do fio elétrico da fonte de tensão a mais um parafuso metálico (lado do outro garfo), na base de madeira.

Conforme ilustrado na Figura A.2, sobre uma base de madeira (1), prendem-se a fonte e os parafusos (2), formando-se um circuito simples, sem série, contendo uma entrada para tensão (tomada) (3) e uma lâmpada (4); fixam-se também os parafusos (5) próximos um do outro, a fim de se facilitar o contato com os materiais (exemplo 7 cm de salsicha com um *led* espetado no mesmo) fechando-se o circuito.

O multímetro será utilizado para se verificar quanto de tensão e corrente está atravessando cada elemento do circuito, principalmente pela amostra, bem como para se averiguar a resistência de cada material.

Figura A.2 – Foto do aparato experimental: (1) plugue a ser conectado na tomada externa; (2) fonte 12 volts; (3) local onde será colocada a amostra; (4) fio; (5) lâmpada no soquete; (6) base de fixação de madeira.



Fonte: arquivos do autor, 2021.

A.2 Resultados Preliminares e Análise

Utilizando-se amostras do tamanho normal ao usado no aparato experimental de 127 V, com este “mini” aparato, os resultados obtidos foram os ilustrados na Figura A.3 (a) do grafite, (b) do fio de cobre e (c) da salsicha. O que se observou: no caso do grafite, a intensidade luminosa da lâmpada foi bem menor em comparação a quando se utilizou a ddp de 127 V, e o multímetro acusou uma tensão de 7,92 V (Figura A3(a)). No caso do fio de cobre, a intensidade foi reprodutível, com 11 V, Figura A3 (b). Para a salsicha a lâmpada não acendeu, mas o multímetro acusou 12,61 V perto dos pontos de contato, onde está espetada nos parafusos, Figura A3(c). Quando se colocou um *led* na salsicha observou-se que o mesmo “acende”, Figura A3(d).

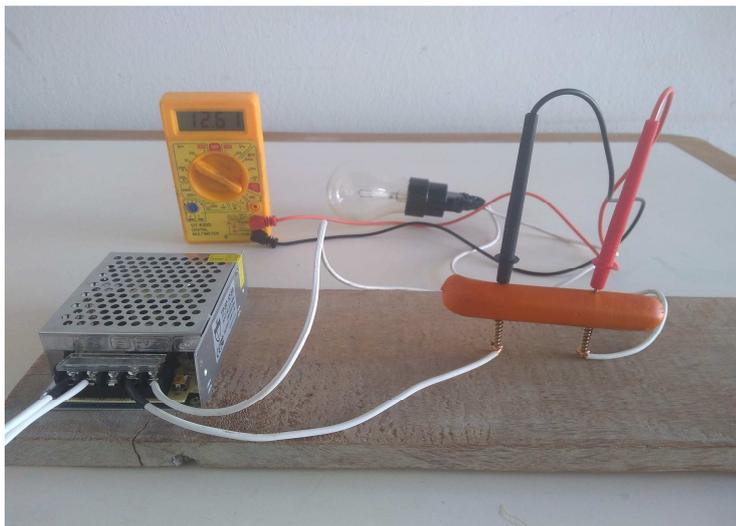
Figura A.3 – Imagens fotográficas com as amostras, (a) fio de cobre, (b) grafite, (c) salsicha, sem e com o *led*.



(a)



(b)



(c)

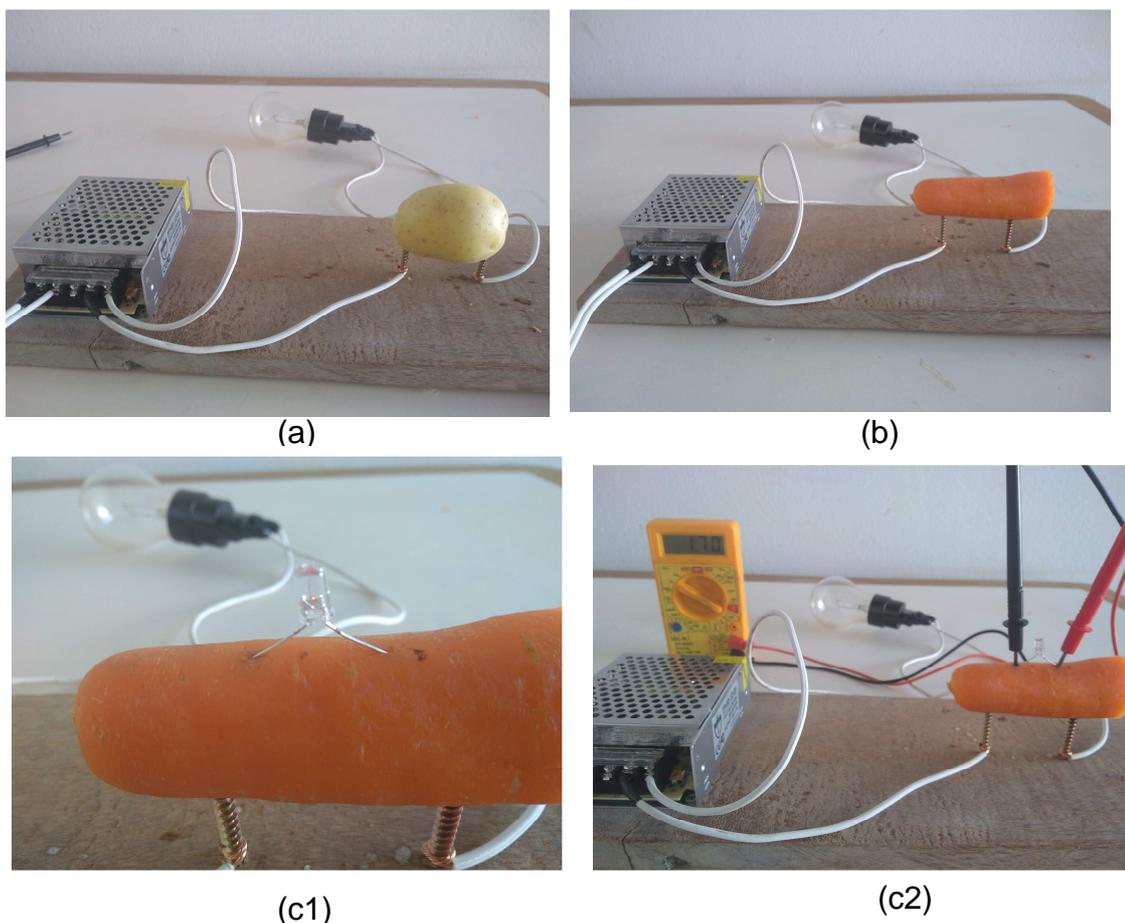


(d)

Fonte: arquivos do autor, 2021.

Posteriormente, passou-se a analisar os legumes, a batata e a cenoura, o resultado foi o apresentado na Figura A.4 (a) e (b), respectivamente. O que se observou foi que a batata, assim como no caso 127 V a lâmpada inicialmente, não acendeu, Figura A.4 (a), e, mesmo se espetando o *led* no caso de 12 V, não acendeu (não registrado em imagem). No caso da cenoura, observou-se que a lâmpada não acendeu (Figura A.4 (b)), mas, ao se espetar o *led*, percebe-se uma mínima iluminação (ampliando-se a imagem da Figura A.4 (c) é possível se observar), confirmado na Figura A.4 (d) em que se observa no multímetro uma tensão de 1,7 V, as ponteiros foram inseridas próximo aos pontos onde o *led* está fixado na cenoura.

Figura A.4 – Imagens fotográficas com as amostras, (a) batata, a lâmpada não acende, e nem em (b) com a cenoura; em (c1) a cenoura com *led*, pequena luminosidade e (c2) cenoura tensão de 1,7 V.



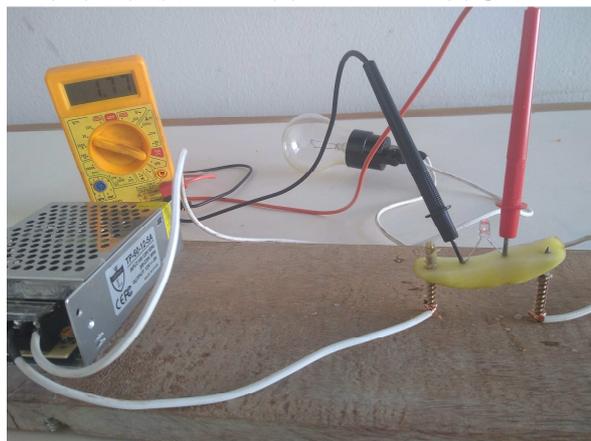
Fonte: arquivos do autor, 2021.

Posteriormente a essa análise, resolveu-se reduzir o tamanho das amostras. Na Figura A.5, está uma sequência de registros: diminuindo-se o tamanho da batata; (a1) a tensão registrada foi de 3,29 V, e, diminuindo-se ainda mais (a2), foi de 1,77 V, mas não é perceptível quanto à intensidade de luminosidade no *led*. No caso da cenoura, a tensão registrada foi de 3,19 V e a intensidade no *led* foi maior do que a da Figura A.3 (c), com uma tensão de 1,70 V. No caso de um pedaço menor de grafite, percebeu-se que a intensidade da luz na lâmpada aumentou e a tensão registrada foi de 5,20 V, comparada com o resultado da Figura A.3 (a), em que a intensidade foi baixa e a tensão foi de 7,42 V.

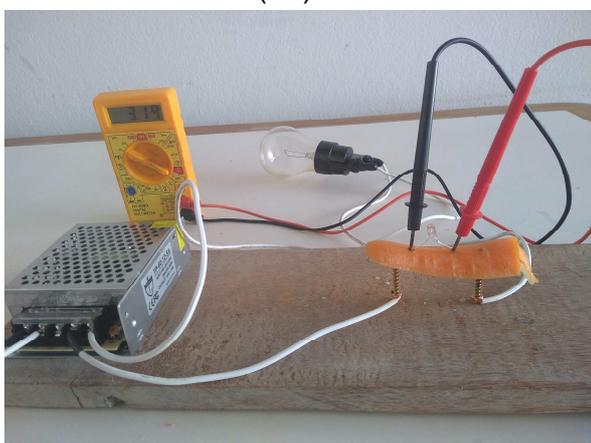
Figura A.5 – Imagens fotográficas com as amostras, (a1) e (a2) batata, (b) cenoura, e (c) grafite.



(a1)



(a2)



(b)



(c)

Fonte: arquivos do autor, 2021.

Resumindo-se, estes são os resultados comparando-se quanto ao uso das ddps de 127 V e 12 V.

Na tensão de 127 V:

- a lâmpada acendeu no caso da salsicha (50,8 V) e o *led* também (65,7 V), aqui a lâmpada continuou acesa;
- batata (sem medida de tensão) e cenoura (1,4 V), somente o *led* acendeu;
- com o fio de cobre (124,8 V) e com o grafite (109,8 V), a lâmpada acendeu.

Na tensão de 12 V:

- A lâmpada **não acendeu** no caso da salsicha (mas o multímetro acusou estar com uma ddp de $12,61\text{ V}$ na salsicha) e, espetando-se o *led*, o mesmo acendeu;
- Batata, a lâmpada e o *led* não acenderam, com a batata inteira. Quando utilizados pedaços menores de batata 7 cm de comprimento mas larguras menores, a lâmpada continuou apagada, mas o *led* acendeu quando a espessura foi menor; a ddp medida na largura dos pontos de fixação do *led* na batata foi menor ($1,77\text{ V}$) para o pedaço maior, comparado com o pedaço de espessura menor ($3,29\text{ V}$);
- No caso da cenoura, nem lâmpada nem *led* acenderam para uma parte da cenoura de diâmetro maior; ao se cortar a cenoura em uma fatia menor e comprimento de 7 cm , a tensão medida foi de ($3,19\text{ V}$), somente o *led* acendeu;
- Com o fio de cobre (11 V), a lâmpada acendeu com uma luminosidade intensa, e com o grafite ($7,92\text{ V}$), a lâmpada acendeu fracamente. Diminuindo-se o comprimento do grafite para 7 cm , a luminosidade na lâmpada aumentou e no multímetro acusou uma tensão de $5,20\text{ V}$.

A.3 – Conclusões Preliminares

Observa-se assim, que ainda há alguns estudos a serem feitos em relação aos tamanhos das amostras, e que a versão mini de 12 V , comparada à versão 127 V utilizada neste trabalho, proporcionou a obtenção dos mesmos resultados com as mesmas amostras em termos de verificação se conduz ou não conduz, porém apresentou uma grande diferença no comportamento da lâmpada 12 V e 40 W que apenas acende quando utilizada as amostras de grafite e fio de cobre. Com as outras amostras, a lâmpada não acende mesmo quando utilizada a salsicha como amostra.

Assim, a verificação da amostra, para se saber se conduz ou não conduz, ficou com a utilização do LED acoplado na própria amostra, se acende o LED, a amostra conduz. Verificou-se que, com o *led*, reproduz-se o resultado obtido “conduz” e “não conduz”. Observa-se que a largura da posição das hastes do *led*, foi mantida, em todas as amostras.

Verificou-se também, além da luminosidade da lâmpada, que não haverá a parte aromática da salsicha fritando.

Conclui-se assim, de forma preliminar, que o aparato experimental usando uma fonte de 12 V se mostrou, pois os alunos podem eles mesmos, fazer a montagem do aparato e depois o manusear, com ambas as ações com a supervisão docente; realizar o jogo conduz ou não conduz por meio do *led*; além de explorar o uso do multímetro, o circuito em série, a análise na salsicha sobre potencial, superfície equipotencial, ddp, resistividade (2^{a} lei de Ohm). No caso da salsicha, esta não permite se observar o efeito Joule no tempo gasto na execução.

Apêndice B—Produto Educacional

Neste apêndice, está apresentado o PE (Produto Educacional), de forma independente desta dissertação de mestrado, com o intuito de facilitar o seu uso bem como atender às normas do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física (SBF).



PRODUTO EDUCACIONAL - Material Didático-Pedagógico

ELETRODINÂMICA DE FORMA LÚDICA - QUIZ: CONDUZ OU NÃO CONDUZ?

RAFAEL SALVALAGIO MARTINS e HATSUMI MUKAI

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Maringá - PR
Julho, 2021

Apresentação

Prezado Professor, o presente Produto Educacional (PE) consiste em uma proposta didática a ser utilizada como ferramenta de apoio para o ensino do conteúdo de Eletrodinâmica.

O produto foi desenvolvido com o intuito de despertar nos alunos o interesse pela Física, a fim de fazê-los perceber que os conceitos abordados em sala de aula estão presentes em situações cotidianas. Além disso, como se trata de uma atividade experimental, a sua montagem e o procedimento experimental estão propostos de forma simples (circuito em série), já existente na literatura, em Doescher et al., (2009), mas explorada de forma diferente, sendo uma aplicação lúdica em forma de um jogo (*quiz*: conduz, ou não conduz?). As amostras escolhidas são as disponíveis em casa como legumes, frutas, polímeros, fio, palha de aço, lápis, entre outros, e espera-se que o próprio aluno explore as possibilidades do jogo proposto.

No Apêndice I (ainda não utilizado com os alunos), apresenta-se um texto para construção do aparato experimental adaptado pelos autores deste trabalho para o uso de uma fonte de 12 V. Essa sugestão ocorreu por questionamento de um dos membros da banca (Prof. Dr. Otávio Augusto Capeloto, UFAM, campus de Coari – AM), sobre o perigo de se usar uma fonte de 127 V em sala de aula como a que foi utilizada no presente trabalho. Acatou-se a sua sugestão, e, além de se construir o aparato (testado pelos autores), foram analisadas as condições em que se podem obter os mesmos resultados do aparato utilizado, e fez-se uma comparação dos resultados em termos de vantagens e desvantagens do uso entre ambos.

Nesta proposta (com qualquer um dos aparatos, verificado pelos autores), é possível se ensinar o aluno a usar um multímetro, medindo a resistência das amostras, e, com o auxílio do professor, medir a tensão em pontos do circuito, e se tiver mais de um multímetro medir a corrente. Caso sejam os alunos a manusear recomenda-se o uso da versão de 12 V.

Além disso, o aparato experimental mostrou-se muito rico na questão de seu uso além do jogo conduz ou não conduz, pois somente com a salsicha e dois leds

pôde-se explorar a salsicha como uma *proto-board*, trabalhando-se os conceitos de potencial, superfície equipotencial e ddp. Os alunos observaram que, se as hastes do led fossem posicionadas na direção paralela ao comprimento da salsicha, ele acendia, se perpendicular não. E mais, foi explorado o efeito Joule, conversão da energia elétrica em energia térmica, e, como consequência, aguçou-se o sentido olfativo dos alunos, com o aroma da salsicha fritando (efeito não obtido com a fonte de 12 V), por fim, ocorreu a aplicação da segunda Lei de Ohm, supondo-se a salsicha como um fio condutor e, calculando-se a sua resistividade.

Proporcionando se assim, a compreensão de outros experimentos envolvendo corrente elétrica bem como ainda poderão ser trabalhados o experimento de Oersted e outros experimentos simples como os de eletrização, que são colocados como organizadores prévios. A sua estrutura está baseada na Teoria de Aprendizagem Significativa, de David Ausubel.

O PE foi aplicado no ano de 2019, somente com a versão original que usa direto a rede elétrica, 127 V, em que participaram 21 alunos de uma instituição privada no município de Mandaguáçu – PR, e pretendia-se aplicá-lo novamente, pois, durante a aplicação, surgiram novas ideias. Por interesse dos alunos, o PE foi reestruturado para ser aplicado no início de 2020, mas, com o advento da pandemia e isolamento social em razão ao SARS-CoV-2 e do sistema de ensino ter ficado incerto e com muitas adaptações tanto por parte docente quanto discente, não foi possível se realizar nova aplicação.

Foram aqui incorporadas para enriquecer as aulas outras sugestões como o uso de simuladores disponíveis na internet e que podem ser utilizados em celular, além de sugestões de filmes e vídeos disponíveis no *youtube*[®] e curiosidades de aplicabilidade do conteúdo.

O conteúdo aqui apresentado e grande parte do texto também se encontram na referência Martins (2021). Este material estará disponível para *download* na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>) e pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada série, pelo docente interessado.

Maringá, julho de 2021.

Os autores

Introdução

A Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel, proposta na década de 60, é uma das teorias que se considera atual, pois levam em consideração os conhecimentos prévios (que denominou de subsunçores) que possuem, e os conhecimentos que serão adquiridos. Caso os conhecimentos prévios não sejam suficientes, orienta o uso dos denominados organizadores prévios (Moreira, 2006).

Sendo o conteúdo abordado na Eletrodinâmica parte do nosso cotidiano, mas muitas vezes abstrata, no sentido de se conectar o que está sendo abordado fisicamente em sala de aula com o que está no cotidiano, veio a ideia de se usar algo já existente na literatura, mas o explorar de forma diferente.

Percebeu-se que os alunos gostam de participar de *quiz* e que normalmente demonstram uma curiosidade saudável, assim, a proposta foi aplicar o jogo conduz ou não conduz?, para se explicar conteúdos relacionados com uma parte da Eletrostática para seguir com a Eletrodinâmica. A abordagem apresentada nas aulas, baseada principalmente nas referências Gaspar (2013), Halliday et al. (2009), Ramalho et al. (1977 e 1999), Sears et al. (2008) e Sadiku (2011), abrangeu os seguintes tópicos:

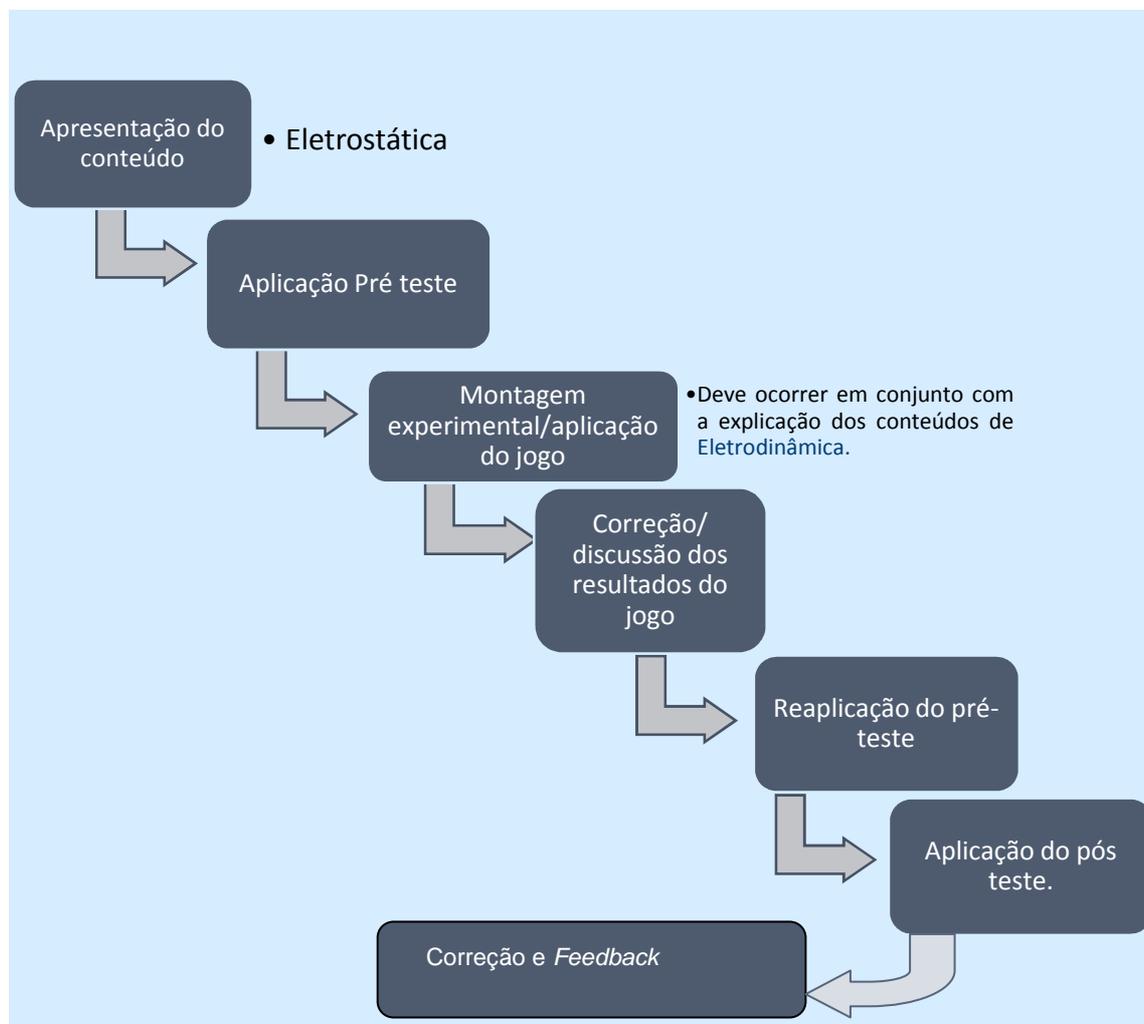
- cargas elétricas;
- força elétrica (Lei de Coulomb);
- campo elétrico;
- potencial elétrico e diferença de potencial;
- superfícies equipotenciais;
- corrente elétrica,
- condutores e isolantes;
- resistores;
- Lei de Ohm;
- circuitos elétricos.

Os conteúdos grifados podem ser abordados antes do jogo, e os demais após o jogo, contudo fica a critério do professor de acordo com suas necessidades essa distribuição.

Para a aplicação deste PE, foram propostas nove aulas, cada aula com 50 minutos cada.

Na Figura 1, é apresentada a ordem de aplicação das atividades.

Figura 1 – Ordem sugerida para aplicação do PE.



Fonte: o autor, 2021.

1. Metodologia

Este PE envolve os conceitos relacionados com a Eletrodinâmica a fim de se possibilitar, ao estudante, visualizar na prática e compreender melhor os fenômenos físicos, além do que, deve ser explanado nas aulas. Os alunos também devem contar com seus conhecimentos prévios (senso comum) para responder ao jogo e espera-se que, na sequência, a partir da experiência vivida, os estudantes se apropriem dos novos conceitos.

O jogo pode ser reproduzido e utilizado em qualquer ambiente escolar. As atividades estão propostas para ser desenvolvidas em dez horas aulas (cada uma com 50 minutos) com alunos do terceiro ano do ensino médio.

O aparato experimental a ser utilizado é o apresentado na Figura 1.1. No Apêndice I são apresentados uma proposta do mesmo circuito, porém adaptado para uma fonte de alimentação de 12 V, que foi denominado “Aparato Experimental “mini” – 12 V”, e as vantagens e desvantagens entre ambos os aparatos. Denominar-se-á ao longo do texto o da Figura 1.1 como “original”, sendo este o que foi utilizado com os alunos por um dos autores do trabalho.

Figura 1.1. Foto do aparato experimental: (1) plugue a ser conectado na tomada externa; (2) interruptor; (3) garfos; (4) local onde será colocada a amostra; (5) fio; (6) lâmpada no soquete; (7) base de fixação de madeira



Fonte: o autor, 2019, baseado na referência Doescher et al. (2009).

No Quadro 1.1, está apresentado o conteúdo a ser desenvolvido, discriminado por aula.

Antes da Aula 1, é interessante que os alunos já tenham conhecimento dos conceitos relacionados à carga elétrica (positiva e negativa e suas interações), processos de eletrização, Lei de Coulomb e corrente elétrica. Mas, caso não tenham esse conhecimento, podem utilizar os organizadores prévios; sugere-se o uso de simuladores como os disponíveis no *site* do *Physics Education Technology*, PhET: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html (processos de eletrização); https://phet.colorado.edu/sims/html/coulombs-law/latest/coulombs-law_pt_BR.html (Lei de Coulomb) e https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_pt_BR.html (Lei de Ohm).

Quadro 1.1- Distribuição do conteúdo por aula e aplicações do PE.

Atividade	nº de aulas	Tema abordado
Aula 1 - Aplicação do Pré-teste (Questionário Diagnóstico)	01	Conhecimentos prévios do aluno
Aulas expositivas - 2,3- sugestão: uso do simulador – PhET 1,2	02	Campo elétrico
Aula expositiva 4 – sugestão: simulador – PhET 3 e 4	01	Potencial elétrico, superfícies equipotenciais e diferença de potencial elétrico.
Aula expositiva 5 – sugestão: simulador – PhET 3 e 4	01	Condutores e isolantes, resistividade e condutividade.
Aulas 6 e 7 - Aula prática e jogo;	02	Circuitos elétricos explicação da montagem experimental e seu funcionamento uso do multímetro aplicação do jogo
Aulas expositivas - 8 e 9 – sugestão: simulador –1ao 4	02	Retomada dos conteúdos aulas (1 à 4). Discussão sobre o jogo,
Aula 10 - Aplicação do Pós-teste (Questionário Avaliativo)	01	Reaplicação do pré-teste (Questionário 1); aplicação do Questionário 2; <i>feedback</i> aos alunos.
Referências: Simulador PhET 1 - https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_pt_BR.html Simulador PhET 2 - https://phet.colorado.edu/sims/html/john-travoltage/latest/john-travoltage_pt_BR.html		

Simulador PhET 3 - https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html

Simulador PhET 4 -

https://phet.colorado.edu/sims/cheerj/conductivity/latest/conductivity.html?simulation=conductivity&locale=pt_BR

Outras sugestões de simulador são as disponíveis no *site* do “Física na escola” que pode ser utilizado em celular - disponível no site:

<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>

Fonte: o autor, 2020

Para o jogo, sugere-se o uso das seguintes amostras (Quadro 1.2), ou o que considerarem interessantes. Estas devem ter um comprimento em torno de **10,0 cm**.

1. As amostras (materiais de teste) devem ser apresentadas aos alunos;
Exemplos - banana, batata, cenoura, couro (pedaço de cinto), fio de cobre (ligação elétrica), isopor®, grafite (lápiz), mamão, palha de aço, salsicha;
2. Cada aluno preenche, à caneta, o Quadro 1.2. Após preencher, não pode mais alterar;
3. Iniciar o jogo, colocando uma amostra por vez de acordo com o procedimento experimental;
4. Durante o jogo, verificar se acertou ou não. Cada acerto vale 1 ponto;
5. Quem fizer mais pontos é o ganhador;
6. Prêmio: o que o docente considerar adequado para a turma;
7. Em caso de empate, colocar outra amostra, ou peça para explicar o que caracteriza um material ser condutor ou isolante.

Quadro 1.2 – Modelo de quadro para o preenchimento com o conhecimento prévio (subsunção) de qual material conduz e os que não conduzem corrente.

Conduz	não conduz

Fonte: o autor, 2020.

Etapa 1 – começar o jogo, colocar uma amostra e perguntar: **conduz ou não conduz?** Acionar o interruptor, verificar a resposta no Quadro 1.2, se correta, o aluno ganha um ponto;

Etapa 2 – não acendeu a lâmpada? Desligar tudo e conectar o *led* na amostra, ligar novamente e verificar sua resposta.

A abordagem do conteúdo sobre Eletrodinâmica está descrita no próximo capítulo em cada aula. Lembra-se que o professor é livre para adotar o livro texto utilizado em aula, para essa abordagem. A forma aqui exposta é somente uma sugestão.

2. Aplicação do PE - descrição das atividades

Neste capítulo, é apresentada a descrição das atividades a serem desenvolvidas em cada uma das aulas, conforme apresentado no Quadro 1.1.

2.1 – Aula 1 - Aplicação do Pré-teste (Questionário 1)

Inicialmente, verificar os conhecimentos prévios dos alunos (senso comum e aulas anteriores) por meio de um pré-teste (Questionário 1).

Orientação aos alunos: *“Caro(a) aluno(a), este questionário faz parte da avaliação continuada, trata-se de uma pré-análise a fim de diagnosticar seus conhecimentos prévios acerca dos conteúdos referentes à eletrodinâmica. Você deverá respondê-lo individualmente, ou seja, sem consulta ao material didático. Não é permitido o uso de calculadoras, celulares e afins. Procure organizar suas ideias e lembre-se de situações cotidianas que podem ajudá-lo na elaboração das respostas”.*

O pré-teste é composto de seis questões e foi denominado de Questionário 1. O que se espera são respostas semelhantes às contidas junto às questões.

Questionário 1 (Disponível para aplicação no Apêndice III.)

- 1- Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica. R.: transformação de energia mecânica ($E_m = E_p + E_c$) em energia elétrica. No caso de uma usina de barragem, a energia potencial gravitacional (E_p) da queda da água se transforma em energia cinética de translação (E_{cT}) que impulsionará as pás da turbina fazendo esta girar o eixo (energia cinética de rotação) acoplado a um gerador transformando em energia elétrica.
- 2 - Defina corrente elétrica. R.: movimento ordenado de cargas elétricas em determinado intervalo de tempo; ou fluxo ordenado de elétrons/portadores de carga.
- 3- Explique o que é diferença de potencial elétrico. R.: É a variação do potencial entre dois pontos em um circuito elétrico, ou o trabalho necessário para que uma carga se desloque entre dois pontos em um campo elétrico, ou $U = W_{AB}/q$.

- 4- Explique o que é tensão elétrica. R: é o mesmo que diferença de potencial elétrico (ddp).
- 5- Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes. R: condutores são materiais cuja condutividade é alta, ou seja, têm baixa ou nenhuma resistividade (possuem uma grande quantidade de elétrons livres que podem se mover com grande facilidade ao longo do material, quando submetidos a uma ddp); e isolantes, o oposto, materiais em que a condutividade é baixa ou nula e alta resistividade.
- 6- Explique o que são resistores. R: Dispositivos elétricos feitos de cerâmica, fios metálicos; sua função é causar resistência à passagem de corrente elétrica, ou para dissipação de energia - efeito Joule - energia elétrica em energia térmica.

O que se espera são respostas semelhantes às contidas junto às questões.

Após recolher o questionário, sugere-se realizar um breve debate sobre os temas abordados no mesmo, solicitando-se, aos alunos, que citem suas principais dúvidas e dificuldades a fim de estimulá-los a pesquisar e comparar as diferentes opiniões sobre o tema.

Sobre a Questão 1 - Na Física, a energia mecânica é constituída de energia cinética mais a energia potencial ($E_m = E_c + E_p$), e a energia cinética podem ser de translação e/ou rotação. Considerando-se a água no alto da barragem, observa-se que esta possui energia potencial (gravitacional, em razão da altura da barragem) bem maior do que a energia cinética da água em movimento. Essa energia potencial se transforma totalmente em cinética de translação, na parte mais baixa da barreira, aumentando a velocidade da água que, ao impactar com as pás da turbina, realizará um trabalho mecânico, e este está relacionado com a energia cinética de rotação do eixo que, por sua vez, está conectada ao gerador, que gera a energia elétrica. No Apêndice II, última sessão há um texto sobre as principais Usinas de energia elétrica.

SUGESTÃO - Para motivação do assunto, sugere-se que se assista ao vídeo “em casa”: **Viagem na Eletricidade Sem Cortes – tempo: 47:29**, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3AZcVRDGltk>

2.2 – Aulas 2 e 3 – Campo Elétrico²⁸

²⁸As referências principais aqui utilizadas foi Halliday et al. (2006) e Ramalho et al. (1977) e (1999).

Para a compreensão de campo elétrico, nesta aula sugere-se fazer uma breve revisão sobre os conceitos de carga elétrica, corrente elétrica e Lei de Coulomb, e por fim apresentar aos alunos o conceito de campo elétrico.

A carga elétrica é uma grandeza física que pertence ao grupo das partículas subatômicas, ou seja, está dentro do átomo, sendo considerada uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais das quais a matéria é feita. Os átomos são compostos por elétrons (carga elétrica negativa), prótons (carga elétrica positiva) e nêutrons (não têm carga elétrica). Como o número de prótons é igual ao número de elétrons, os átomos são eletricamente neutros.

Conforme o Sistema Internacional (SI), a unidade para carga é o Coulomb [C].

A carga elétrica elementar é dada por, $e = 1,6 \times 10^{-19} C$, no caso de um corpo eletrizado a sua carga (q) pode ser obtida por meio da equação, $q = ne$, sendo n o número de elétrons para fins de cálculo. Para uma análise do sinal, pode-se considerar n igual ao número de prótons menos o número de elétrons, de forma que, se o número de prótons for maior que o número de elétrons, a carga do corpo será positiva, caso contrário, será negativa.

A força de interação (\vec{F}) entre duas cargas eletricamente carregadas (q_1 e q_2), foi obtida experimentalmente, em 1785, pelo coronel francês Charles Augustin de Coulomb (Figura (1.1.(a)) utilizando uma balança de torção (Figura 1.1 (b)), e expressa como (SADIKU 2003)

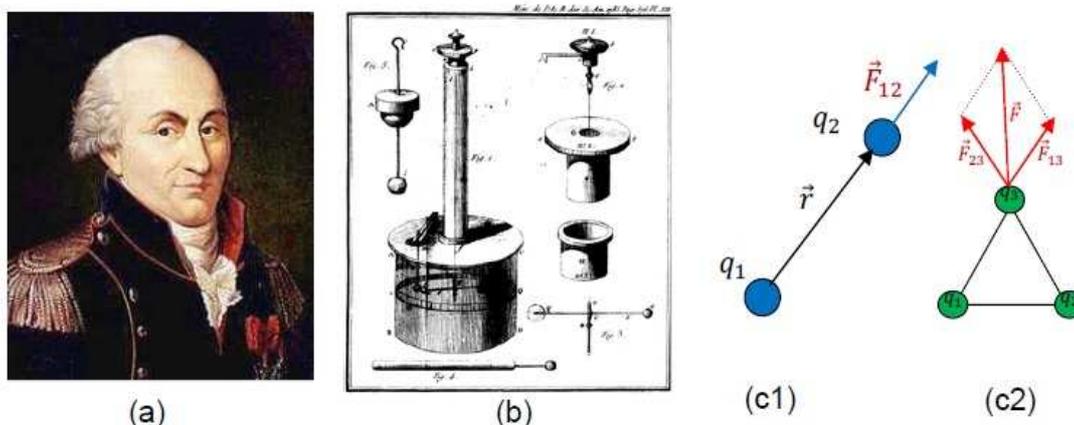
$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} . \quad (1.1)$$

A equação (1.1) é denominada de Lei de Coulomb, em que a força \vec{F} no sistema internacional (SI) unidade de Coulomb (C) e tem a mesma direção \vec{r} representada pelo versor \hat{r} , sendo r a distância entre as duas cargas (Figura (1.1(c1))). E, k é denominada constante eletrostática e equivale a²⁹, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \approx 9 \times 10^9 N m^2 / C^2$.

Caso haja mais cargas no sistema a análise a ser feita é considerar as cargas aos pares e calcular a força resultante entre elas (Figura 2.1(c2)).

²⁹ Sendo ϵ_0 a permissividade elétrica no vácuo dada por: $8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$.

Figura 2.1 – Imagem de: (a) August Coulomb e (b) balança de torção (gravura das Memórias da Academia de ciências, 1784). Em (c1) e (c2) representação do sentido da força na direção de \hat{r} , para duas cargas e para três cargas



Fonte: (a) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Charles_Augustin_de_Coulomb>; (b) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Balan%C3%A7a_de_tor%C3%A7%C3%A3o> . (c) o autor, 2020.

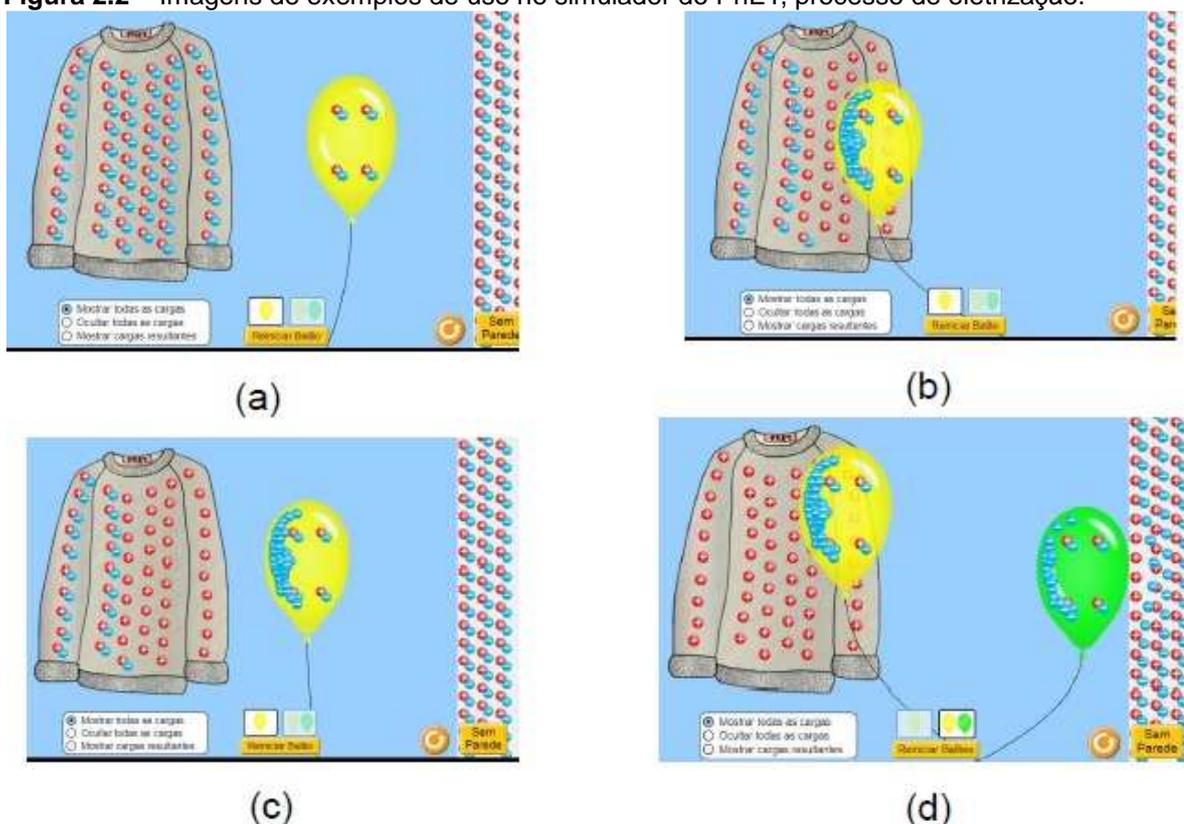
Empiricamente é possível ainda se constatar as seguintes relações entre as cargas:

- cargas elétricas de mesmo sinal se repelem; e
- cargas elétricas de sinais diferentes se atraem.

Isso significa que, quando se tem um elétron (carga negativa) próximo de outro elétron, surgirá entre eles uma força de repulsão, ocorrendo o mesmo com um próton próximo (carga positiva) de outro próton. No entanto, ao se colocar corpos com cargas diferentes (positivo e negativo) próximos, a força será de atração (HALLIDAY et al., 2009). Um processo de eletrização pode ocorrer por: atrito, por contato ou por indução.

Sugestão: utilizar o simulador do PhET/Colorado disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html>. Na Figura 2.2 (a), apresenta-se o estado inicial de um balão, de uma blusa de lã e de uma parede, todos neutros (cargas positivas (vermelhas) e negativas (azuis) em iguais quantidades). Atritando-se o balão na blusa de lã, eles ficarão com cargas opostas, Figura 2.2 (b), e o balão é atraído pela blusa. Aproximando-se o balão da parede, Figura 2.2 (c), observa-se que as cargas positivas são atraídas e as negativas, repelidas no ponto onde o balão fica grudado na parede por uma força de atração. Colocando-se um segundo balão (neutro) nada ocorre com ele (Figura 2.2 (d)).

Figura 2.2 – Imagens de exemplos de uso no simulador do PhET, processo de eletrização.



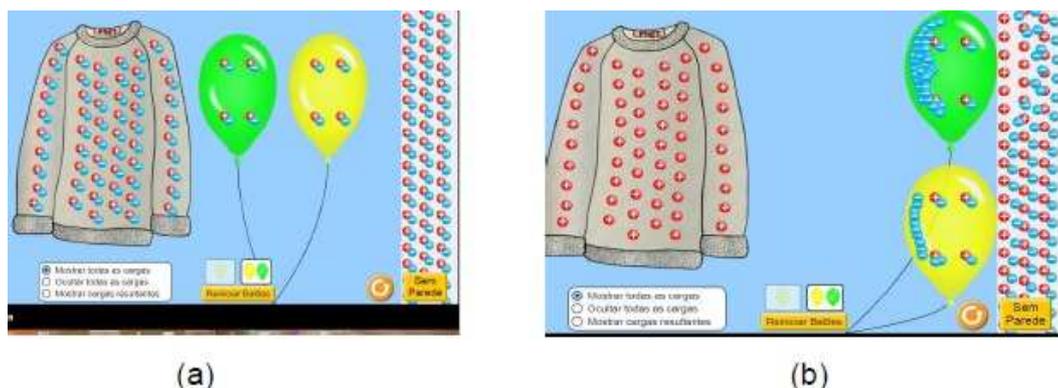
Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html

Pode-se também fazer o jogo do balão³⁰, que consiste em se empurrar uma latinha vazia de refrigerante com o balão, promovendo-se um cabo de guerra com balões (manual do mundo: <https://www.youtube.com/watch?v=Yndkm5VB4I0>) entre dois competidores. Com essa ideia e duas latinhas, pode-se fazer uma corrida de latinhas, a latinha que chegar primeiro à linha de chegada é a vencedora. Aliás, o vencedor será aquele que esfregar o balão no cabelo mais intensamente, carregando o com mais cargas negativas. Como em volta da latinha há uma distribuição de cargas tanto positivas quanto negativas, o balão que atrair mais cargas positivas para o lado que está o balão vence. Essa explicação pode ser vista considerando-se a parede como se fosse a latinha no simulador do PhET, colocando-se dois balões (Figura 2.3 (a)). Atritando-se um mais do que o outro na blusa como mostra a Figura 2.3 (b), observa-se que o balão amarelo tem menos cargas negativas do que o verde. Nota-se também que o balão verde tem mais

³⁰OBS: para nivelar a bancada, com o uso de um aplicativo para celular, sugere-se utilizar a ferramenta contida no Phyphox (<https://phyphox.org/>), em ferramentas, item inclinação.

força de atração do que o balão amarelo, pois aquele repulsa mais cargas negativas (azuis) do que este. Dessa forma, no jogo, quem estiver com o balão verde ganhará.

Figura 2.3 – Cópia de tela do simulador PhET – Balões e Eletricidade Estática: (a) estado natural, os quatro corpos eletricamente neutros; (b) após se atritar os balões na blusa, em que o verde foi mais atritado do que o amarelo. As cargas na parede mudam a sua configuração, sendo as cargas negativas próximas ao balão verde mais repelidas do que as próximas ao balão amarelo



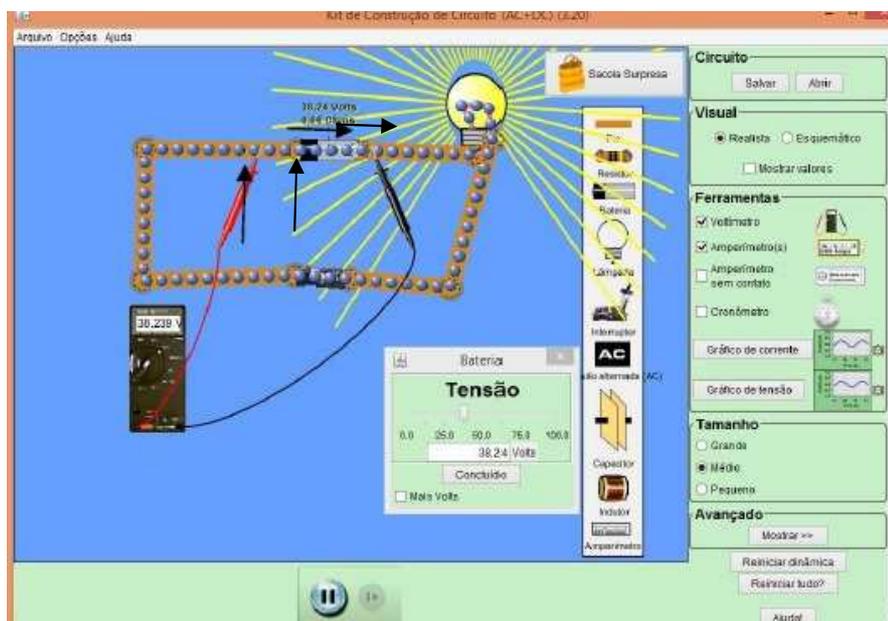
Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_pt_BR.html.

Outras sugestões: os apresentados no vídeo da UNIVESP: https://www.youtube.com/watch?v=MvV46hVy3_Y apresentado pelo Prof. Gil da Costa Marques e pelo Físico Cláudio Furukawa.

➤ Corrente Elétrica

Cargas em movimento ordenado, em determinado intervalo de tempo, em um material condutor e em um circuito fechado ligado a uma ddp, geram o que se chama de **corrente elétrica**, como pode ser visto no simulador do PhET (Figura 2.4). Disponível no site: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-ac.

Figura 2.4 – Exemplo de um circuito, montado no simulador do PhET, para mostrar as cargas em movimento ordenado “gerando” uma corrente elétrica, que se movimenta oposto ao movimento dos elétrons (por convenção)



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/circuit-construction-kit-ac

Mostra-se, assim, a importância da compreensão da questão 2 que trata do conceito de corrente elétrica.

No caso em que a força, eq. (2.1), escrita na forma: $F = qE$ (com $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$), é constante, gera ao seu redor um campo uniforme, e pode-se tratar o sistema de forma unidimensional, em que a força e o campo elétrico estão na mesma direção do deslocamento de magnitude (d), Figura 2.5 (a).

O trabalho para que a carga se mova de um ponto A até um ponto B nesse campo, quando o movimento estiver no mesmo sentido, $\theta = 0^\circ$ é dado por

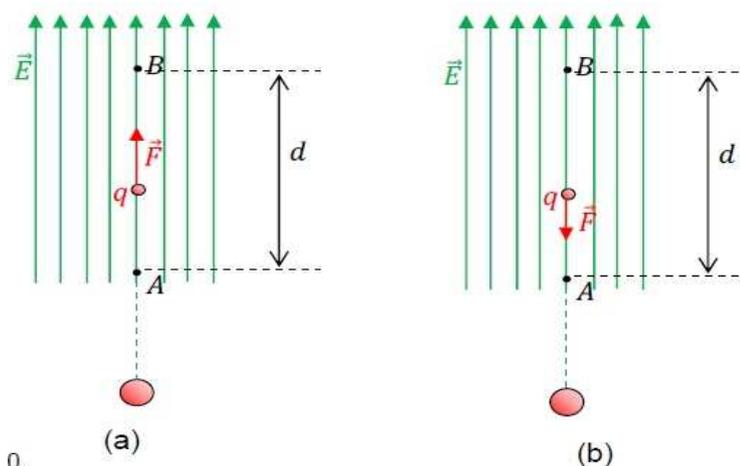
$$W_{A \rightarrow B} = F d \cos 0^\circ = qEd. \quad (2.2)$$

Se $\theta = 180^\circ$, o trabalho de $B \rightarrow A$ (Figura 2.5(b)) tem-se um sinal negativo = $-qEd$.

O trabalho positivo é denominado trabalho motor, e o negativo, trabalho resistente. Assim, se **o trabalho total da carga se mover do ponto A até o ponto B e retornar ao ponto A, é nulo**. $W_T = W_{AB} + W_{BA} = 0$, o que significa que o trabalho independe da trajetória, condição válida para campos conservativos. Depende da carga elétrica e das condições elétricas entre A e B.

A unidade no SI para o trabalho é Joule representado por J .

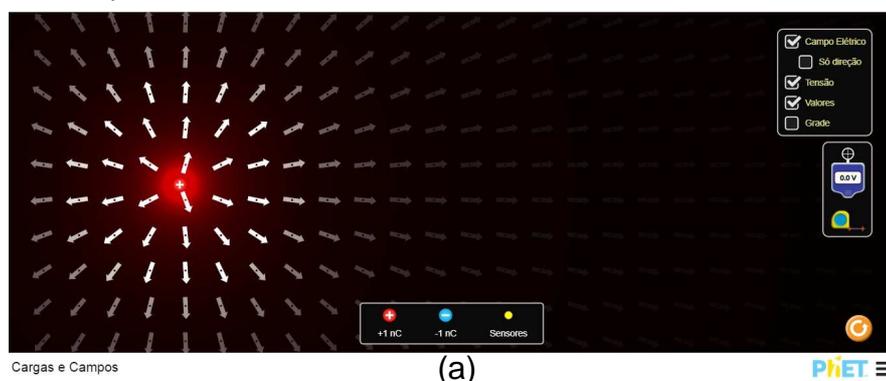
Figura 2.5 – Representação de (a) uma carga indo do ponto A ao ponto B e em (b) o inverso.

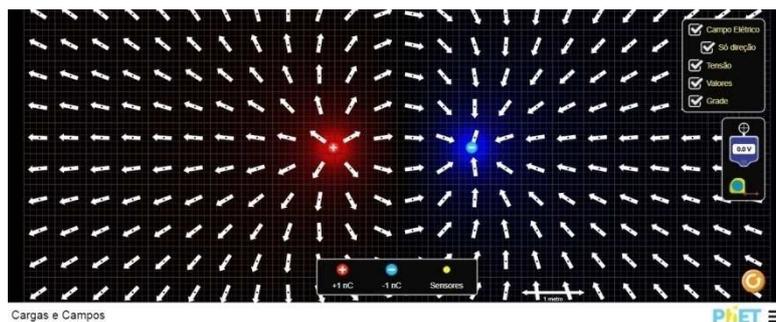


Fonte: o autor, 2020.

Sugestão - Demonstrar essa parte utilizando o simulador do PHET, disponível em <https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_pt_BR.html>. De forma que, para se mostrar o efeito da formação do campo elétrico, insere-se uma carga (Figura 2.6(a)) e vê-se o comportamento do campo, depois se acrescenta outra carga com sinal oposto (Figura 2.6 (b)). Para isso, basta se arrastar a carga na tela para o quadro em preto e clicar com o mouse na parte superior direita o que quer que mostre, se as linhas de campo elétrico, com a opção de mostrar “só direção”; tensão, valores e grade. Ainda é possível colocar um “voltímetro” para se “medir” e/ou conferir os valores em qualquer ponto da configuração formada e uma trena para se “medir” a distância do que se deseja saber na configuração formada.

Figura 2.6 -Cópia da tela do simulador Cargas e Campos do PhET – (a) para uma carga negativa e (b) duas cargas de sinais opostos





(b)

Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-andfields_pt_BR.html>.

Há a possibilidade de se colocar no sistema quantas cargas se desejar. E, caso se arraste o sensor (ponto em amarelo), podem-se obter os valores numéricos do ângulo e de intensidade do campo elétrico no ponto onde o posicionar.

2.2.3 - Aula 4 - Potencial Elétrico, Diferença de Potencial Elétrico

Dando continuidade ao conteúdo, devem-se apresentar, aos alunos, os conceitos de potencial elétrico e diferença de potencial e novamente se retomar a discussão acerca das Questões 3 e 4 do Questionário 1.

Da Eq. (2.2), a grandeza escalar dada pela razão entre o trabalho W_{AB} e a carga elétrica q é denominada de diferença de potencial (ddp) elétrico (U):

$$U = \frac{W_{AB}}{q}. \quad (2.3)$$

Também conhecida como tensão, sendo que $U = V_A - V_B$, em que V é o potencial elétrico em cada ponto. De forma geral, o potencial elétrico é escrito na forma

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}.$$

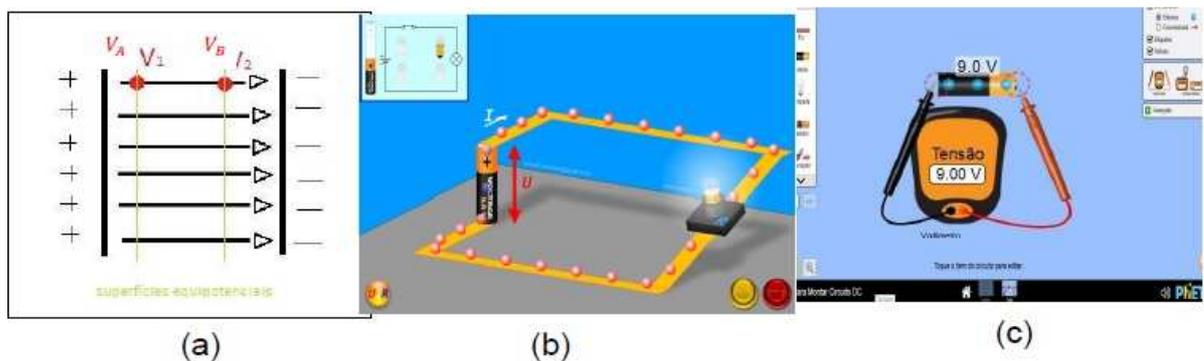
O potencial elétrico também é utilizado para se descrever campos elétricos na forma escalar. Para um conjunto de cargas, é possível se escrever

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \rightarrow V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i}.$$

Assim como o campo elétrico, o potencial pode ser calculado para linhas de cargas, superfície e volume, porém, neste estudo, restringir-se-á a uma ou mais cargas.

Na Figura 2.7 (a) está apresentado um desenho ilustrativo para se explicar o ponto de potencial em uma superfície equipotencial. No caso da bateria a ddp (U), está especificado na Figura 2.7 (b); na Figura 2.7 (c), uma ilustração de como se medir a tensão de uma bateria com um “voltímetro”.

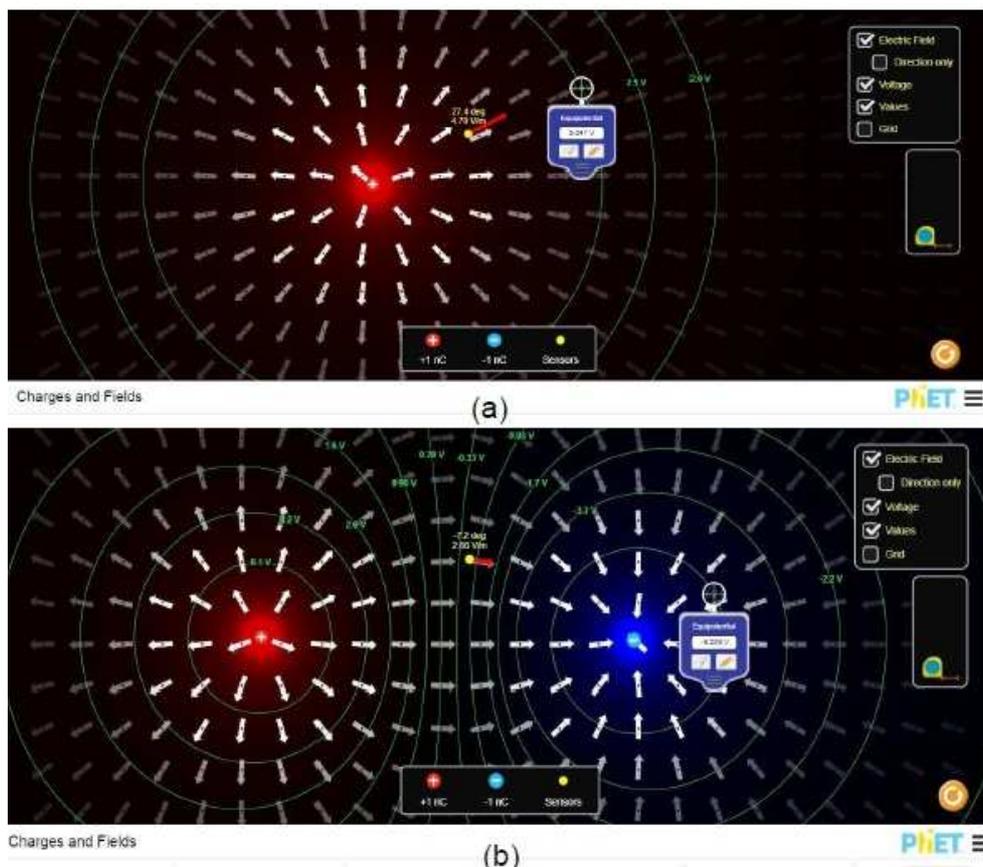
Figura 2.7 -Cópia de tela (a) uma superfície equipotencial e os pontos dos potenciais A e B; (b) da animação de um circuito elétrico, em que U é a ddp - Física na Escola (*Physics at School*), (c) indicando a medida da tensão (ddp) de uma bateria com o “voltímetro” por meio de um simulador



Fonte: (a) o autor, 2020; (b) <https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_uir&l=pt> (c) <https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html>.

Caso um aluno não se lembre de uma superfície equipotencial, vale se apresentar o simulador do PhET (Figura 2.8). De forma a se mostrar o efeito da formação do campo elétrico, insira uma carga (Figura 2.8(a)) e veja o comportamento do campo, depois acrescente outra carga com sinal oposto (Figura 2.8 (b)). Para isso, basta se arrastar a carga na tela para o quadro em preto e clicar com o mouse na parte superior direita o que quer que mostre, se as linhas de campo elétrico, com a opção de mostrar “só direção”; tensão, valores e grade. Ainda, isso permite se colocar um “voltímetro” para se “medir” e/ou conferir os valores em qualquer ponto da configuração formada, e uma trena para se “medir” a distância do que se deseja saber na configuração formada.

Figura 2.8– Cópia de tela do simulador PhET (cargas e campos), para apresentação de superfícies equipotenciais para (a) uma carga negativa e (b) duas cargas com sinais opostos



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/nmti/ccharges-and-fields/latest/ccharges-and-fields_pt_BR.html

As sugestões do uso de simuladores fortalecem a compreensão do conteúdo e ambos os simuladores são disponíveis para uso em celular e de forma gratuita. Nesse período de isolamento social devido ao SARS-CoV-2, é uma excelente sugestão.

No PE proposto por Baliscei (2016), está uma proposta do uso de simuladores, entre eles, o PhET-Colorado, em parte envolvendo conceitos de eletricidade, e, inclusive, do uso de um simulador da Copel (Companhia Paranaense de Energia) para se analisar o consumo de energia elétrica.

2.2.4 – Aula 5 – Condutores, Isolantes e Circuitos Elétricos

Esta aula inicia-se com a discussão da questão 5 do Questionário 1 ('Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes'); após os questionamentos

sobre o tema, o professor pode retomar o conceito de corrente elétrica e estabelecer a diferença entre materiais condutores e isolantes.

Na Tabela 2.1, apresenta-se a classificação de alguns materiais, condutor, semicondutor ou isolante (também conhecidos por dielétricos), de acordo com a sua resistividade (ρ) que depende da temperatura e do material. O autor não informa a temperatura, mas, por meio de uma rápida pesquisa, constata-se que os valores são referentes à temperatura de 20°C.

Tabela 2.1- Resistividade de alguns materiais.

Material	Resistividade (Ωcm)
Isolantes (Dielétricos)	
Al ₂ O ₃	$>10^{14}$
SiO ₂	$>10^{14}$
Si ₃ N ₄	$>10^{14}$
MgO	$>10^{14}$
Borracha vulcanizada	10^{14}
Nylon	10^{14}
Teflon	10^{16}
Semicondutores	
Ge	40
SiC	10
B ₄ C	0,5
Condutores	
Grafite ou Grafita	$3,5 \times 10^{-3}$
Prata	$1,5 \times 10^{-6}$
Au	$2,44 \times 10^{-6}$
Fe	13×10^{-6}
Cu	$1,72 \times 10^{-6}$
Al	$2,8 \times 10^{-6}$

Fonte: adaptado de Padilha (2000) e Rolim, p. 7 (2002).

Conforme a Tabela 2.1, é possível se distinguir condutores, semicondutores e isolantes em função do valor da resistividade. Portanto, quanto mais resistente for um material ao trânsito de cargas elétricas em certo intervalo de tempo, menor será a corrente que por ele transita.

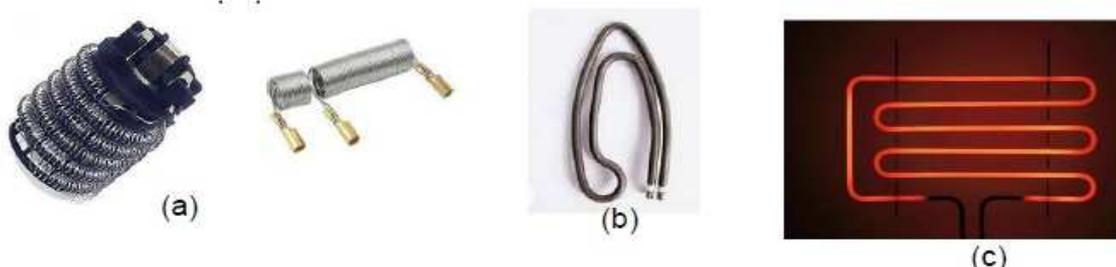
É interessante se verificar esse fato utilizando-se o simulador do PhET disponível neste link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/battery-resistor-circuit.

No interior de um fio condutor, os elétrons se movimentam oposto ao sentido do campo elétrico, e, por convenção, a corrente se movimentará no mesmo sentido

do campo elétrico, considerando-se uma fonte de tensão do polo positivo para o polo negativo.

Deve-se introduzir, neste ponto, o conceito de **efeito Joule**: em um material condutor, quando os elétrons livres se chocam com os átomos desse material, entram em vibração, aumentando a sua temperatura. Quanto maior a vibração, maior a temperatura, fato esse que aquece o material. Esse efeito é conhecido por efeito Joule (transformação de energia elétrica em energia térmica). O efeito Joule aparece no secador de cabelos, aquecedores, chuveiros elétricos (Figuras 2.9(a)), ferros elétricos de passar roupa (Figura 2.9(b)), grelha “ligada” (Figura 2.9(c)), entre outros (RAMALHO, et al., 1977).

Figura 2.9 – Imagens fotográficas de exemplos de elementos condutores que ao ser conectado em uma fonte de tensão transformam energia elétrica em energia térmica: (a) “resistências de chuveiro”, (b) ferro de passar roupa e em (c) uma grelha ligada a rede elétrica. As imagens não estão em tamanhos proporcionais



Fontes: (a) <https://www.submarino.com.br/busca/resistencia>
(b) <https://www.madeiramadeira.com.br/resistencia-ferro-passar-220v-a34-sun-special-2412433.html>
(c) <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-efeito-joule-suas-aplicacoes.htm>

Nesses equipamentos, o condutor é um elemento denominado de resistência (ilustrado nas Figuras 2.9) e leva esse nome por dificultar o deslocamento dos elétrons e, conseqüentemente, da corrente elétrica, o que provoca o aquecimento, ou seja, dissipa a energia elétrica em termos da térmica.

No Apêndice II, seção II.2, apresenta-se uma seção sobre outras aplicações de efeitos produzidos pela corrente elétrica que incluem choque elétrico, e cita-se a gaiola de Faraday, além da ruptura dielétrica.

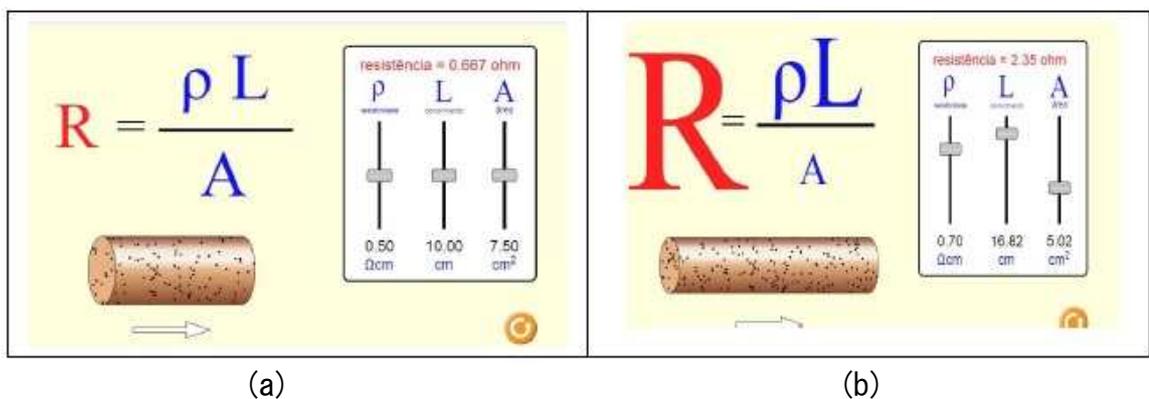
A resistência elétrica, de um fio longo e fino, pode ser calculada por meio da equação (RAMALHO, et al., 1977)

$$R = \rho \frac{L}{A}. \quad (2.4)$$

Com isso, vê-se que a resistência de um condutor depende da sua resistividade elétrica ρ (que depende do material e da temperatura – conforme Tabela 2.1), do comprimento do fio L (quanto maior o comprimento, maior a resistividade) e da área da seção transversal (quanto maior a área, menor a resistividade).

Sugestão: Faça essa variação utilizando o simulador do PhET: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/resistance-in-a-wire (Figura 2.10)

Figura 2.10—cópia da tela do simulador PhET – Resistividade. (a) página inicial, e (b) variando os parâmetros



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_pt_BR.html

Observa-se, na Figura 2.10 (b), que, aumentando-se o comprimento (L) do fio, um pouco a resistividade ($\rho = 0,70 \Omega cm$) e diminuindo-se a área da seção transversal ($A = 5,02 cm$), o valor da resistência aumenta ($R = 2,45 \Omega$). No simulador, podem-se visualizar a diminuição do movimento dos elétrons no fio e o aumento da letra R e L, diminuindo-se o tamanho da letra A.

O inverso da resistividade é a condutividade, denotada pela letra σ .

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{2.5}$$

Curiosidade: qual material é mais condutor: o ouro ou o cobre? Tem-se que a resistividade de cada uma a $20^\circ C$ é dada por $\rho_{Cu} = 1,72 \times 10^{-6} cm\Omega$, e $\rho_{Au} = 2,44 \times 10^{-6} cm\Omega$. Logo, a condutividade é dada por $\sigma_{Cu} = 0,58 \times 10^{+6} (cm\Omega)^{-1}$ e $\sigma_{Au} = 0,41 \times 10^{+6} (cm\Omega)^{-1}$. Portanto, o cobre é mais (~71%) condutor que o ouro. A prata (Ag) é o material com maior condutividade, em torno de 108%. O ouro, quando usado, é em

razão de sua baixa oxidação em relação aos demais elementos. Muitos pensam que o ouro é mais condutor que o cobre e que normalmente não se usa em razão do valor comercial. A sua vantagem é não oxidar.

A potência máxima que um resistor pode dissipar (dissipação nominal) pode ser obtida por meio da equação

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (2.6)$$

Sugestão de questão: atualmente se usa o fio de alumínio em substituição ao do cobre na rede elétrica por qual motivo?³¹ (R. Por motivos de furtos em razão do valor comercial do fio de cobre (Cu), que é bem maior (cerca de 8 vezes) do que o do alumínio (Al); e pelo fato do fio de Al ser muito menos massivo e mais maleável do que o do cobre). Em que ambiente ele é recomendado? (R. Normalmente o de Al em ambientes externos e o de Cu em ambientes internos e pequenos dispositivos eletrônicos) e por qual motivo? (R. O fio de Cu oxida e sofre corrosão em ambientes externos, outro motivo é o fato de o fio de Al ter uma resistência maior que a do Cu e dissipar mais calor, além disso, o Al é de difícil emendo, necessitando-se de técnica especial de solda). Calcule a sua condutividade elétrica e compare com a do cobre. (R. Utilizando os dados da Tabela 2.1 e as equações (2.4) e (2.5): $\rho_{Al} = 2,44 \times 10^{-6} \text{ cm}\Omega$; $\sigma_{Al} = \frac{1}{\rho_{Al}} = 4,1 \times 10^5 (\Omega \text{ cm})^{-1}$ e para o cobre $\sigma_{Cu} = 5,8 \times 10^7 (\text{cm}\Omega)^{-1}$, logo, o cobre é 71% mais condutor que o alumínio).

A seguir, apresenta-se o funcionamento de uma lâmpada incandescente, um dos elementos do aparato experimental do Produto Educacional.

➤ Lâmpada Incandescente

A lâmpada incandescente foi inventada, de forma comercial, por Thomas Edison, em torno do ano de 1878. Ela constituída de um bulbo de vidro com gás de argônio ou criptônio, possui no seu interior um filamento que é um fio de tungstênio

³¹ Fonte: <https://www.decorlux.com.br/qual-o-melhor-condutor-cobre-ou-aluminio/>

em torno de 1 m de comprimento enrolado em espiral com um diâmetro menor que 0,1 mm conectado à sua base por fios condutores. Essa base é fixada no soquete do circuito elétrico (Figura 2.11 (a)).

Quando a corrente elétrica passa pelo filamento, este aquece (efeito Joule) em uma temperatura de 3000°C, de forma que o filamento emite luz por se tornar incandescente (RAMALHO, 1977).

O brilho da lâmpada está relacionado à ddp em que é ligada, informações estas gravadas na lâmpada e na sua caixa bem como o valor da potência nominal. Se ligada em uma ddp menor, a intensidade da luz é menor; se ligada a uma ddp maior, o filamento se rompe e se diz que a lâmpada “queimou”.

Uma imagem ilustrativa da evolução das lâmpadas está apresentada na Figura 2.11 (b): 1879 – incandescente; 1938 – fluorescente; 1958 – halógena; 1989 – led; “Hoje” – led filamento. (GLIGHT, 2020)

Figura 2.11 – (a) Imagem fotográfica de uma lâmpada incandescente; (b) desenho esquemático da evolução das lâmpadas desde a época de Thomas Edison



Fonte: (a) <https://www.abilumi.org.br/fim-da-linha-para-as-lampadas-incandescentes/>; (b) <https://www.glight.com.br/blog/voce-conhece-historia-da-lampada-eletrica/>

As lâmpadas incandescentes tiveram sua produção encerrada, pois estão proibidas no Brasil, desde 2012, as de potência nominal 100 e 150 W. E, a partir de 30/06/2016, foram proibidas a produção e a comercialização de lâmpadas incandescentes, que usam tensão de rede elétrica, pois elas têm um consumo de energia bem maior do que as outras lâmpadas, 75%, em relação às lâmpadas fluorescentes (funcionam por ionização do gás no seu interior), e 85% em relação

às de *led* (*diodo emissor de luz - são semicondutores*), comparação feita com lâmpadas de mesma luminosidade (Pensamento verde, 2016).

Observou-se que, utilizando-se uma lâmpada de *led* ou fluorescente, o processo de aquecimento não ocorre na amostra condutora do circuito (que é a forma lúdica do experimento), ou, se ocorre, é muito lento e não é perceptível. Acredita-se que o motivo é justamente por essas lâmpadas terem baixo ou nenhum efeito Joule. Por isso, como o autor possuía uma lâmpada incandescente e esta não seria utilizada por um longo tempo, o experimento foi feito com ela.

Posteriormente à aplicação do PE, fez-se um teste com uma lâmpada halógena de 70 W e os resultados foram semelhantes aos obtidos com a lâmpada incandescente. Além disso, foram feitos os testes utilizando-se a lâmpada de *led*, e observou-se que o *led* colocado sobre a salsicha apresenta uma intensidade bem menor do que quando se utilizou a incandescente. Os resultados dos testes estão apresentados no Apêndice II – seção II.1.

Na sequência, apresenta-se um texto sobre circuitos elétricos, que é a base do aparato experimental.

➤ Circuitos Elétricos

Uma ligação contendo pelo menos um dos elementos elétricos como resistores, capacitores, indutores, diodos, entre outros, ligados por um fio condutor a uma fonte de energia elétrica tais como bateria, geradores ou fonte de alimentação, formando um circuito fechado por onde uma corrente elétrica possa passar, é denominada de um circuito elétrico (RAMALHO, 1977).

Esses estão presentes no dia a dia, para o funcionamento da maioria dos equipamentos que se usam.

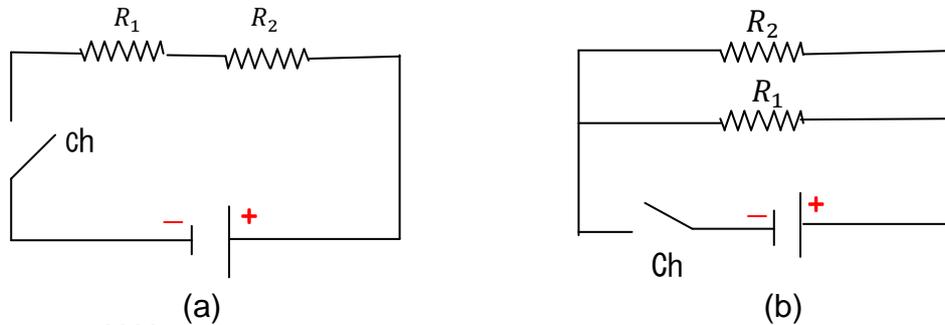
O circuito elétrico pode ser uma ligação em série ou em paralelo de seus componentes elétricos, dependendo de sua necessidade.

Uma **ligação em série** ocorre quando todos os componentes, considerando-se dois resistores³², são ligados de forma contínua à fonte de energia (Figura 2.12

³²Os resistores são dispositivos elétricos, que possuem a propriedade de controlar a passagem de corrente elétrica em um circuito. Existem vários modelos de resistores, dependendo para que fim será utilizado. O mais comum que se utiliza é o de cerâmica com código de cor. Link para calcular o valor do resistor: <<https://br.mouser.com/technical-resources/conversion-calculators/resistor-color-code-calculator>>

(a)), e, em paralelo, quando se ligam os componentes paralelamente à fonte de energia (Figura 2.12 (b)).

Figura 2.12 – Imagens ilustrativas de circuitos em (a) série, e em (b) paralelo, e uma chave (liga desliga) Ch, com dois resistores (R_1 e R_2)



Fonte: o autor, 2020.

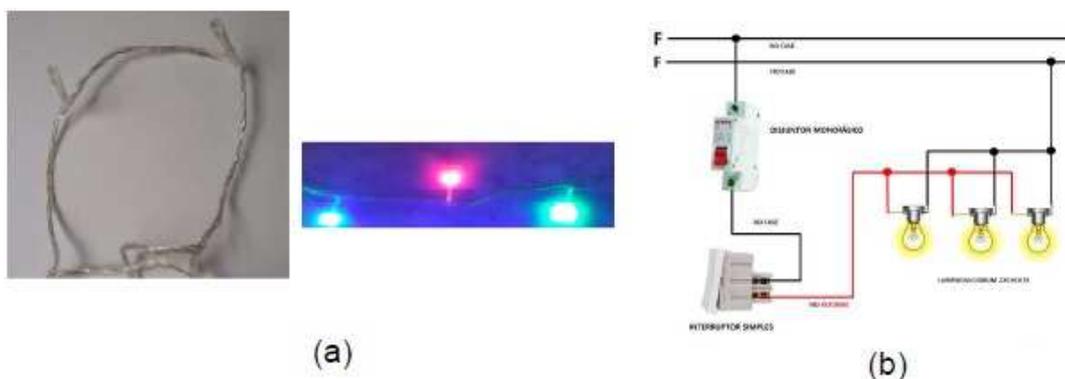
Quando se fecha a chave, convencionou-se que a corrente percorre o circuito do positivo para o negativo, oposto ao movimento dos elétrons. As equações para se determinar uma resistência equivalente para circuitos em que estejam em série e paralelo são, respectivamente,

$$R_{eqSérie} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots; \quad (2.7 (a))$$

$$\frac{1}{R_{eqParalelo}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots. \quad (2.7(b))$$

As ligações em série ou paralelo não são exclusivas de resistores, mas de qualquer elemento que seja necessário para se compor um circuito elétrico como, por exemplo, lâmpadas. Lâmpadas/*Leds* ligadas em série, como pisca-pisca de enfeite de Natal (Figura 2.13 (a)): quando uma rompe, as demais após esta não acendem pois não passa corrente. Nas ligações residenciais, os fios são conectados de forma que fiquem em paralelo para se evitar esse problema (Figura 2.13 (b)).

Figura 2.13 – (a) Imagem da ligação em série das lâmpadas de enfeite de Natal apagadas e os três leds acesos com o fio esticado. (b) Indicando a ligação em paralelo no circuito de residências



Fontes: (a)cedido por, H. Mukai, 2021.(b)<<https://ensinandoelettrica.blogspot.com/2016/05/eletrica-residencial-interruptores.html>>

A relação entre resistores, tensão e corrente se deve a Georg Simon Ohm, quem formulou, em 1827, a lei expressa matematicamente por

$$U = Ri, \quad (2.8)$$

em que U é a diferença de potencial dada em Volts (V); R é a resistência dada em Ohm (Ω); e i a corrente elétrica dada em Ampère (A). De forma que a equação (2.6) é denominada de **Lei de Ohm**, ou primeira lei de Ohm.

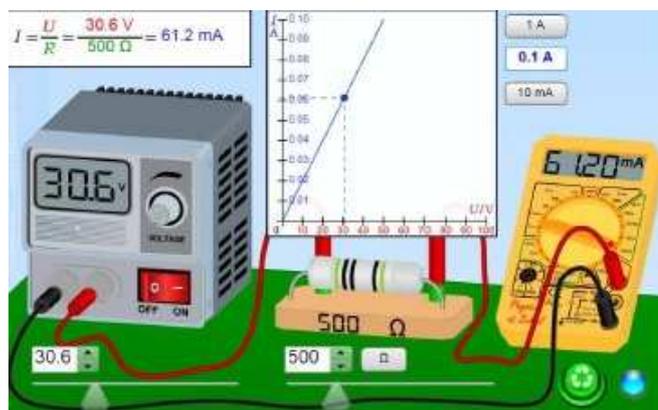
A diferença de potencial é também conhecida como tensão; em termos leigos, usa-se o termo ‘voltagem’. A tensão/ddp/voltagem pode ser medida por meio de um “voltímetro” contido em um multímetro na escala em Volts, conforme será apresentado na Figura 2.15.

Sugestão – Explorar a Lei de Ohm por meio do simulador do “Física na Escola”, proposto por Vladimir Vascak Figura 2.14, disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_ohm&l=pt.

Para isso, varie as quantidades $V = U$ e R e veja o valor da corrente no circuito no multímetro, ligado em série.

Observe que o mesmo valor também é obtido pela Lei de Ohm no canto superior esquerdo. Veja o comportamento no gráfico de $i \times U$. no caso, o comportamento linear indicando um resistor ôhmico. Caso fosse não linear, seria um resistor não ôhmico, não obedeceria à Lei de Ohm. Exemplo de um resistor não ôhmico é o *led*, as lâmpadas, entre outros.

Figura 2.14 - Cópia da tela do simulador Física na escola sobre a Lei de Ohm, no caso $V=U$ usado no presente trabalho



Fonte: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_ohm&l=pt

A diferença de potencial em uma associação em série de resistores é a soma de cada ddp que passa por cada resistor, pois a corrente é a mesma; já no caso de uma associação em paralelo, a corrente se divide pela quantidade de associações em paralelo que haja no circuito, e a ddp é única para qualquer produto Ri , a fornecida ao circuito. No exemplo da Figura 2.12 (a), para o circuito em série contendo dois resistores, tem-se que

$$U = U_1 + U_2. \quad (2.9(a))$$

Sendo U a ddp do resistor equivalente $U = R_{eqSérie} i$ e $R_{eqSérie}$ dada pela equação (2.9(a)), enquanto que, para o caso da associação em paralelo, Figura 2.7 (b):

$$U = R_{eqparalelo} i. \quad (2.9 (b))$$

Em que $i = i_1 + i_2$ e $R_{eqparalelo}$ dado pela equação (2.9 (b)).

Uma associação em um circuito elétrico pode também ser representada por uma associação mista, contendo elementos em série e em paralelo. No caso, acha-se primeiramente a resistência equivalente em série e, depois, em paralelo.

O valor da resistência depende apenas do material, da geometria e da resistividade do condutor e em geral independe da corrente elétrica (PADILHA, 2000), como visto na Eq. (2.4), conhecida como segunda Lei de Ohm.

No caso do circuito elétrico das Figuras 2.14, o elemento que fornece resistência à passagem de corrente elétrica é um dispositivo eletrônico denominado de **resistor**. O mais comum no meio acadêmico é o resistor de valor fixo com barra de cores, exatamente como o indicado na figura, assim também como os que aparecem no simulador, Figura 2.15.

Essas cores possuem valores tabelados que fornecem o seu valor nominal, de forma que o tamanho do resistor não significa mais ou menos resistência, mas continua dependendo do material de que é feito.

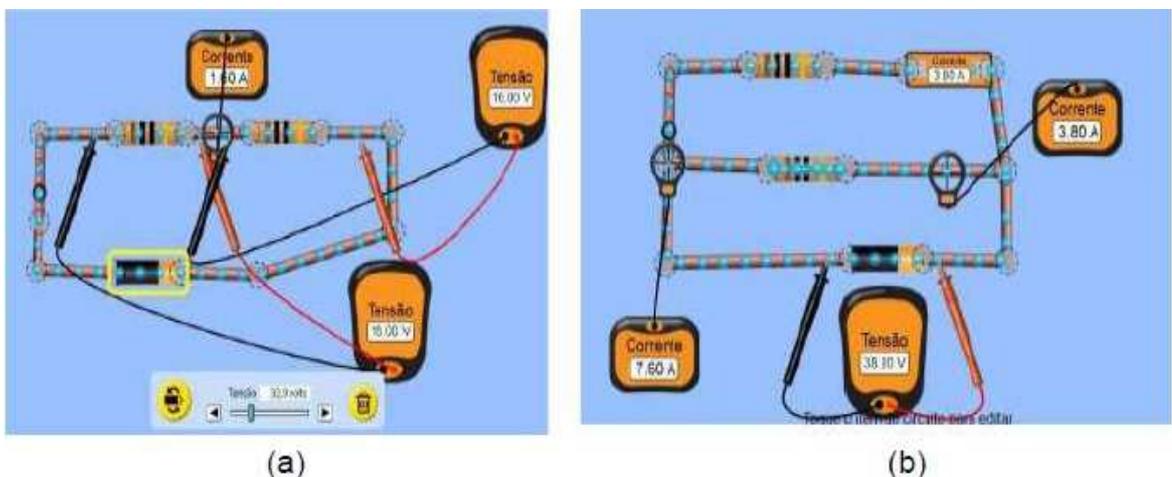
Pode-se fazer sua leitura *online* em sites da *internet* que facilitam essa atividade, como, por exemplo: <<https://br.mouser.com/technical-resources/conversion-calculators/resistor-color-code-calculator>>.

No site <https://www.raisa.com.br/resistores-tipos-usos-detalhes>, há detalhes sobre os tipos de resistores, os mais utilizados e onde são utilizados.

Sugestão - Monte os circuitos em série, paralelo, análogos ao da Figura 2.12, no simulador do PhET, e peça para os alunos trabalharem com as configurações para compreenderem a distribuição da tensão e corrente pelo circuito, como realizar a medida com um multímetro e entender as equações 2.9(a) e (b).

Na Figura 2.15 (a), para uma tensão de 32,0 Volts, ao se colocar os “voltímetros”, um para cada resistor, observa-se que a tensão total é a soma da tensão conforme a equação (2.9 (a)). A Figura 2.15 (b) mostra a situação da equação 2.9(b), em que a corrente se divide, mas a tensão permanece a mesma.

Figura 2.15 – Cópia da tela da simulação feita no PhET: a) resistor em série, (b) resistor em paralelo. Referente às Equações (2.9)

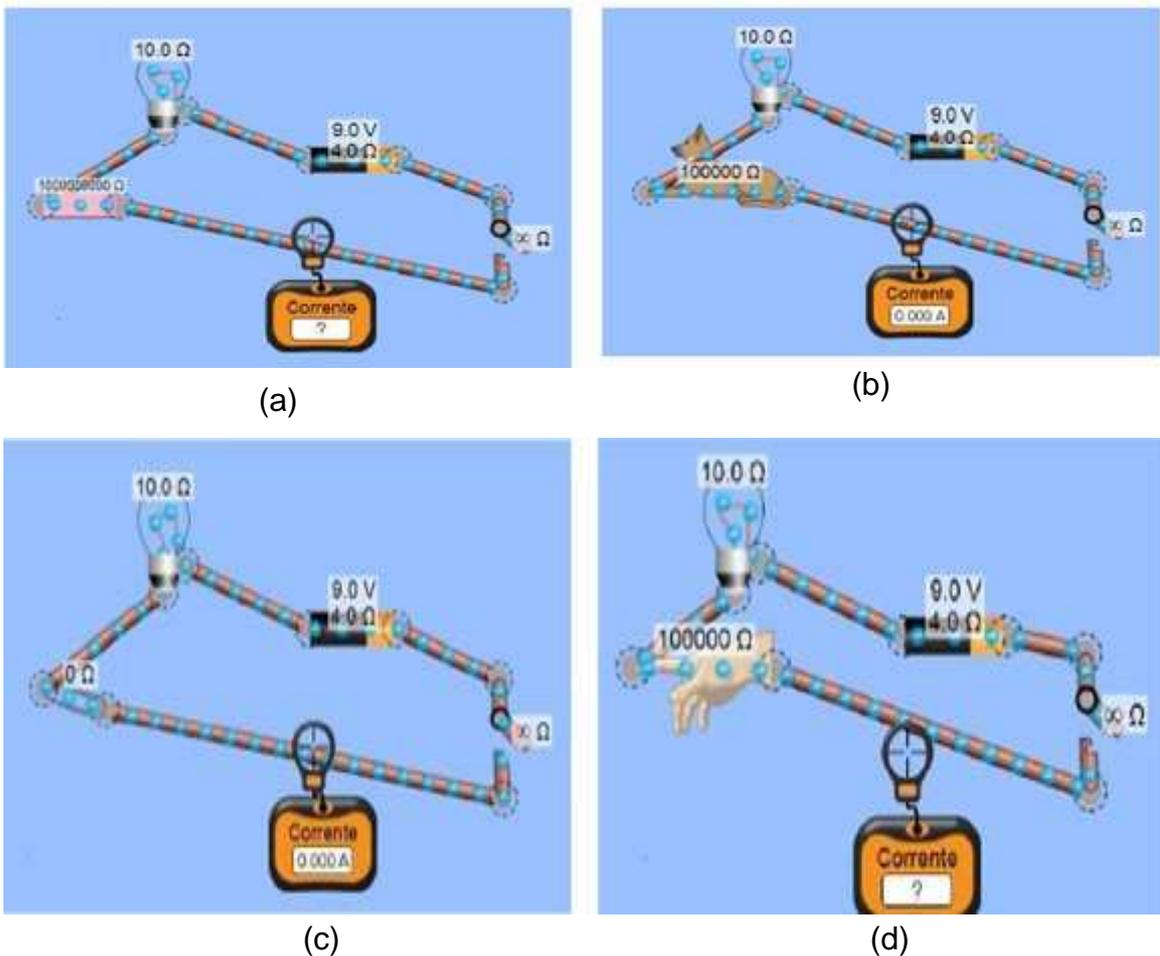


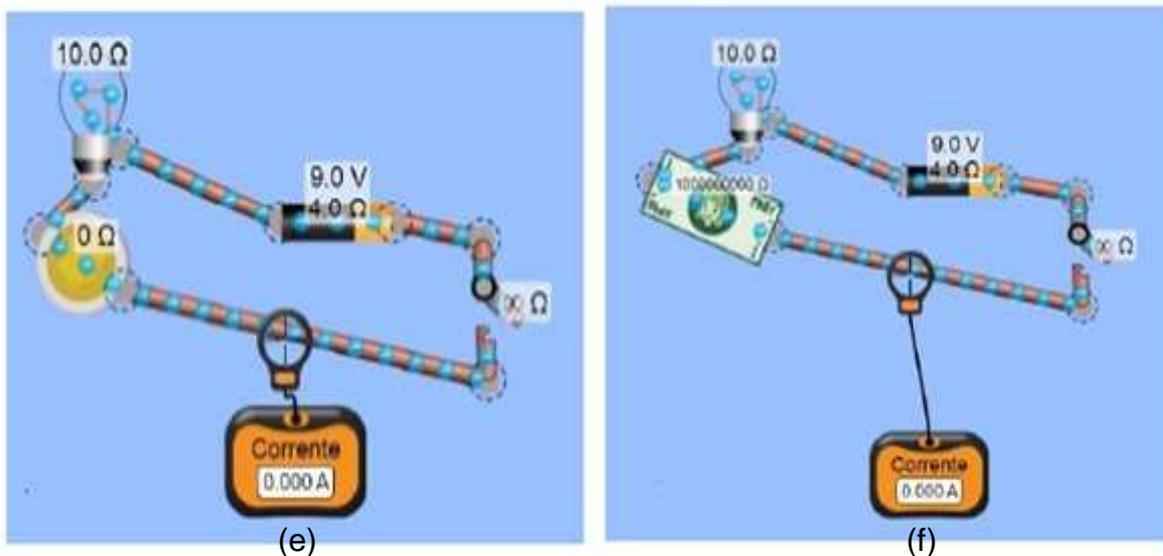
Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction->

O caso em que se refere ao curto circuito está apresentado no Apêndice II, seção II.3.

É interessante se explicar se o material é condutor ou não por meio de um circuito utilizando-se o simulador do PhET, Figuras 2.16 (a) à (f), em que é possível se ir colocando lâmpada e amostras simuladas como uma “moeda”, “dinheiro de papel”, “clips”, “mão”, “cachorro deitado”, “borracha” e simular o que será feito depois com o aparato experimental. A escolha foram amostras que não serão utilizadas no jogo.

Figura 2.16 – Cópia da tela do simulador do PhET em que os objetos representados no circuito são: (a) “borracha”, (b) “cachorro”; (c) ”clips”; (d) “mão humana”; (e) “moeda”; (f) “nota de papel (dinheiro)”. Qual conduz ao fechar a chave? Qual fará a lâmpada “brilhar” mais?

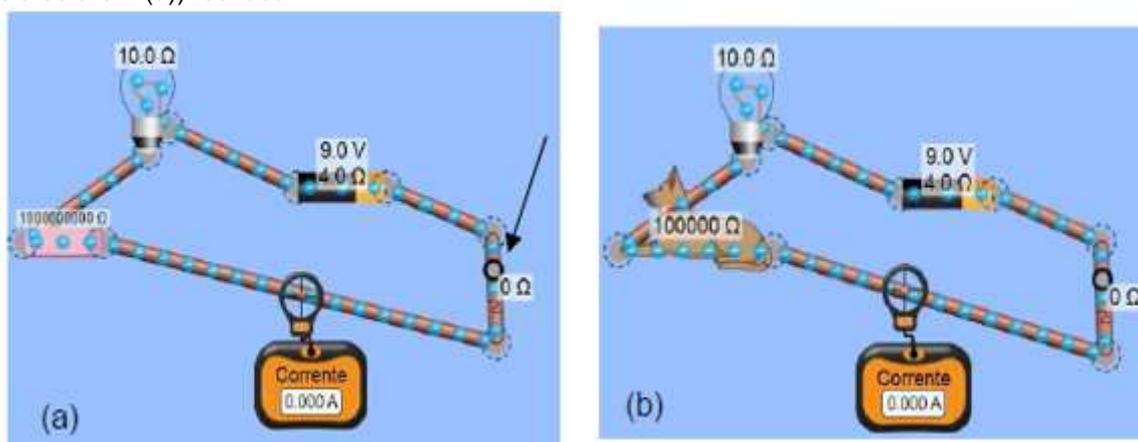


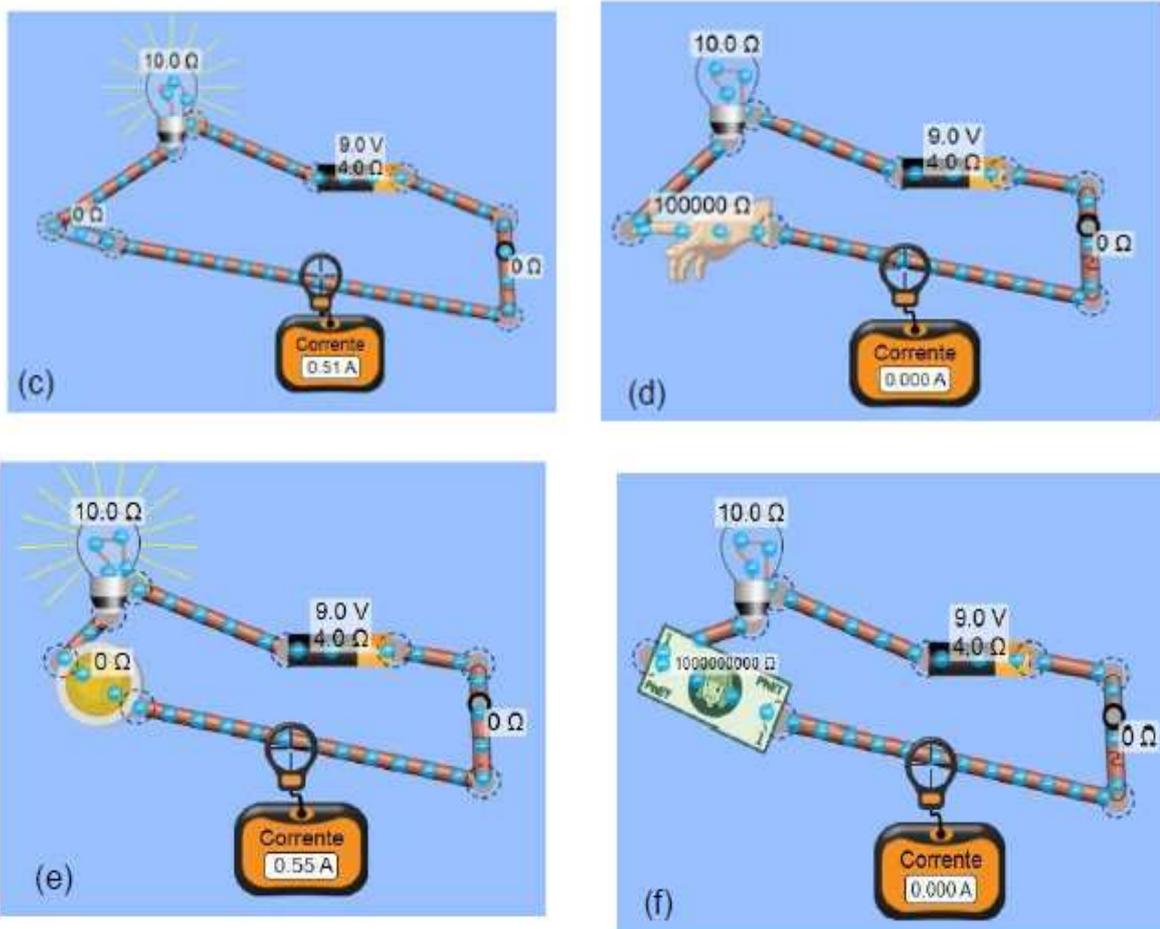


Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html>.

Após os alunos responder, deve-se ligar a chave à direita, e se os elétrons se moverem, o que na figura será indicado pelo valor da corrente no “amperímetro”, e também pela lâmpada acendendo (Figuras 2.17).

Figura 2.17 – Cópia da tela do simulador do PhET em que os objetos representados no circuito são (a) “borracha”, (b) “cachorro”; (c) “clips”; (d) “mão humana”; (e) “moeda”; (f) “nota de papel (dinheiro)”. Qual conduz ao se fechar a chave? Qual fará a lâmpada “brilhar” mais? Chave (indicada pela seta em (a)) fechada





Fonte: o autor, 2020, usando o simulador do PhET: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html

Como se pode observar nos medidores de corrente, quando maior a resistência do material, para uma tensão fixa $9,0\text{ V}$ a corrente diminui (concordando com a Lei de Ohm – eq. (2.8)), Tabela 2.2, e não há condução de cargas elétricas pelo circuito na “borracha”, “cachorro”, “mão” e “papel moeda (dinheiro)”.

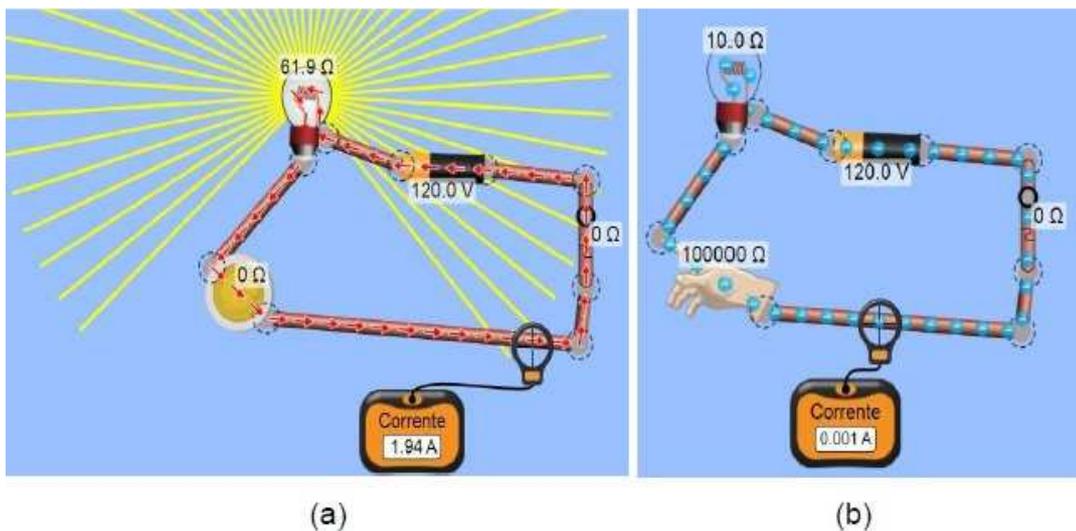
Tabela 2.2 – Dados das medidas do simulador PhET para uma tensão de bateria de $9,0\text{ V}$ e $4,0\ \Omega$ fixos. Ressaltando-se que o cachorro e a mão estão secos, sem umidade.

Material	$R(\Omega)$	conduz	Não conduz	Lâmpada
Borracha	10^9		x	Não acendeu
Cachorro	10^5		x	Não acendeu
Clips	0	x		Acendeu
Mão	10^5			Não acendeu
Moeda	0	x		Acendeu
Papel “dinheiro”	10^9			Não acendeu

Fonte: o autor, 2020.

Aumentando-se a tensão da bateria próxima à de uma rede de energia elétrica 127 V , colocou-se de forma arbitrária 120 V . Observa-se que a iluminação na lâmpada aumenta, mas os resultados, quanto a conduz e não conduz, foram os mesmos, como no exemplo da mão na Figura 2.18. Observa-se que a corrente aumenta, em virtude de a tensão ter aumentado, mas muito pouco.

Figura 2.18 – Cópia de tela do simulador PhET: (a) Para a “moeda” e (b) “mão”, quando submetidos a uma tensão de 120 V .



Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html>.

Isso significa que, **para se classificar se um material é condutor ou isolante, deve-se observar a resistividade do material (Tabela 2.1)**. No caso dos exemplos apresentados, principalmente os da mão e do cachorro, mostraram uma alta resistência à passagem da corrente elétrica, o que pode ser observado, pois a resistência (R) e a resistividade (ρ) são diretamente proporcionais (Eq. 2.4), e, nesse caso, pode-se classificá-los como “isolantes”. Talvez por ser somente a mão e não o corpo inteiro, e, no caso do cachorro, talvez o seu pelo seja isolante e ele estar deitado, outro motivo é por estarem **secos**.

Se estivessem **molhados**, conforme Ramalho *et al.* (1997), no corpo humano/animal, a resistividade diminui para em torno de 1.000 vezes, e a corrente, para uma tensão de 120 V , será em torno de $0,1\text{ A}$ e, para 220 V , de $0,2\text{ A}$, podendo, assim, ser fatal para o organismo humano/animal. Outras consequências

são queimaduras (efeito Joule), dores musculares, paralisia, paradas cardíacas (principalmente se no braço esquerdo).

Segundo o INPE³³, a intensidade típica da corrente de um raio é de $30 \times 10^3 A$, cerca de 1.000 vezes a de um chuveiro elétrico, e a descarga percorre distâncias da ordem de 5 Km. Por isso, muitas mortes por raios, tanto de humanos e principalmente de animais como bovinos em pastos, que são frequentemente veiculadas em noticiários. Assunto apresentado em mais detalhes no Apêndice II, seção II.2. Uma sugestão é colocar uma reportagem que trata desse assunto e discutir a ordem de grandeza da corrente e suas causas.

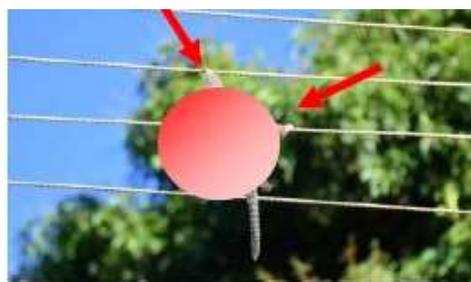
CURIOSIDADE - Por qual motivo passarinhos não sentem descargas elétricas, e os saguis sentem, quando se movem sobre a fiação elétrica?

Aqui entra o conceito de potencial e ddp. No caso do passarinho, este coloca as duas patinhas em um único fio, logo, em um único potencial (Figura 2.19(a)), de forma que nada ocorre com ele. Enquanto outros encostam uma parte do corpo em um fio e a outra, em outro fio, gerando uma ddp e provocando a descarga elétrica sobre o animal, como é o caso do exemplificado com a Figura 2.19(b) em que uma pata está em um fio superior e a outro, no fio inferior, indicados por setas. A figura do sagui foi coberta pelos autores deste trabalho.

Figura 2.19 – Imagem fotográfica de um pássaro no caso um pombo pousado em um fio da rede elétrica; e (b) um sagui em contato com mais fios da rede elétrica (imagem parcialmente coberta pelos autores)



(a)



(b)

Fonte: (a)<https://voapassarinho.wordpress.com/> (b) Marcos Vinicius/midiamax<<http://faunanews.com.br/2020/12/14/saguis-ficam-feridos-na-rede-eletrica-em-al-orgao-ambiental-divulga-o-problema-sem-apresentar-solucao/>>

³³Fonte: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php> . Acesso: 27/05/2021.

2.2.5 - Aulas 6 e 7 – Montagem Experimental e JOGO (QUIZ)

Retomar os conceitos referentes às aulas ministradas, indagar aos alunos sobre tais conteúdos e estimular um debate sobre as definições teóricas, exemplos e aplicações. Na sequência, aplicar o jogo. Para a aplicação do jogo, todos os alunos recebem uma tabela individual, conforme modelo apresentado no Quadro 1.2. O ideal é que se utilize de materiais (amostras) diferentes aos citados anteriormente no decorrer das aulas.

Apresentar a amostra para os alunos, um a um, aguardando que anotem no quadro de respostas de conduz ou não conduz. Após todos os alunos anotarem suas respostas, para aumentar a interatividade da aula, os alunos são convidados a participar da montagem do aparato experimental (nessa parte os alunos podem montar, junto ao professor, a versão em que se utiliza a fonte de 12 V disponível no Apêndice I). Durante o jogo, sugere-se que o professor solicite que diferentes alunos realizem parte do experimento, dando oportunidade a todos de manusearem o experimento.

2.2.5.1- Aparato Experimental – Circuito Elétrico

A seguir, estão listados os materiais utilizados na montagem do aparato experimental e o Roteiro para a elaboração do mesmo.

2.2.5.1(a) - Materiais Utilizados

- 1 placa de madeira com dimensões 20 x 25 x 1 *cm*;
- 1 lâmpada incandescente de 60 W;
- 2 garfos de metal;
- 1 *mfio* de cobre de 2,5 mm² de espessura;
- 2 *mfio* para se conectar o sistema à rede;
- 1 interruptor de 10 A;
- 1 “plugue” (tomada macho) de 10 A;
- 1 soquete para a lâmpada;
- alicate de corte;
- martelo;

- 1 multímetro;
- chave de fenda;
- 2 led's;
- fita isolante;
- 10 fixadores de fio;

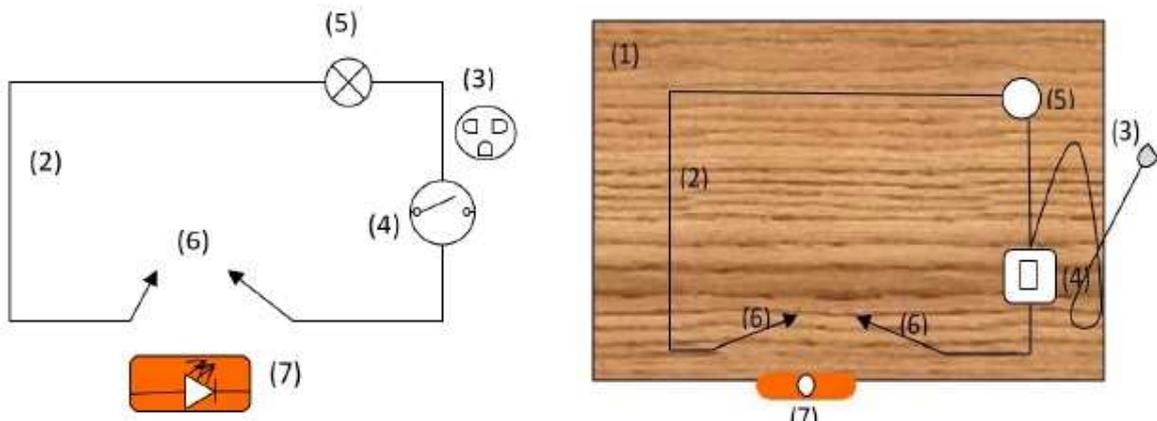
Amostras: aproximadamente 10 cm de comprimento cada:

- | | |
|------------|-----------------|
| • Couro; | • Salsicha; |
| • Isopor; | • Fio de cobre; |
| • Grafite; | • Banana; |
| • Batata; | • Mamão Papaia. |
| • Cenoura; | |

2.2.5.2(b) - Montagem do Aparato Experimental

O aparato experimental trata-se de um circuito elétrico. Na Figura 2.20 apresenta-se o esquema experimental do circuito: (1) uma base de madeira; (2) fio elétrico; (2) fio de cobre; (3) plugue (a ser conectado na tomada da fonte de tensão da rede elétrica de 127 V); (4) interruptor; (5) lâmpada incandescente de 60 W; (6) garfos de metal dobrados adequadamente; (7) local onde será fixada a amostra para teste, entre os garfos. Para fixar os fios e as peças, use os fixadores bem como parafusos.

Figura 2.20- Desenho esquemático de um circuito com as imagens no formato (a) usado em eletrônica e (b) como é visto sobre a base. Sendo; (1) uma base de madeira; (2) fio elétrico; (2) fio de cobre; (3) plugue macho (conectar na tomada associada à fonte de tensão rede elétrica 127 V);(4) interruptor;(5) lâmpada de 60 W;(6) garfos de metal;(7) amostra para teste.



Fonte: o autor, 2019.

Para a montagem do circuito, conforme Figura 2.20, foram observados os seguintes passos:

1. Sobre uma base de madeira (1), prende-se o fio de cobre (2) com fixadores próprios, ou, caso não haja, recorte pequenos pedaços retangulares de garrafa Pet e fixe com pequenos pregos ou parafusos;
2. Uma das extremidades do fio será fixada no cabo de um dos garfos (6), este deve ter o formato de um S, e a outra extremidade do fio deve ser fixada no soquete da lâmpada (5) que deve estar fixada com parafusos na base de madeira;
3. Com outro pedaço de fio de cobre cuja extremidade está fixada no outro terminal do soquete e a extremidade livre do fio será fixada em um dos lados do interruptor (4);
4. No interruptor devem estar fixadas as extremidades do fio que será conectado à tomada da rede elétrica;
5. Ainda do outro terminal do interruptor oposta àquele conectado no soquete, fixe a extremidade de outro pedaço de fio de cobre e sua extremidade livre na direção de onde ficará o segundo garfo também em formato de L;
6. Fixam-se também os garfos, (6) separados por 12 cm um do outro, na base de madeira, com as pontas dos fios elétricos descascados por baixo dos garfos fechando-se o circuito, formando-se um circuito simples em série, como apresentado na Figura 2.21.

Para ajudar na montagem do aparato experimental, levou-se a parte do material previamente montado, como as conexões dos fios, os locais de fixação dos materiais foram já marcados com uma furadeira para somente se parafusar os fixadores, e os garfos, dobrados em L. O plugue conectado em uma das extremidades do fio com o interruptor também foi levado pronto.

Figura 2.21 – Imagem fotográfica do Aparato Experimental – um circuito elétrico simples em série, contendo, uma base de madeira, fios de cobre, soquete com lâmpada (em destaque na parte inferior), interruptor (questão de segurança), fio com terminal para a tomada (plugue) e dois garfos



Fonte: o autor, 2019, baseado na referência Doescher et al. (2009).

2.2.5.1 (c) - Testando o Aparato Experimental

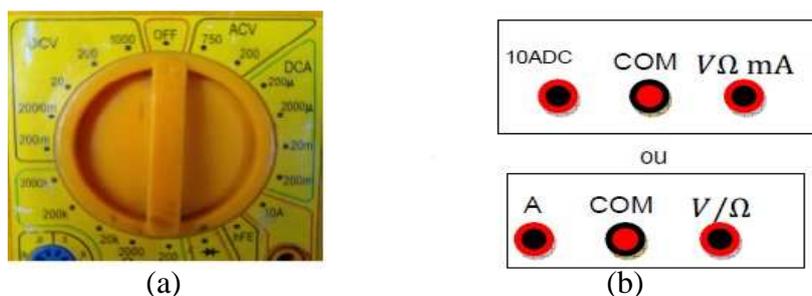
Assim, com o circuito devidamente montado, esse aparato deve ser testado. Para isso, primeiramente é necessário se saber como utilizar o multímetro.

Uso do Multímetro

Um multímetro leva esse nome, por ser um equipamento de medidas elétricas com multifunções permissíveis de medidas. Com o multímetro, podem-se medir a tensão, a corrente, a resistência, e alguns multímetros podem medir a temperatura, entre outras funções.

Para cada medida deve-se posicionar o botão seletor (Figura 2.22 (a)), e o lado do borne das pontas de prova deve ser conectado adequadamente. Na Figura 2.22 (b) mostram-se dois modelos de pontos de conexão de multímetro.

Figura 2.22 – Imagem de um (a) exemplo das escalas de um multímetro e (b) exemplos de pontos de conexão para o borne das pontas de prova, usadas aos pares. Para não haver confusão convencionou-se o preto para o COM (TERRA) negativo e o vermelho para a outra opção $A, V/\Omega$, o positivo.



Fonte: o autor, 2020.

Na Tabela 2.3 estão apresentados exemplos de escalas do seletor para cada função.

Tabela 2.3 – Escalas do multímetro para cada função do botão seletor: V (tensão/ddp); R (resistência) e i a corrente

$V(V)$		$R(\Omega)$	$i(A)$	
Tensão contínua	Tensão alternada	200	contínua	
200m	200	2K	200 μ	2m
2	750	20K	2000 μ	20m
20		200K		200m
1K		2M		2
				10 ou 20

Fonte: o autor, 2020.

Conexão das pontas de prova no multímetro (Figura 2.22 (b)):

- para se medir a corrente, o seletor deve estar direcionado para medida de corrente; um fio de conexão no A e o outro em COM, e a outra extremidade em série no circuito (Figura 2.23 (a));
- para se medir a tensão, uma extremidade de um dos cabos no COM e a outra em V/Ω e o seletor em V (contínua ou alternada) e os lados da ponta de prova em paralelo com o circuito (Figura 2.23(b)); e
- para se medir resistência, o seletor em Ω , e os cabos no multímetro saindo com COM (negativo) e o outro do V/Ω (positivo), e os lados das pontas de provas devem ser posicionadas no intervalo que se deseja medir.

Figura 2.23 – Imagens de medida de (a) corrente e (b) tensão usando-se um multímetro.



Fonte: (a) como medir corrente contínua disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4fg8tzt9Gf8>>(b) adaptado da referência (a).

Importante: ao se efetuar a medida, observar a escala dentro de cada função para se evitar danificar o fusível dentro do equipamento. Em relação à corrente, há duas entradas

ou, no seletor, dois limites um em mA e outro em $10 A$, observar qual é a que se deve utilizar.

MUITO CUIDADO AO REALIZAR MEDIDAS PRINCIPALMENTE DE TENSÃO E CORRENTE.

Um *site* que mostra passo a passo como se utilizar um multímetro é <https://blogmasterwalkershop.com.br/eletronica/ferramentas-de-medicao-multimetro>.

Visto isso, verifique, com um multímetro, a tensão na escala de Volts (como na Figura 2.24) – isso deve ser feito com a supervisão do professor –; lembre-se de conectar o *plugue* na tomada e acionar o interruptor, e, após o teste, desligue o interruptor e desconecte a tomada por segurança.

Figura 2.24 – Imagem fotográfica do teste do aparato experimental foi colocado um pedaço de fio, como amostra para se fechar o circuito. No multímetro acusa uma tensão de $124,8 V$



Fonte: arquivos do autor, 2019.

2.2.5.1 (d) - Procedimento Experimental

1. Os materiais são devidamente ajustados quanto às suas dimensões (tarefa incumbida aos alunos);
2. Encaixe a amostra (material) entre os garfos;
3. Conecte o plugue do aparato na tomada da rede de tensão;
4. Alunos são questionados quanto a, se o material conduz ou não conduz
5. Peça que um aluno acione o interruptor contido no circuito;

A princípio, se a luz acender, isso significa que conduz eletricidade; se não acender, significa que o material é isolante.

6. Após todos conferem a sua resposta com o anotado no Quadro 2.1;

Ficou na dúvida? Para ter certeza, caso não acenda, desligue o interruptor, retire o plugue da tomada por segurança e espete um led no sentido longitudinal da amostra, e repita o teste. Se o *led* acender significa que o material é condutor, se não um isolante;

1. O professor explica por que o material em questão conduz ou não eletricidade;
2. Desligue o interruptor e, por segurança, retire o plugue da tomada;
3. Encaixe outro material;
4. São repetidos os passos de 1 a 8 com todas as amostras;
5. Desligue o interruptor e retire o plugue da tomada;
6. Termine o jogo fazendo a pontuação para ver quem ganhou o jogo. Lembrando que cada acerto vale um ponto.

Também é possível se saber qual a tensão que passa por cada amostra, ligando-se o multímetro em paralelo ao circuito, conectando as ponteiros na amostra entre os garfos.

2.2.5.2 – JOGO e RESULTADOS DO JOGO - Conduz ou não conduz?

Esclareça as regras do jogo citadas na metodologia (Capítulo1) e inicie o jogo.

❖ Amostra 1 – Salsicha

Fixe a salsicha nos garfos na longitudinal. Com o circuito devidamente alimentado, ou seja, ligado à tomada, inicia-se a demonstração de seu funcionamento;

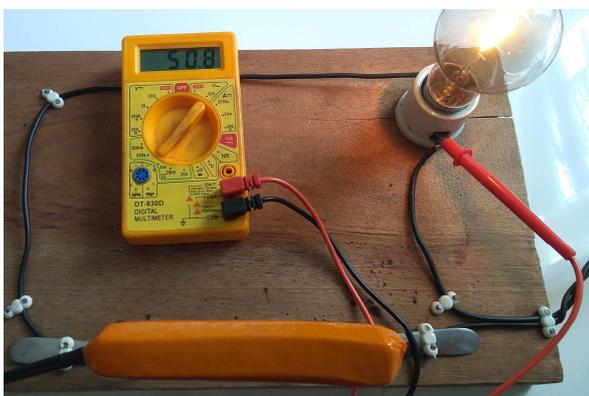
Pergunte aos alunos: conduz ou não conduz?

Convide um aluno para acionar o interruptor;

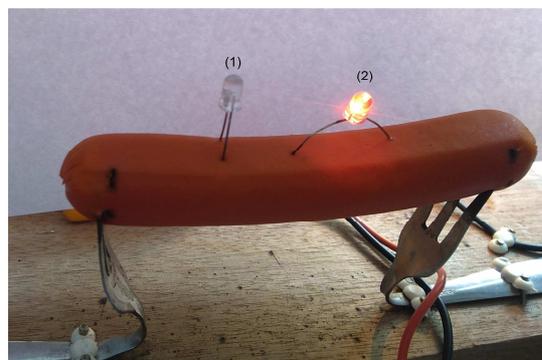
RESPOSTA - Conduz! Pelo brilho à direita na foto, Figura 2.25 (a), a lâmpada de 60 W acendeu, o que indica que houve condução de energia elétrica através da salsicha.

Os alunos deverão confirmar se acertaram ou não a resposta.

Figura 2.25 – Imagem fotográfica do jogo *quiz* – conduz ou não conduz energia elétrica -; no caso, através da salsicha, (a) sem *leds*, conduz, lâmpada acendeu; (b) com *leds* posicionados: (1) transversal e (2) longitudinal



(a)



(b)

Fonte: o autor, 2019.

Justificativa – provavelmente pela salsicha possui íons em movimento, devido principalmente a presença de cloreto de sódio e água.

Uma sugestão, sob supervisão do professor, é interessante se realizar a medida de corrente com o multímetro, para isso, com o multímetro na posição de Ampère (A) e o sistema desligado, desconectar uma das extremidades da salsicha do garfo e espetar uma das pontes nessa extremidade da salsicha, a outra ponte deve ser conectada no garfo livre (de onde foi tirada a salsicha), use um cabo jacaré para isso. O *Borne* preto deve ser conectado em COM (negativo) e o vermelho, em A de Ampère. Observar que alguns multímetros possuem dois lugares para se conectar o *Borne* para medidas de corrente; em *mA* indica que o limite máximo suportado é de 200 *mA* e o outro em que o limite máximo é de 20 *A*. Mas o apresentado na Figura 2.25 só tem um lugar e está escrito que o limite máximo é de 10 *A*.

Explorando o experimento: conceitos de potencial, superfície equipotencial, ddp, efeito Joule e cálculo da resistividade

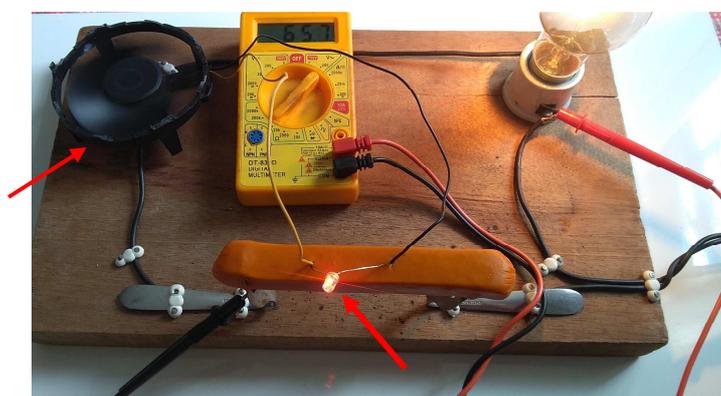
Para animar e explorar o experimento, espete as hastes dos *led's* na salsicha, posicionados de duas diferentes formas, como ilustrado na Figura 2.25 (b) – posições (1) e (2);

Na Figura 2.25 (1), o *led* está posicionado no sentido transversal da salsicha, então as suas hastes estão sob uma superfície equipotencial (Figura 2.6(a)), por isso ele não acende. Enquanto que, na Figura 2.25 (2), como as hastes do *led* ficaram no sentido longitudinal da salsicha em que existe uma diferença de potencial elétrico, o *led* acendeu. Dessa forma, o professor, além do jogo, retoma conceitos importantes sobre diferença de potencial e mostra, na prática, que o ‘acender’ do *led* está entre outros, diretamente ligado ao lado do posicionamento correto do mesmo. Meça essa ddp com o multímetro, espetando uma ponteira perto de cada haste do *led*, a escala no multímetro deve ser tensão e alternada, pois a corrente que vem da rede de tensão é alternada. Cuidado, para fixar o *led*, desligue o interruptor e ligue após tudo conectado.

O mesmo procedimento foi repetido, inserindo-se, além do *led*, um *cooler* reaproveitado de um computador. Neste caso, observou-se que, o girar ou não da hélice se devia ao posicionamento dos seus terminais elétricos (Figura 2.26 (a) o *cooler* em funcionamento).

Caso se mantivesse ligada por um tempo maior a salsicha conectada, ela fritaria em razão do **efeito Joule** (transformação da energia elétrica em energia térmica), por meio da potência dissipada $P = iU$ ou $P = \frac{U^2}{R}$, ou seja, um churrasco de salsicha. A Figura 2.26 (b) apresenta a comparação da aparência entre a salsicha crua e a pré-assada com aparato experimental que ocorreu durante a execução do experimento. Isso aguçar os sentidos olfativos de todos. **Esse efeito não se observa na versão com o uso da fonte de 12 V (Apêndice I).**

Figura 2.26 – Imagem fotográfica (a) do aparato experimental com a amostra de salsicha conectada a um *cooler* com conexão na salsicha. Manteve-se também o *led* espetado na mesma. (b) aparência da salsicha após o experimento: da esquerda, crua e a da direita, a pré-assada no aparato



(a)



(b)

Caso o professor tenha tempo e dois multímetros, pode acompanhar o valor da tensão e da resistência por um determinado tempo, anotar os dados conforme observe variação e o tempo que ocorreu, e analisar o tipo de comportamento a salsicha terá em termos de um gráfico de tensão versus resistência, e analisar se o gráfico de tensão ao quadrado versus resistência obedece a equação $P = \frac{U^2}{R}$.

Calculando a “resistividade” da salsicha³⁴ por meio da equação (1.18): sabendo-se que³⁵ a salsicha possui uma resistência na ordem de $R = 440 K\Omega$, se se considerar que a área da seção transversal for de $A = 7,1 cm^2$ e comprimento $L = 12 cm$, a sua resistividade será de $\rho = 260 K\Omega cm$. Comparando-se com os valores da Tabela 1.1, em que os isolantes (dielétricos) estão na ordem de $10^{14} \Omega cm$ e os condutores $10^{-6} \Omega cm$, pode-se considerar a salsicha um condutor de eletricidade. Como a salsicha possui uma “resistividade” na ordem de $10^3 \Omega$, dissipa calor em razão do efeito Joule, e ocorre o seu cozimento, tanto que na internet esse mesmo circuito é denominado de “fritador de salsichas” (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=7642>).

Novamente: MUITO CUIDADO AO SE REALIZAR MEDIDAS PRINCIPALMENTE DE TENSÃO E CORRENTE, ou ao modificar ou acrescentar qualquer elemento no aparato sempre desligue o interruptor e por segurança retire o plugue da tomada.

❖ Amostra 2 – Grafite

Verifique se o aparato experimental está com o *plugue* fora da tomada e o interruptor desligado. Posicione o lápis devidamente preparado de tal forma que o grafite esteja exposto como na Figura 2.27 (a).

Conecte o *plugue* na tomada;

Pergunte: **conduz ou não conduz?**

Espere os alunos responderem.

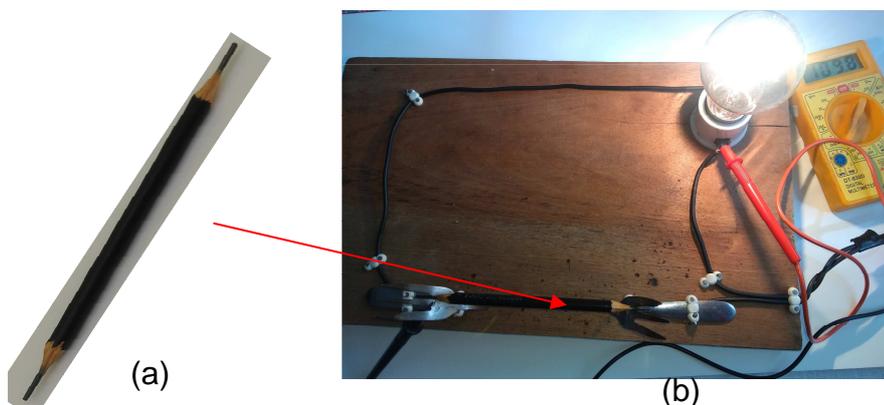
Peça para algum aluno apertar o interruptor;

A Figura 2.27(b) apresenta o resultado que deverá ser obtido.

³⁴Somente uma suposição como se fosse um fio. Lembrando que a resistividade varia com a temperatura.

³⁵(Ufscar 2007), pode-se medir utilizando um multímetro na escala de Ohm.

Figura 2.27 – Imagem fotográfica do aparato experimental com a amostra de grafite, e em destaque como deve ficar o lápis para seu uso. Tensão de após se ligar a chave (interruptor) 109,8 V.



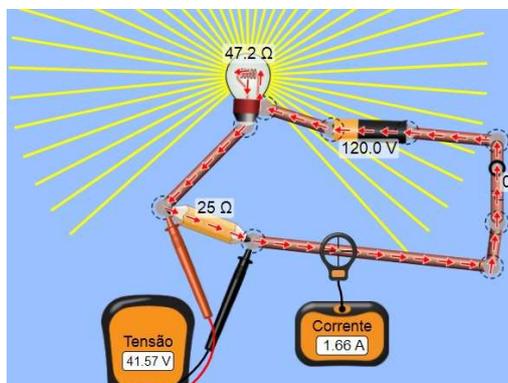
Fonte: o autor, 2018.

RESPOSTA – Conduz!!! A lâmpada possui uma boa intensidade de luminosidade. A tensão é outra forma de se observar o quão bom condutor é o grafite, pois a rede é de 120 V e no circuito o multímetro acusa o valor de 109,8 V.

JUSTIFICATIVA - O grafite, ou grafita puro, (um mineral formado por moléculas de carbono, sendo este de coloração acinzentado- escura, metálico e macio), conforme a Tabela 2.1, é um condutor e possui uma resistividade de $10^{-6} \Omega \text{cm}$, para um lápis com um grafite em torno de 12 cm e $A = 0,03 \text{ cm}^2$, o que significaria uma resistência de $3,5 \times 10^{-3} \Omega$. O grafite utilizado é uma mistura do grafite e pó bem fino de cerâmica e, no experimento, mostrou que continua com boa condutividade.

Pode-se ver esse mesmo sistema utilizando-se o simulador do PhET (Figura 2.28), com o valor da resistência para o grafite do lápis de $R = 25 \Omega$.

Figura 2.28 – Cópia da imagem do simulador do PhET, utilizando o grafite em uma representação de um lápis com $R=25 \Omega$ como amostra



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_pt_BR.html,

Sugestão - Pode-se utilizar o grafite para se desenhar um circuito elétrico em um papel³⁶. O papel é um material isolante, como apresentado nesse vídeo do Youtube:<https://www.youtube.com/watch?v=BwKQ9ldq9FM> . O material utilizado é uma bateria de 9 volts, dois cabos de conexão com dois jacarés pequenos, dois *leds* simples (cores usadas no vídeo: branco e vermelho), dois lápis com grafite acima de 2B, papel sulfite e fita adesiva. Nesse vídeo, o autor mostra dois circuitos e como se fazer uma lanterna de papel. Um circuito utilizando o grafeno³⁷ pode ser visto neste vídeo: <http://complexogeek.com/2013/12/02/fazendo-circuitos-que-funcionam-com-papeis-e-lapis/>

❖ Amostra 3 – Cenoura (nome científico: *Daucus Carota*)

Desligue o aparato experimental da tomada e troque a amostra;

Ligue novamente o plugue à tomada e

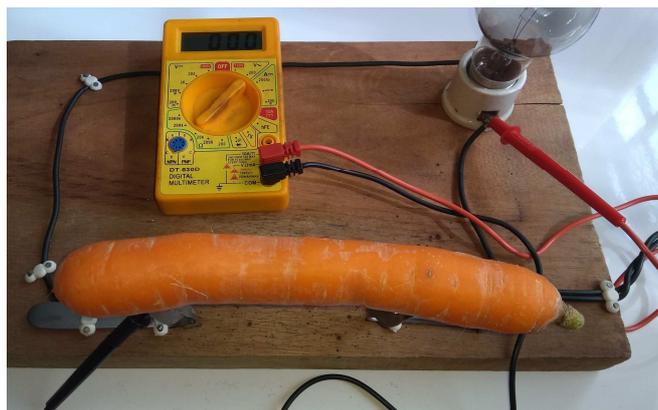
Pergunte: **Conduz ou não conduz?**

Após os alunos responderem;

Solicite a um deles que acione o interruptor.

O resultado será o apresentado na Figura 2.29.

Figura 2.29 – Imagem fotográfica do circuito ligado usando como amostra uma cenoura. Tensão no multímetro é de 0,00 V



Fonte: o autor, 2019.

³⁶No artigo da referência da Rocha Filho (2003) há exemplos de circuitos com grafite em papel.

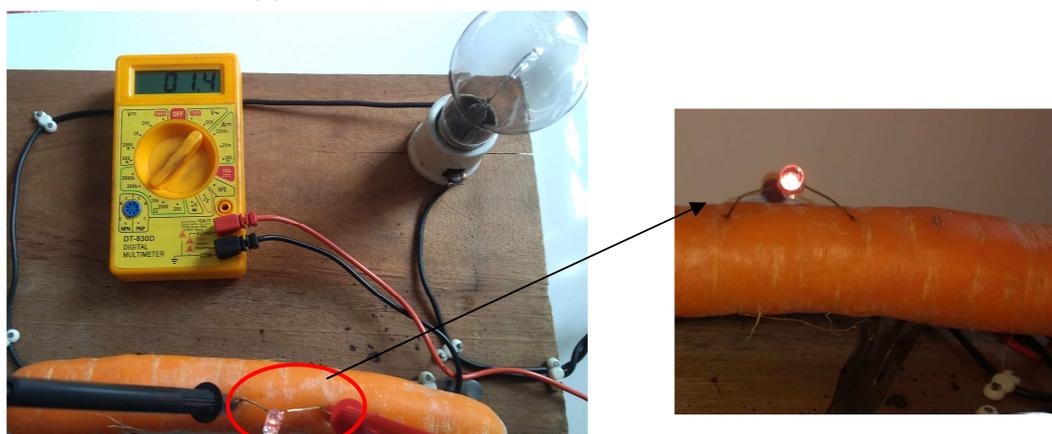
³⁷ Nome proposto em 1968 por Hanns-Peter Boehm, unindo o grafite com o sufixo eno, pois são formados por nanotubos de carbono e fulelenos. Material altamente condutor e térmico. Um vídeo que trata sobre o grafeno é: <<https://www.youtube.com/watch?v=l6yqJxB4uzA>>.

RESPOSTA - Não conduz! A lâmpada não acendeu e o multímetro acusa 0,00V de tensão.

Justificativa - O que se esperava é que a cenoura tivesse alguma condutividade, em razão da sua composição química³⁸, inclusos os minerais: Fe, sódio, potássio e água. Resolveu-se testar, então, se havia alguma condução de eletricidade.

Realizando um novo teste: desligue o interruptor e tire o plugue da tomada por segurança. Fixe um *led* no sentido longitudinal. Ligue novamente e o resultado será o apresentado na Figura 2.30. Em (a) observa-se que o multímetro acusa uma tensão de 1,4 V, medida próximo aos terminais do *led*, e, em (b), o detalhe da luminosidade no *led*.

Figura 2.30 – Imagem fotográfica do circuito com (a) um *led* fixado na cenoura, e a tensão indicada 1,4 V no multímetro e (b) o detalhe do *led* aceso.



Fonte: o autor, 2019.

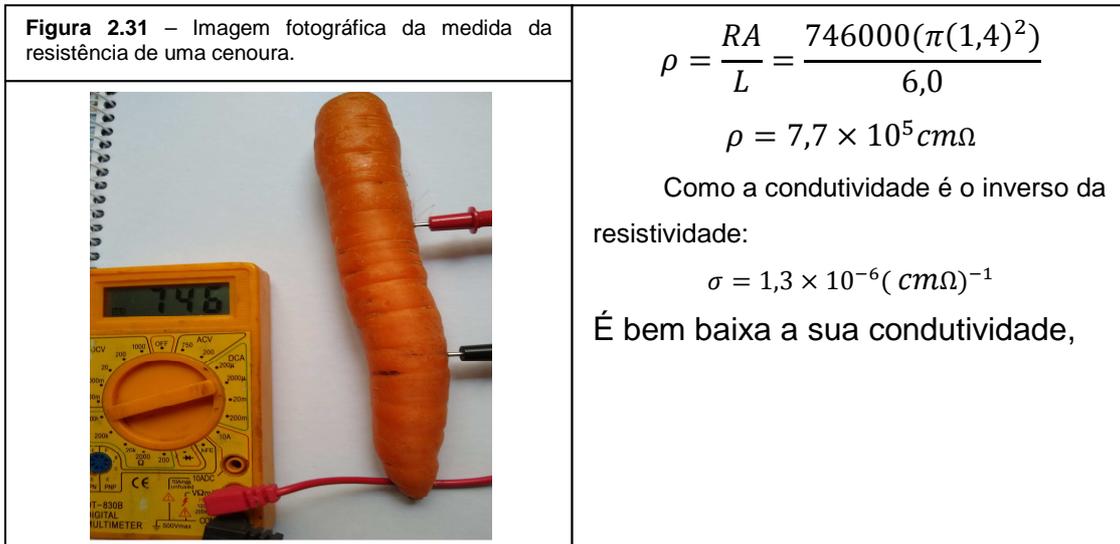
Para a medida da tensão, esta teve que ser feita próximo ao local onde cada haste do *led* foi espetada na cenoura, pois é baixa a tensão e a corrente não consegue circular por todo o circuito.

Portanto, a cenoura conduz muito pouca eletricidade, e a **resposta correta é: conduz!**

Outra sugestão é medir a resistência da cenoura com o multímetro e calcular a sua condutividade usando o mesmo raciocínio da eq. (2.4) de um fio, **embora não seja um fio**, utilizar somente como ilustração para trabalhar com a equação da resistividade elétrica, $\rho = \frac{RA}{L}$.

³⁸ <http://tabnut.dis.epm.br/alimento/11124/cenoura-crua>

Considere a imagem da Figura 2.31: a cenoura (considerando o raciocínio como se fosse um fio) com $d = 2,8 \text{ cm}$, $L = 6,0 \text{ cm}$, entre as pontas de prova, a resistência medida foi de $R = 746 \text{ K}\Omega$ em temperatura ambiente 25°C .



Fonte: autores, 2021.

❖ Amostra 4 – COURO

Após ter desligado o aparato experimental da tomada e trocado a amostra;
 Conecte o plugue à tomada;
 Pergunte: **Conduz ou não conduz?**
 Aguarde os alunos responderem;
 Solicite a um deles que acione o interruptor;
 O resultado será o apresentado na Figura 2.32.

Figura 2.32 – Imagem fotográfica do circuito com um pedaço de couro fixado nos garfos. Tensão indicada 0,00 V



Fonte: o autor, 2019.

RESPOSTA: Não conduz!!!!

Justificativa - O couro não conduz, sendo um material seco. Tanto que alguns eletricitistas utilizam luvas de couro em suas atividades.

❖ Amostra 5 – Isopor®

Após desligar o interruptor e retirar o plugue da tomada e trocar a amostra pelo pedaço de couro da alça de uma bolsa, ligue novamente o plugue à tomada.

Pergunta-se: **Condúz ou não condúz?**

Após os alunos responder.

Solicite a um deles que acione o interruptor.

O resultado será o apresentado na Figura 2.33.

Figura 2.33 – Imagem fotográfica do circuito com o isopor® como amostra. Tensão 0,00 V



Fonte: o autor, 2019.

RESPOSTA: não condúz! A lâmpada não acendeu, e a ddp acusada no multímetro foi nula.

Justificativa - O isopor®, além de ser um isolante elétrico, é também um isolante térmico e isolante sonoro. Mas é um material altamente inflamável³⁹, e quando em chamas a fumaça é altamente tóxica. Lembrando que “isopor” é o nome comercial de uma marca do Poliestireno.

³⁹Normalmente o que se utiliza, em obras, **não é** o isopor® comum que se conhece, é o **poliestireno expandido**, ou, como conhecido nesse meio por EPS, que é feito para conter as chamas e evitar a propagação destas (Fonte: <https://www.tudoconstrucao.com/parede-de-isopor/>).

❖ **Amostra 6 – Batata (nome científico: Solanum Tuberosum)**

Após desligar o aparato experimental da tomada e trocar a amostra, no caso por uma batata;

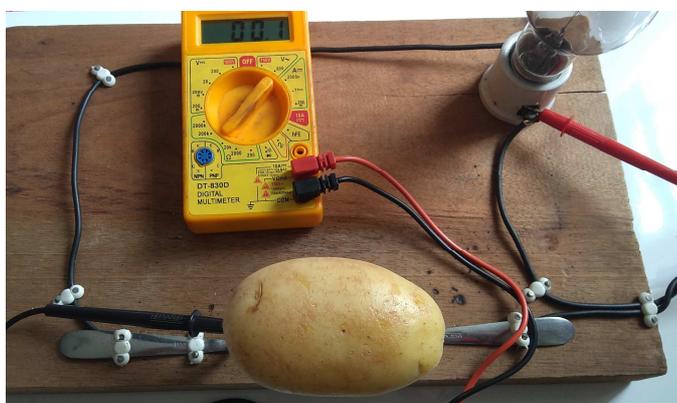
Conecte o plugue novamente à tomada;

Pergunte: **Conduz ou não conduz?**

Aguarde os alunos responderem e solicite a um deles que acione o interruptor.

O resultado será o apresentado na Figura 2.34.

Figura 2.34 – Imagem fotográfica utilizando como amostra uma batata. O multímetro indica uma tensão de 0,1 V



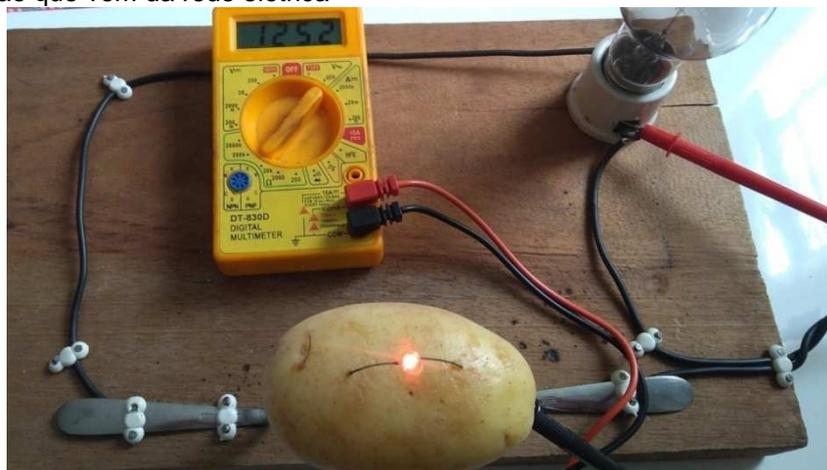
Fonte: o autor, 2019. “Carinha” elaborado por H. Mukai, 2021.

RESPOSTA: não conduziu. COMO ASSIM????!!!!

Justificativa - Conforme se conhece da literatura, o fato de se utilizar a batata como uma fonte de tensão e esta conter água e amido além de minerais na sua constituição, essa amostra gera uma grande curiosidade. Vale explorar de outra forma.

Novo teste: realize uma análise com o *led*, como foi feita com a cenoura. O resultado será o apresentado na Figura 2.35.

Figura 2.35 – Imagem fotográfica utilizando como amostra uma batata com o *led*. O multímetro indica uma tensão de 125,2 V, mas não na batata onde o *led* está fixado, mas antes da batata, sendo está a tensão que vem da rede elétrica



Fonte: o autor, 2019.

Observa-se que a tensão apresentada no multímetro é a tensão de entrada (antes da amostra) e não entre a amostra e a lâmpada, informando, assim, que há uma tensão antes da amostra. Mas, então, o que ocorre na batata fazendo com que a lâmpada não acendesse? O que os alunos observarão é o fato de que o *led* acendeu, tal qual ocorreu com a cenoura.

RESPOSTA CORRETA - Conduz!!!!!!

Uma possível justificativa seja que a quantidade de água a cada 100 g de batata é semelhante à da cenoura. Em relação aos minerais, a batata possui um teor maior por miligramas (*mg*) do que a cenoura, Tabela 2.4, talvez por isso o *led* apresente maior luminosidade na batata em relação à cenoura.

Tabela 2.4 – Dados de alguns compostos a cada 100gde cenoura e de batatas cruas.

legumes	água	Mg (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Vitamina C (gm)
Batata	83,29	23	3,24	413	10	11,4
Cenoura	88,29	12	0,3	320	69	5,9

Fonte: <http://tabnut.dis.epm.br/alimento/11124/batata-crua> e cenoura crua.

❖ Amostra 7 – Fio de cobre

Após ter desligado o interruptor e desconectado o plugue da tomada e trocado a amostra, agora pelo fio de cobre encapado (utilizado em rede de fiação elétrica), somente com as extremidades desencapadas e fixadas nos garfos;

Conecte o plugue à tomada;

Pergunte: **Condúz ou não condúz?**

Aguarde alunos responderem;

Solicite a um deles que acione o interruptor.

O resultado será o apresentado na Figura 2.36.

Figura 2.36 – Imagem fotográfica utilizando como amostra o fio de cobre e a lâmpada com luminosidade esperada



Fonte: o autor, 2019

RESPOSTA – CONDUZ!!!!

Justificativa - A resposta nesse caso não é surpresa: o fio de cobre é realmente um BOM condutor, sua condutividade a 20°C de aproximadamente⁴⁰ $58,14 \frac{Sm}{mm^2}$, por isso utilizado em rede elétrica, além de outras propriedades, de não oxidar facilmente.

Muito cuidado para que os alunos não encostem nos garfos ou em qualquer parte metálica do aparato experimental, e, para evitar acidentes, desligue o interruptor tão logo eles observem que a lâmpada acendeu.

⁴⁰ Siemens, representada por S, é a unidade de medida de condutância elétrica e admitância, no SI, e é o inverso do Ohm (Ω).

Outras sugestões de amostras para o JOGO

❖ Palha de aço, banana e mamão

Os resultados serão os apresentados na Figura 2.37: (a) para a palha de aço, (b) para a banana e (c) para o mamão. Observando que a tensão em cada caso (a) palha de aço foi de $118,7\text{ V}$, (b) na banana de $1,5\text{ V}$, e no (c) mamão de $1,8\text{ V}$.

Figura 2.37 – imagem fotográfica para as amostras de (a) palha de aço ($118,7\text{ V}$), de (b) banana ($1,5\text{ V}$) e de (c) mamão ($1,8\text{ V}$), colocadas no circuito.



(a)



(b)



(c)

Fonte: o autor, 2019

É interessante registrar as perguntas feitas pelos alunos durante o jogo referente ao observado com o respondido, as impressões e reações dos alunos diante aos efeitos.

OBSERVAÇÃO: nos casos em que se utilizam, como amostras, o fio de cobre e a palha de aço, é aconselhável utilizar o aparato experimental em que se usa a fonte de tensão de 12 V (Apêndice I), em razão do perigo de algum aluno tocar nas partes metálicas, seja do garfo ou da própria amostra durante o jogo. Portanto, caso vá utilizar o aparato com fonte de tensão de 127 V, em que a energia é a direta da rede, desligue o interruptor tão logo observe o efeito experimental. Recomenda-se esse procedimento, para não influenciar no jogo, em todas as amostras. E, por segurança, mantenha os alunos distantes do aparato experimental quando em uso a fonte de 127 V.

Final do JOGO!

Na Tabela 2.5 – reproduza no quadro – tabela de pontuação, indicando o vencedor.

Tabela 2.5 – Tabela de pontuação geral. ID é a identificação, e P a pontuação;

ID	A	B	C	D	E	F	G	H		J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
P																						

O vencedor foi.....

2.2.6- Aulas 8 e 9 - Esclarecimentos sobre os Resultados

Nestas aulas recomenda-se fazer uma análise das respostas do *quiz*, esclarecendo-se e reforçando-se os conteúdos físicos envolvidos.

Para tal, sugere-se que os alunos sejam questionados sobre o jogo aplicado na aula anterior, sobre seus resultados, o que os levou a dar determinada resposta. Neste momento, o professor discutirá cada um dos experimentos explicando por que cada amostra conduzia ou não conduzia corrente elétrica. Sugestões de explicações são às apresentadas após o resultado de cada amostra, mas o professor pode completar.

2.2.7 – Aulas 10 – Aplicação dos Questionários 1 e 2

Peça para os alunos que respondam novamente ao Questionário 1, a fim de comparar a evolução das respostas em função da aplicação do jogo bem como dos conceitos abordados em aula, e, por fim, peça que respondam ao Questionário 2.

Uma sugestão é cronometrar a média do tempo que os alunos levam para responder aos questionários e comparar com o tempo que levaram para responder antes de se aplicar o aparato experimental por meio do jogo e a teoria abrangida.

Questionário 2 (disponível para ser aplicado no Apêndice III)

1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa?(R: (b))

- a) Sim
- b) Não

2- Assinale a alternativa que está relacionada à correta forma de produção de energia elétrica.(R: (a))

- a) Energia elétrica está baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.
- b) Energia elétrica está baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor.
- c) Energia elétrica é concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Assinale a alternativa que responde corretamente à questão:

Como podemos explicar o que é corrente elétrica? (R: (c))

- a) É a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.
- b) É a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.
- c) É um fluxo ordenado de elétrons que circula por um material quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial elétrico.

4- Assinale a alternativa correta a respeito de condutores e isolantes. (R: (b))

- a) Materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.
- b) Condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.
- c) Somente os isolantes podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico conduzem eletricidade.

5- Assinale a alternativa que responde corretamente à questão: o que são resistores elétricos? (R: (c))

- a) São componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando-se, assim, isolantes.
- b) São componentes mecânicos que, quando ligados, permitem a passagem de corrente elétrica.
- c) São componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a corrente elétrica ou gerar calor.

6- Assinale a alternativa em que todos os materiais são condutores. (R. a))

- a) Alumínio, cobre e salsicha.
- b) Alumínio, isopor e cobre.
- c) Cobre, grafite e couro.

Após a correção dos Questionários 1 e 2, faça um *feedback* a respeito dos erros e acertos geral, ou seja, média por turma aos alunos e pergunte a opinião deles sobre a atividade desenvolvida.

Considerações Finais

O presente trabalho foi fundamentado em uma proposta de atividade experimental baseada em um circuito elétrico em série que engloba a montagem, indagações sobre o tema no contexto da eletrodinâmica, em ciências da natureza e tecnologia, de acordo com a Nova BNCC (Brasil, 2018), e conclusões/verificação de resultados por meio de um aparato experimental já proposto na literatura (Doescher, 2009). A proposta aqui foi reproduzir o aparato com materiais de fácil acesso, abordando desde a montagem do aparato a medidas elétricas, tópicos de eletromagnetismo e eletrodinâmica e com o procedimento experimental explorado em forma de um jogo (*quiz*: conduz ou não conduz).

Sugere-se, ainda, para auxílio nas aulas e/ou como organizadores prévios, o uso de simuladores computacionais disponíveis gratuitamente na *internet*, como a do PhET/Colorado (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation) e o Física na Escola (<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>), que podem ser utilizados tanto em computadores quanto em celular.

Além de contribuir para aprendizagem, espera-se que os alunos, após a realização do jogo e das aulas, sintam-se estimulados a compreender melhor os diversos ramos da física, entendendo que esses fenômenos estão presentes em seu dia a dia.

O jogo e sua aplicação seguem uma metodologia simples e, como citado, de baixo custo, o que, por sua vez, contorna as dificuldades (falta de laboratórios) vividas por muitas escolas, podendo ser montado sem grandes dificuldades pelos próprios alunos, com a supervisão adequada do professor, estimulando estes a construir habilidades de investigação e exemplificando e aprofundando os conceitos em construção.

O jogo, por si só, não é capaz de promover a aprendizagem, contudo o conjunto montagem experimental + jogo + explicações do professor + promoção de debate e investigação resulta em uma aprendizagem significativa.

Com base nos resultados dos questionários e da devolutiva dos alunos, conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados, já que houve evolução na

construção dos conceitos, contudo destaca-se que seria interessante se aplicar o jogo para mais alunos de diferentes escolas e até mesmo se montar a metodologia para esta turma em questão a fim de avaliá-la em longo prazo (perspectivas futuras do trabalho).

No geral, o jogo pode ser explorado de outras formas, incluindo outros materiais, explorando outros conteúdos no contexto do aparato experimental, e diferentes questionários. Além disso, mesmo sendo algo relativamente simples, foi comprovado que o jogo pode ser incluso como uma ferramenta a fim de tornar o ensino mais atrativo para os alunos. Do ponto de vista docente, a preparação em si desse tipo de atividade leva mais tempo, se comparada a uma aula tradicional, contudo o resultado final é muito satisfatório.

A forma como apresenta-se este trabalho, pode ser utilizada também no isolamento social em razão da pandemia do SARS-CoV-2, pois neste período os docentes e discentes estão adaptados com as aulas remotas e síncronas. Talvez haja a necessidade de mais um sistema de câmera com o celular para se transmitir se a amostra conduz ou não conduz. Outra opção é se gravar antecipadamente e ir transmitindo, de forma síncrona, tentando-se criar um ambiente semelhante ao real, só não haverá o cheirinho da salsicha fritando.

Por último e não menos importante, construir o aparato, usando uma fonte de tensão de 12 V, no lugar de ser direto da rede elétrica, que é de 120 V. A sugestão foi acatada, e o aparato foi construído e testado, e o resultado está no texto apresentado no Apêndice I. De forma geral, a sugestão é válida para que os alunos possam eles mesmos montar, utilizar o multímetro para medir tensão e corrente, realizando, assim, as ligações em série e em paralelo, enfim, para a parte física e até praticarem o jogo com os elementos que eles desejem testar, tudo sob orientação docente. Um dos fatores que o aparato original proporciona é a parte lúdica como a intensidade luminosa da lâmpada e o aroma da salsicha fritando, de forma que o jogo deveria ser realizado observando-se o *led* conectado às amostras. Portanto, sugere-se que se façam ambos os aparatos, um com o professor manuseando e o outro para os alunos montarem e manusearem, o que enriquece ainda mais o produto educacional aqui proposto.

Referências Bibliográficas

Baliscei, M. P. (2016). Uma sequência didática alternativa: conceitos de eletricidade e o efeito fotoelétrico utilizando simulações computacionais. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 08/04/2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018

Callister Jr., W. D. (2008). Ciência e Engenharia de Materiais :Uma Introdução. LTC Editora, Rio de Janeiro, 7ª Edição.

da Rocha Filho, J. B.; Coelho; S., Salami; M., Maciel; M. R., Schrage, P. U. (2003), Resistores de Papel e Grafite: ensino experimental de eletricidade com papel e lápis, Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.2: p.228-236. Disponível em:<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6548/6036/0>>. Acesso em: 15/08/2020.

Doescher, A. M. L.; Doescher, E.;Mattiazzo, B. P.; Bardi, L. R., (2009). Efeito Joule: de um fritador de salsicha ao secador de cabelo.Portal do Professor, MEC. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=7642>>. Acesso em 15/10/2018.

Gaspar, A. (2013), Compreendendo a Física 3 –Eletromagnetismo e Física Moderna, Editora Ática, SP.

Glight (Equipe Glight), (2020). Você conhece a história da lâmpada elétrica? Disponível em: <<https://www.glight.com.br/blog/voce-conhece-historia-da-lampada-eletrica/>> . Acesso em: 12/04/2021.

Halliday, D., Resnick, R. e Walker, J. (2009). Eletromagnetismo - 8ª ed. Editora LTC, Rio de Janeiro.

Martins, R. S. (2021). CONDUZ OU NÃO CONDUZ? UMA FORMA LÚDICA DE INCENTIVAR O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA ELETRODINÂMICA, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Departamento de Física – Universidade Estadual de Maringá. **Será publicado** em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>.

Moreira, M. A. (2006). Teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula. Editora Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF,.

Padilha, A. F. (2000) Materiais de Engenharia Microestrutura e Propriedades. Editora Hemus. São Paulo.

Pensamento verde, 2016. Venda de lâmpadas incandescentes está proibida no Brasil, disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/venda-de-lampadas-incandescentes-esta-proibida-no-brasil/>>. Acesso em: 20/08/2020.

Ramalho Jr, F; IVAN J., C.S.; Nicolau, G. F.; e Toledo S., P. A. . (1977) - Os Fundamentos da Física - Vol. 3 - Eletricidade e Física Moderna, 1a. edição - Ed. Moderna. São Paulo.

Ramalho Jr, F; Nicolau, G. F.; e Toledo S., P. A. . (1999) - Os Fundamentos da Física - Vol. 3 - 7a. edição - Ed. Moderna. São Paulo.

Rolim, J. G. (2002). Materiais Elétricos(Apostila). Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_UFSC/Materiais_EEL_7051/Apostila_Materiais.pdf

Sadiku, M. N. O. (2003) Elementos de eletromagnetismo. – 3ª ed. – Editora Bookman, Porto Alegre.

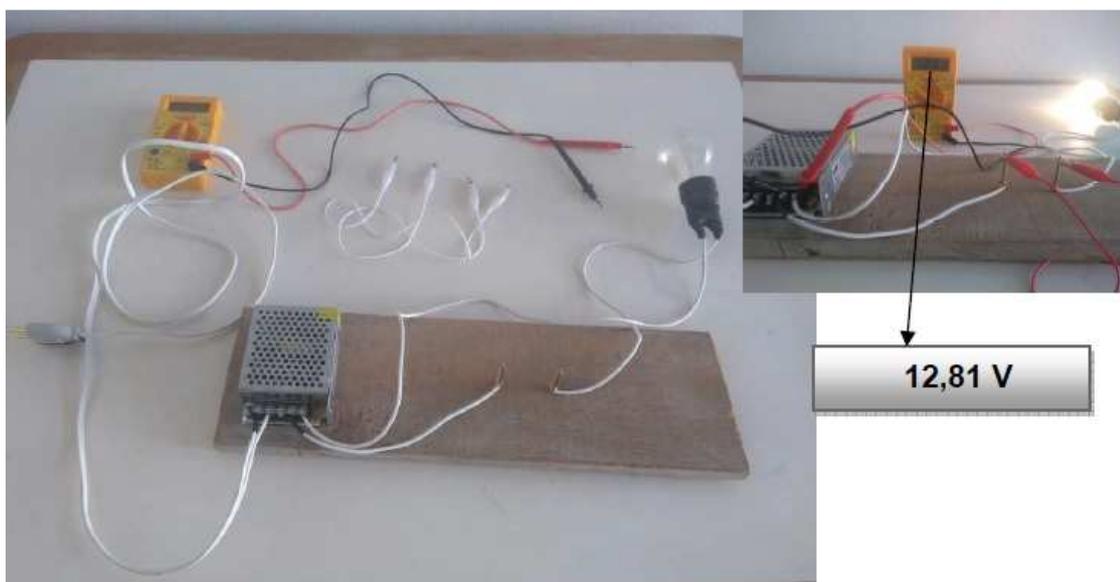
Sears, F., Young, H., Freedman, R., Zemansky, M. (2008). Física I: Eletromagnetismo Vol. 3. 12ª Ed. Editora Addison Wesley São Paulo.

Apêndice I – Aparato Experimental “mini” – 12 V

Este apêndice foi dedicado à versão do aparato experimental usando uma fonte 12 V e 5 A. Contém um guia de montagem do mesmo, para ser utilizado individual ou coletivamente com os alunos sem o perigo de serem atingidos por uma tensão de 127 V, mas isso não quer dizer que não necessitam da supervisão do professor.

Apresentam-se, para isso, a lista de materiais utilizados e a construção do aparato experimental (Figura I.1) passo a passo. Posteriormente, mostram-se também alguns resultados preliminares e a conclusão a que se chegou em comparação com a versão original que usa diretamente a tensão da rede elétrica de 127 V.

Figura I.1 – Aparato Experimental confeccionado com uma fonte de 12 V. E, no destaque, testando, acusando no multímetro 12,81 V



Fonte: arquivo dos autores, 2021.

I.1 Guia de Montagem

Primeiramente, apresentam-se a lista de materiais utilizados e uma tabela com o investimento dos principais elementos adquiridos em agosto de 2021.

I.1.1 Materiais Utilizados

Segue a lista de materiais utilizados para construção do aparato experimental:

- 1 placa de madeira com dimensões em torno de (20 x 45 x 1) *cm*;
- 1 lâmpada incandescente de 12 *V* e 40 *W*;
- 2 parafusos 5 *cm*;
- 1 *m* de fio de cobre de 2,5 *mm* de espessura (usado em fiação de residência);
- 2 *m* de fio para se conectar o sistema à rede elétrica;
- 1 “plugue” (tomada macho) de 10 A;
- 1 soquete para a lâmpada;
- 7 *leds* (1 para cada amostra);
- 4 fios com pontas tipo “jacaré”;
- amostras com pelo menos 7cm de comprimento: couro, isopor, grafite, batata, cenoura, salsicha, fio de cobre encapado e extremidades livres;
- 1 fonte de 12 *V*, 5 A;
- 1 alicate de corte;
- 1 chave de fenda equivalente aos parafusos de fixação da fonte;
- 1 multímetro;
- 1 martelo ou chave de fenda ou chave Philips.

I.1.2 Investimento dos Principais Materiais

Na Tabela I.1 estão apresentados os valores do investimento e a data de aquisição dos materiais, principais elementos utilizados na versão “mini” do aparato experimental versão 12 volts.

Tabela I.1 – Tabela do investimento dos principais elementos para a construção do aparato com uma fonte de 12 *V*

MATERIAIS	VALOR	AQUISIÇÃO
Fonte 12 <i>V</i> e 5 A	R\$ 50,00	03/08/2021
Lâmpada 12 <i>V</i> e 40 <i>W</i>	R\$ 10,00	03/08/2021
Soquete da lâmpada	R\$ 2,00	03/08/2021
Fios elétricos 2,5mm	R\$ 1,00 o metro	03/08/2021
Fios elétricos com jacarés	R\$ 2,50 unidade	03/08/2021

Fonte: o autor, 2021.

I.1.3 Montagem Experimental

Como já informado no Capítulo 2 deste trabalho, Figura 2.9, lembra-se que o aparato experimental trata-se de um circuito elétrico, uma ligação em série, para ser montado de forma que seja possível se entender, de maneira simples, o seu funcionamento.

I.1.3.1 - Passo a passo da montagem

1. Fixe os fios de cobre na entrada e saída da fonte. Na extremidade de entrada da fonte de tensão, deve-se conectar a uma tomada tipo macho de 10 A.
2. Conecte os fios elétricos de 2,5 mm de espessura em seus terminais de entrada 127 V e de saída 12 V
3. Fixa-se a fonte à base de madeira.
4. Fixe os parafusos a 5 cm um do outro na base de madeira, com as pontas dos fios elétricos descascadas e enroladas aos parafusos.
5. Conecte os fios elétricos aos terminais do soquete da lâmpada.
6. Conecte à tomada ao plugue macho.

Passos 3 a 5 – O fio de saída 12 volts é ligado ao soquete da lâmpada; do outro terminal do soquete sai outro fio e é deixada uma ponta descascada presa a um parafuso metálico (substituirá um dos garfos). Fixam-se o soquete e o parafuso na base de madeira. A uns 5cm, repete-se essa passagem, fixando-se outra ponta de saída do fio elétrico da fonte de tensão a mais um parafuso metálico (lado do outro garfo), fixando-o na base de madeira.

Conforme ilustrado na Figura I.2, sobre uma base de madeira (1), fixe a fonte e os parafusos (2), formando-se um circuito simples, sem série, contendo uma entrada para tensão (tomada) (3) e uma lâmpada (4); fixam-se também os parafusos (5) próximos um do outro, a fim de se facilitar o contato com os materiais (exemplo 7cm de salsicha com um *led* espetado no mesmo), fechando-se o circuito.

O multímetro será utilizado para se verificar quanto de tensão e corrente está atravessando cada elemento do circuito, principalmente pela amostra, bem como se averiguar a resistência de cada material.

Figura I.2 – Foto do aparato experimental: (1) plugue a ser conectado na tomada externa; (2) fonte 12 volts; (3) local onde será colocada a amostra; (4) fio; (5) lâmpada no soquete; (6) base de fixação de madeira



Fonte: arquivos dos autores, 2021.

I.2 Resultados Preliminares e Análise

Utilizando-se amostras do tamanho normal às usadas no aparato experimental de 127 V, nesse miniaparato, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura I.3: do (a) grafite, (b) do fio de cobre e (c) da salsicha. O que se observou: no caso do grafite, a intensidade luminosa da lâmpada foi bem menor em comparação a quando se utilizou a ddp de 127 V, e o multímetro acusou uma tensão de 7,92 V (Figura I.3(a)). No caso do fio de cobre, a intensidade foi reprodutível, com 11 V, Figura I.3 (b). No caso da salsicha, a lâmpada não acendeu, mas o multímetro acusou, perto dos parafusos, 12,61 V, onde essa amostra estava espetada (Figura

I.3(c). Quando se colocou um *led* na salsicha, observou-se que o mesmo “acendeu” (Figura I.3(d)).

Figura I.3 – Imagens fotográficas com as amostras: (a) fio de cobre, (b) grafite, (c) salsicha, sem e com o *led*



(a)



(b)



(c)



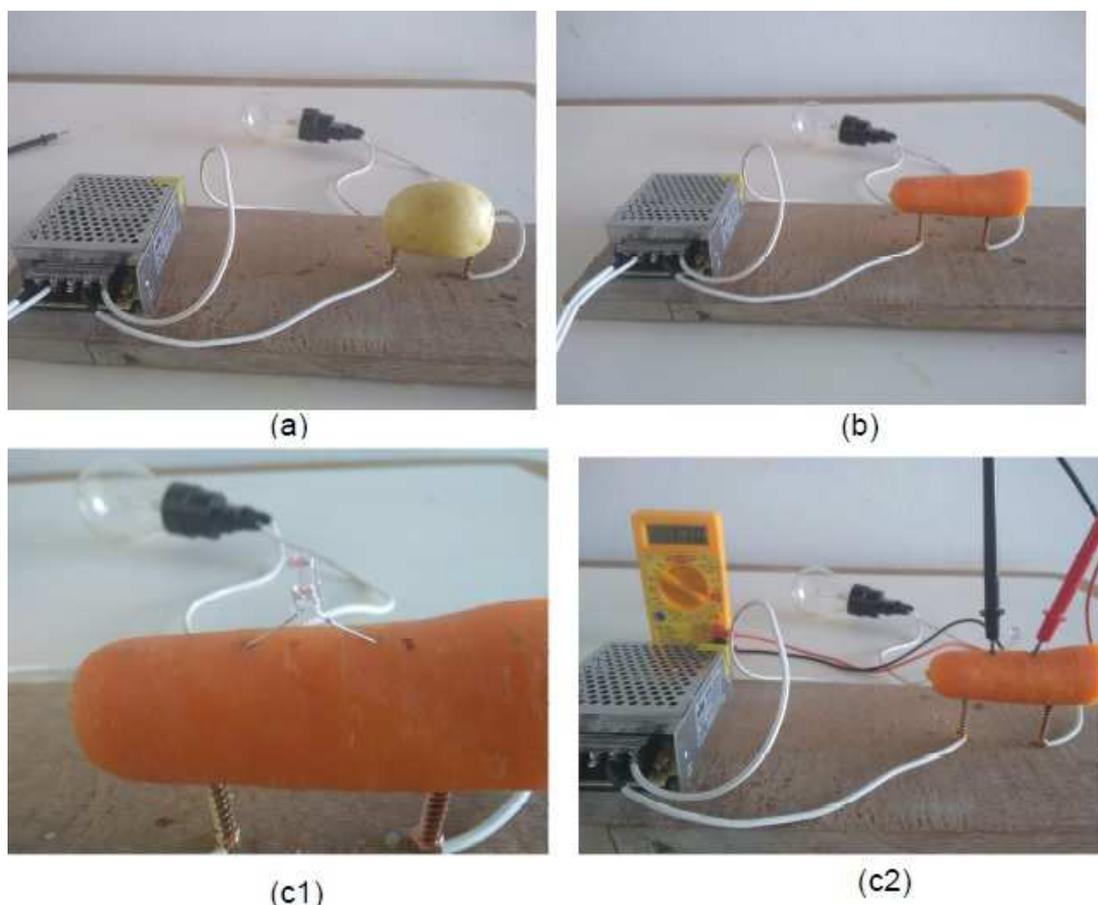
(d)

Fonte: arquivos do autor, 2021.

Posteriormente, passou-se a analisar os legumes, a batata e a cenoura, o resultado foi o apresentado na Figura I.4 (a) e (b), respectivamente. O que se observou foi que, com a batata assim, como no caso 127 V, a lâmpada inicialmente não acendeu (Figura I.4 (a)), e mesmo se espetando o *led*, no caso de 12 V, não acendeu (não registrado em imagem). No caso da cenoura, observou-se que a lâmpada não acendeu (Figura I.4(b)), mas, ao se espetar o *led*, percebeu-se mínima iluminação (ampliando-se a imagem da Figura I.4 (c), é possível se observar), confirmado na Figura I.4 (d), em que se observa no multímetro uma

tensão de 1,7 V. As ponteiros foram inseridas próximo aos pontos onde o *led* está fixado na cenoura.

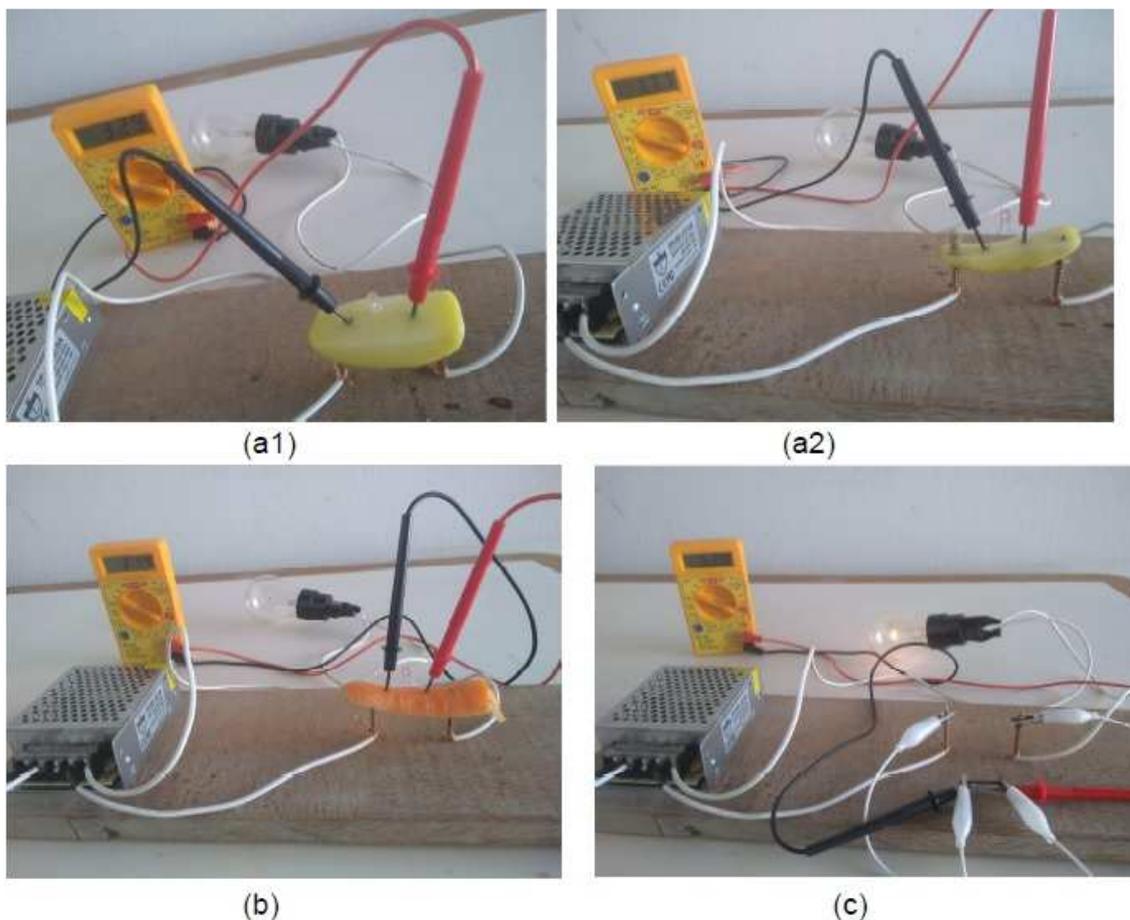
Figura I.4 – Imagens fotográficas com as amostras: (a) batata, a lâmpada não acende, e nem (b) com a cenoura; (c1) a cenoura com *led*, pequena luminosidade. e (c2) cenoura tensão de 1,7 V



Fonte: arquivos dos autores, 2021.

Posteriormente a essa análise, resolveu-se reduzir o tamanho das amostras. Na Figura I.5, está uma sequência de registros. Diminuindo-se o tamanho da batata, (a1) a tensão registrada foi de 3,29 V, e, diminuindo-se ainda mais (a2), foi de 1,77 V, mas não é perceptível quanto à intensidade de luminosidade no *led*. No caso da cenoura, a tensão registrada foi de 3,19 V e a intensidade no *led* foi maior do que a da Figura I.3(c) com uma tensão de 1,70 V. No caso de um pedaço menor de grafite, percebeu-se que a intensidade da luz na lâmpada aumentou e a tensão registrada foi de 5,20 V, comparado com o resultado da Figura A1.3 (a), em que a intensidade foi baixa e a tensão foi de 7,42 V.

Figura I.5 – Imagens fotográficas com as amostras, (a1) e (a2) batata, (b) cenoura, e (c) grafite.



Fonte: arquivo dos autores, 2021.

Resumindo os resultados comparados quanto ao uso das ddps de 127 V e 12 V.

Na tensão de 127 V:

- a lâmpada acendeu no caso da salsicha (50,8 V) e o *led* também (65,7 V), aqui a lâmpada continuou acesa;
- com batata (sem medida de tensão) e cenoura (1,4 V), somente o *led* acendeu;
- com o fio de cobre (124,8 V) e com o grafite (109,8 V), a lâmpada acendeu.

Na tensão de 12 V:

- A lâmpada **não acendeu** no caso da salsicha (mas o multímetro acusou estar com uma ddp de 12,61 *V* na salsicha) e, espetando-se o *led*, o mesmo acendeu;
- Com a batata, a lâmpada e o *led* não acenderam com a batata inteira. E, quando se adotou pedaços menores de batata 7 *cm* de comprimento mas larguras menores, a lâmpada continuou apagada, mas o *led* acendeu quando a espessura foi menor; a ddp medida na largura dos pontos de fixação do *led* na batata foi menor (1,77 *V*) para o pedaço maior, comparado com o pedaço de espessura menor (3,29 *V*);
- No caso da cenoura, nem lâmpada nem *led* acenderam para uma parte da cenoura de diâmetro maior; ao se cortar a cenoura em uma fatia menor com comprimento de 7 *cm*, a tensão medida foi de (3,19 *V*), somente o *led* acendeu;
- Com o fio de cobre (11 *V*), a lâmpada acendeu com uma luminosidade intensa, e, com o grafite (7,92 *V*), a lâmpada acendeu fracamente. Diminuindo-se o comprimento do grafite para 7*cm*, a luminosidade na lâmpada aumentou e, no multímetro, foi acusada uma tensão de 5,20 *V*.

I.3 – Conclusões preliminares

Observa-se, assim, que ainda há alguns estudos a serem feitos em relação aos tamanhos das amostras e que a versão “mini” de 12 *V*, comparada com a versão 127 *V* utilizada neste trabalho, proporcionou os mesmos resultados com as mesmas amostras em termos de verificação se conduz ou não conduz, porém apresentou uma grande diferença no comportamento da lâmpada 12 *V* e 40 *W* que apenas acende, quando utilizadas as amostras de grafite e fio de cobre. Com as outras amostras, a lâmpada não acende mesmo quando se utiliza a salsicha como amostra.

Assim, a verificação da amostra para se saber se conduz ou não conduz ficou com a utilização do LED acoplado na própria amostra: se o LED acende, a amostra conduz. Verificou-se que, com o *led*, reproduz-se o resultado obtido quanto ao

conduz não conduz. Observa-se que a largura da posição das hastes do *led* foi mantida, em todas as amostras.

Verificou-se, também, além da luminosidade da lâmpada, que não haverá a parte aromática da salsicha fritando.

Conclui-se assim, de forma preliminar, que o aparato experimental usando uma fonte de 12 V se mostrou bastante eficiente, pois os alunos podem eles mesmos, fazerem a montagem e, depois, manusearem, ambos com a supervisão docente. Deve-se realizar o jogo conduz ou não conduz por meio do *led*. Além de explorar o uso do multímetro, o circuito em série, promove-se a análise, na salsicha, sobre potencial, superfície equipotencial, ddp, resistividade (2^{a} lei de Ohm). No caso da salsicha, não foi possível se observar o efeito Joule no tempo de execução do experimento.

Referências Bibliográficas

Martins, R. S. (2021). CONDUZ OU NÃO CONDUZ? UMA FORMA LÚDICA DE INCENTIVAR O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA ELETRODINÂMICA, Apêndice A - Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Departamento de Física – Universidade Estadual de Maringá. A ser disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>.

Apêndice II – Informações complementares

II.1 – Testes com outras lâmpadas.

Testes com diferentes lâmpadas

Lâmpada incandescente

Potencia 100 W

Tensão 127 V

$$R = U^2/P$$

$$R = 127^2/100$$

$$R = 161 \text{ Ohms}$$

$$U = R \cdot i$$

$$i = 0,79 \text{ A}$$

Tensão medida nos pontos de contato (garfo/salsicha).

$$U = 69 \text{ V}$$

Nos terminais da lâmpada

$$U = 57 \text{ V}$$

Totalizando 126 V, tensão da tomada.



Maior brilho

Lâmpada LED

Potencia 12 W

Tensão 127 V

$$R = U^2/P$$

$$R = 127^2/12$$

$$R = 1344 \text{ Ohms}$$

$$U = R \cdot i$$

$$i = 0,094 \text{ A}$$

Tensão medida nos pontos de contato (garfo/salsicha).

$$U = 15 \text{ V}$$

Nos terminais da lâmpada

$$U = 110 \text{ V}$$

Totalizando 125 V, tensão da tomada.



Menor brilho

Lâmpada fluorescente

Potencia 20 W

Tensão 127 V

$$R = U^2/P$$

$$R = 127^2/20$$

$$R = 806 \text{ Ohms}$$

$$U = R \cdot i$$

$$i = 0,157 \text{ A}$$

Tensão medida nos pontos de contato (garfo/salsicha).

$$U = 18 \text{ V}$$

Nos terminais da lâmpada

$$U = 108 \text{ V}$$

Totalizando 126 V, tensão da tomada.



Brilho um pouco maior que no LED

Fonte: arquivos do autor, 2021.

II.2 - Efeitos da corrente elétrica

Efeitos observados, quando ocorre a passagem de uma corrente elétrica em organismos vivos, denominados de “choque” elétrico, provocam contrações musculares podendo danificar o coração e até levar à morte.

Essa passagem de corrente elétrica pode ocorrer de diversas formas, como, por exemplo, mexer em rede elétrica sem equipamentos de segurança (EPIs) apropriados e/ou por acidente.

Um dos casos mais comuns é uma criança ou alguém colocar o(s) dedo(s) ou inserir um material metálico nos orifícios de uma tomada. A intensidade de corrente elétrica sobre o corpo humano produz efeitos diferenciados. Nesse sentido, corrente com valor em torno de 1 mA produz “cócegas” ou formigamento leve. Com corrente em torno de 10 mA , um ser humano pode perder o controle muscular, não conseguindo, inclusive, abrir as mãos. Em razão disso, recomenda-se não se dar as mãos a uma pessoa que está levando um choque, pois, além de se sofrer o choque, as contrações musculares impedem que as mãos se soltem (RAMALHO et al., 1977).

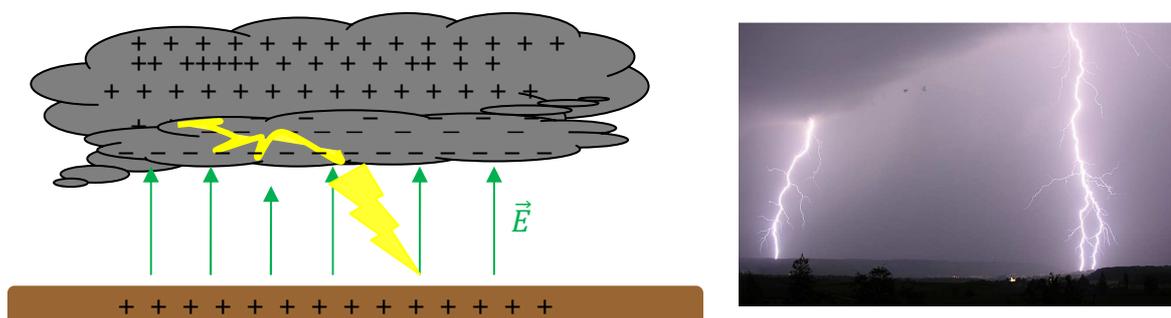
Correntes com intensidade entre 10 mA e 3 A podem ser fatais ao ser humano. Nessa situação, ocorrem alterações da frequência cardíaca ocasionando interrupções do bombeamento sanguíneo responsável pela oxigenação do organismo. Correntes mais elevadas podem paralisar o coração (RAMALHO et al., 1977). Lembre-se que 1 mA equivale a $0,001\text{ A}$.

O ar é um condutor ou isolante? Ele é um bom dielétrico (isolante), mas, sob uma tensão elétrica de $3\frac{\text{M}}{\text{m}}$, torna-se um condutor. Esse valor máximo do campo elétrico em que os isolantes passam a se comportar como condutores, formando corrente elétrica, dependendo do material e de sua espessura, é denominada de rigidez dielétrica. No caso da borracha, o valor é de 12 MV/m , o papel, 16 MV/m e o teflon^{@41}, 80 MV/m .

41 Teflon nome comercial do elemento químico politetrafluoretileno (PTFE), $C_nF_{2n=2}$, substância inerte que não age com outros elementos químicos. Descoberto em 1938 por Roy J. Plunkett (funcionário da empresa *DuPont*). Patenteado em 1945 pela empresa *DuPont* em parceria com a *General Motors*. Por resistir a altas temperaturas (ponto de fusão 327°) foi proposto, em 1954, pelo engenheiro francês Marc Grégoire para ser utilizado como camada antiaderente em panelas. Atualmente além de ser utilizado em utensílios domésticos, é

Fenômenos naturais interessantes são as descargas elétricas, conhecidas como raios, que ocorrem quando há ruptura da rigidez dielétrica. As moléculas de ar são ionizadas quando a parte do solo abaixo da nuvem tem uma distribuição de cargas positivas de mesma intensidade à das cargas negativas da nuvem, e gera um campo elétrico intenso na região de ar entre as nuvens e o solo⁴² (Figura All.2(a)). Esse campo elétrico intenso em um meio dielétrico gasoso provoca a liberação de elétrons (elétrons livres) das camadas mais externas dos átomos, o que causa a descarga elétrica. Esse processo somente ocorre após acontecer a ruptura da rigidez dielétrica do meio, como visto no ar 3 MV/m (DA SILVA, 2016). Durante esse processo de descarga elétrica, os elétrons livres são liberados das moléculas de ar e capturados por moléculas ionizadas emitindo luz, que são os relâmpagos (clarão observado – o efeito visual – Figura All.2(b)).

Figura All.2 – (a) Imagem ilustrativa Raios na atmosfera - efeito de ruptura dielétrica no ar – Campo elétrico \vec{E} induzido formado entre o solo e a nuvem, tornando o ar condutor. (b) Registro fotográfico de raios (descargas elétricas na atmosfera) e de relâmpagos (luminosidade).



Fonte: (a) H. Mukai e adaptada de da Silva, (2016). (b) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Trov%C3%A3o>

O movimento das cargas elétricas na atmosfera gera uma corrente elétrica de grande intensidade, que é liberada em forma da descarga elétrica (raios ou relâmpagos), rompendo e aquecendo o ar ao longo do percurso por efeito Joule de forma brusca, provocando uma rápida dilatação no ar, produzindo assim uma alta pressão (em torno de dez vezes a pressão atmosférica) que são eliminadas em forma de ondas sonoras conhecidas como trovões. Ainda em relação às ondas

utilizado em próteses (na área da saúde), colete a prova de balas e retardante de chamas (na área de segurança).
Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Politetrafluoretileno>.

⁴²Podem ainda ocorrer entre nuvens, e entre as nuvens e estratosfera.

sonoras, o som até chegar aos ouvidos, possui a interferência dos fenômenos de difração e reflexão quando elas se chocam com os meios materiais da localização, próximo a descarga excede $120 \text{ dB}(A)$.

Em certos casos, organismos vivos podem ser levados à morte quando são atingidos por raios. Uma maneira de se minimizar os efeitos dos raios, quando se está em um espaço aberto e desprotegido, é diminuir a *diferença de potencial, sentando-se ao solo e posicionando e mantendo os dois pés os mais próximos possíveis.*

Como citado no Capítulo 2, segundo o INPE⁴³, a intensidade típica da corrente de um raio é de $30 \times 10^3 A$, cerca de 1.000 vezes a de um chuveiro elétrico. E a descarga que percorre distâncias da ordem de 5 Km causa muitas mortes por raios tanto de humanos e principalmente de animais como bovinos em pastos, que são frequentemente veiculadas em noticiários. Assim, a importância do uso de para-raios, pois esses atraem os raios e os descarregam diretamente no solo.

Quando os raios atingem veículos, ocorre a conhecida Gaiola de Faraday. Ela foi proposta, em 1843, por Michel Faraday, e era uma sala revestida com folhas metálicas, que permitia se receber altas descargas de tensão de um gerador. Faraday observou, utilizando um eletroscópio, que não havia carga elétrica no interior dessa sala, mas somente nas paredes revestidas por folhas metálicas. Esse efeito pode ser observado no vídeo disponível no link: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/transcoded/3/30/Faraday_cage_-_FISL_14_-_2013-07-03.ogv/Faraday_cage_-_FISL_14_-_2013-07-03.ogv.240p.webm, de autoria de Eugenio Hansen, OFS, 2013, em que uma pessoa dentro da sala condutora, submetida a uma descarga elétrica de alta tensão, não sofre nenhum dano.

Fisicamente o que ocorre é que a superfície condutora (folhas metálicas), quando eletricamente carregada, gera um efeito de repulsão das cargas, conduzindo-as homoganeamente para o envolto da superfície condutora, tornando nulo o efeito do campo elétrico no seu interior e impedindo as descargas elétricas no interior do condutor (no caso do exemplo anterior, dentro da sala).

⁴³Fonte: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>. Acesso: 27/05/2021.

O efeito da Gaiola de Faraday é o que protege as pessoas dentro de um carro quando um raio o atinge. O depoimento de um casal que saiu ileso de um raio que atingiu o carro em que estavam pode ser visto no vídeo disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=y6Krr4TazMg&t=34s>; também há um texto que descreve o ocorrido, disponível em: <https://tecnoblog.net/meiobit/289461/raio-cai-em-caminhonete-e-camera-de-seguranca-registra-tudo/>.

Na Figura All.3 apresentam-se uma foto de uma Gaiola de Faraday, (a) com uma pessoa no seu interior e, na imagem (b), um carro em que uma descarga elétrica após percorrer a sua lataria, elimina-a no solo. Mesmo a borracha do pneu sendo um isolante, a descarga é tão alta que vence a ruptura da rigidez dielétrica, que, no caso da borracha, é de $12 \frac{MV}{m}$, portanto, passa a ser condutor de eletricidade⁴⁴. Em destaque, as descargas circuladas em vermelho.

Figura II.3 – Imagem fotográfica: (a) de uma pessoa dentro de uma gaiola de Faraday e em (b) um carro (fusca) cuja lataria funciona como uma gaiola de Faraday



(a)



(b)

Fontes: (a) https://pt.wikipedia.org/wiki/Gaiola_de_Faraday (b) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Faraday_cage.jpg

O processo da Gaiola de Faraday se denomina blindagem eletrostática e é uma proteção contra descargas elétricas, tendo, assim, grande importância, no caso do raio que atingiu o carro, como já citado, ou mesmo quando um avião é atingido por um raio e nada ocorre aos passageiros. Também é utilizada como bloqueadores do sinal de celulares em presídios.

Este último é um experimento simples de ser verificado com os alunos: envolva uma caixa pequena que tenha tampa com papel alumínio e coloque dentro

⁴⁴ Uma referência com mais detalhes e exemplos sobre a blindagem eletrostática está disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/dieletricos.htm#:~:text=A%20ruptura%20da%20rigidez%20diel%C3%A9trica%20ocorre%20quando%20o,a%20ser%20conduzidos%20atrav%C3%A9s%20da%20sua%20rede%20cristalina.>

o seu celular ligado e feche a tampa. Ligue de outro aparelho telefônico e observe que o sinal em seu celular foi bloqueado. Provavelmente do aparelho de onde está sendo feita a ligação, ouvirá a mensagem de celular desligado ou fora da área de serviço. Outra opção é usar o rádio do celular e verá que o som é bloqueado.

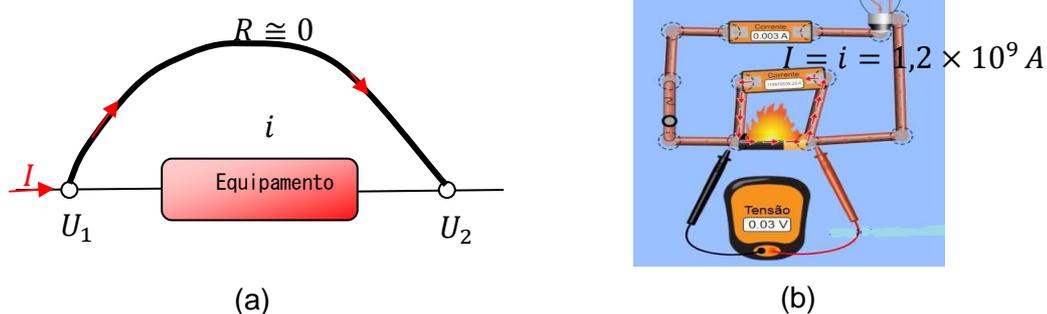
II.3 – CURTO CIRCUITO

Ainda em relação a circuitos elétricos, uma frase comumente ouvida, quando se trata de manuseios de equipamentos elétricos, é “cuidado para não causar um curto circuito!” ou, em situações em que, ao se ligar um aparelho que possui um circuito elétrico com um material condutor, o aparelho não funciona. **Mas, o que vem a ser um curto circuito?** (RAMALHO et al., 1977).

Um curto circuito ocorre quando um condutor, de resistência desprezível, é ligado, em paralelo, entre dois pontos de um circuito elétrico (Figura II,4 (a)).

Na maioria das vezes, no momento do curto circuito, como a corrente sofre uma brusca elevação, em razão da baixa resistência no condutor, a tensão se eleva muito rápido, dissipando calor, o que provoca explosão (danificando o equipamento ou dispositivo eletrônico) e/ou até incêndio (Figura II.4(b)).

Figura II.4 – Desenho esquemático indicando (a) um equipamento em curto circuito causado por um condutor de resistência desprezível. (b) Simulação de um curto circuito, tensão inicial de 120 V.



Fonte: (a) adaptado da referência, 1977; (b) https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_pt_BR.html

Em termos da Lei de Ohm (Eq. (2.8)), no material condutor

$$U_1 - U_2 = Ri \cong 0 \Rightarrow U_1 \cong U_2,$$

ou seja, estará praticamente sobre o mesmo potencial. A corrente I continuará a circular passando pelo condutor e $I = i$ deixando de passar pelo equipamento de forma que este deixa de funcionar. Esse fato é como se o circuito ficasse mais curto, por isso leva esse nome.

II 4 – USINAS de ENERGIA ELÉTRICA

Todo o conteúdo apresentado torna-se mais interessante se souber de onde vem a energia elétrica. Assim, a seguir, serão apresentadas as fontes “geradoras” de energia elétrica mais conhecidas.

Hidroelétrica ou Hidrelétrica: proveniente da pressão da água que, ao atingir as turbinas (formada de pás) presas em um eixo, aciona o gerador da usina. Na Física, a Energia Mecânica é constituída de energia cinética mais a energia potencial ($E_m = E_c + E_p$), e a energia cinética podem ser de translação e/ou rotação. Considerando-se que a água canalizada no alto da barragem possui energia potencial (gravitacional, devido à altura da barragem) bem maior do que a energia cinética da água em movimento, essa energia potencial se transforma totalmente em cinética de translação, na parte mais baixa da barreira, aumentando a velocidade da água que, ao impactar com as pás da turbina, realizará um trabalho mecânico; este está relacionado com a energia cinética de rotação do eixo que, por sua vez, está conectada à bobina do gerador, que gera a energia elétrica.

O funcionamento do gerador é baseado na Lei de Indução eletromagnética de Faraday. No caso, é a bobina que gira dentro de um campo magnético provocando um fluxo de campo magnético variável, e a ddp produzida se alterna “gerando” uma corrente alternada.

Exemplo dessa usina é a de Itaipu⁴⁵ Binacional (Figura II.5 (a)), situada em Foz do Iguaçu – PR, que usa queda de água. E a usina a fio d’água de Rosana, situada em Primavera (distrito do município de Rosana) - SP, divisa com Diamante do Norte – PR, que usa a água do rio Paraná (Figura II.5(b)).

⁴⁵Do tupi-guarani que significa “Pedra que canta”, junção de Itá=pedra, y=água, pú=som, barulho.

Figura II.5– Imagem fotográfica da barragem da Usina de (a) Itaipu Binacional – Foz do Iguaçu – PR, e (b) Usina a fio d’água de Rosana-SP (divisa com Diamante do Norte – PR)



Fonte:(a)https://pt.wikipedia.org/wiki/Usina_Hidrel%C3%A9trica_de_Itaipu; (b)
<https://www.memoriadaeletricidade.com.br/acervo/1241/aspectos-da-construcao-da-usina-hidreletrica-rosana>

Um vídeo que apresenta o uso de energia elétrica no cotidiano e apresenta o funcionamento de uma hidrelétrica está disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=kpcOeHcyRIU>.

- **Eólica** – proveniente da “força” dos ventos, que giram uma hélice (Figura II.6 (a)) análoga às turbinas, denominado de rotor, que está acoplado a um gerador. Logo, também transforma energia mecânica em elétrica.

Figura II.6 – (a) Imagem fotográfica (a) do Parque Eólico situado em Palmas – PR, e (b) da termoeletrica situada em Juiz de Fora – SP.



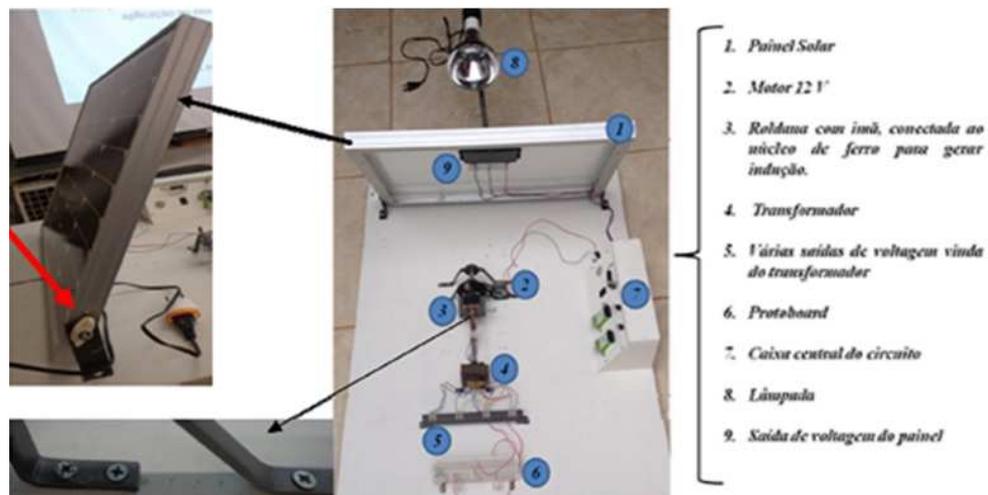
Fonte: (a) Herr Stahlhoefer- https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica_no_Brasil e (b) wikipedia<https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_termel%C3%A9trica_no_Brasil>

- **Termoeletricas:** são as usinas movidas por resíduos orgânicos como bagaço de cana ou qualquer material que possa liberar energia em forma de calor, como: madeira, óleos, gás natural, entre outros, Figura II.6(b). Quando se

entra na bandeira vermelha (bandeira tarifaria), normalmente é essa a usina que gera energia elétrica.

- **Solar** – incidência dos raios solares sobre uma placa solar, constituída de células fotovoltaicas, transformando a energia solar em energia elétrica. Uma referência para a compreensão de seu funcionamento fica como sugestão a referência (Astrath, 2015), que versa sobre: “Princípios sobre uma usina fotovoltaica: uma aplicação ao ensino médio” (Figura II.7). Esse tipo de fonte de energia elétrica também poderia ser explorado no questionário do PE.

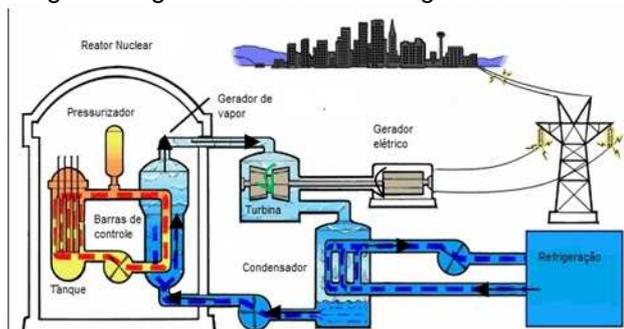
Figura II.7 - Imagem fotográfica do aparato experimental utilizando uma placa fotovoltaica (painel solar).



Fonte: Astrath, 2015.

- **Nuclear** – energia liberada por meio de uma reação nuclear, mais precisamente uma fissão do núcleo do átomo de Urânio enriquecido. Isso provoca o aquecimento que transforma a água da caldeira em vapor, que movimenta uma turbina e esta, o gerador de eletricidade (Figura II.8 (a)). Exemplo de usina nuclear é a de Angra dos Reis – SP (Figura II.8 (b)).

Figura II.8 - (a) Desenho esquemático de uma Usina Nuclear gerando energia elétrica, e (b) imagem fotográfica da Usina de Angra dos Reis – RJ.



(a)



(b)

Fonte: (a) Masili e Esteves, <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/nuclear/nuclear.ht>
(b) https://pt.wikipedia.org/wiki/Central_Nuclear_Almirante_Ivaro_Alberto

Referências Bibliográficas

Astrath, E. A. C. (2015). Princípios de uma usina fotovoltaica: uma aplicação ao ensino médio. Dissertação, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>. Acesso em: 08/04/2021.

da Silva, R. G. 2016. Avaliação do Efeito de Ruptura a meio de vão no desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas. Trabalho de Conclusão de curso – Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Ramalho Jr, F; Ivan J., C.S.; Nicolau, G. F.; e Toledo S., P. A. . (1977) - Os Fundamentos da Física - Vol. 3 - Eletricidade e Física Moderna, 1ª. edição - Ed. Moderna. São Paulo.

Martins, R. S. (2021). CONDUZ OU NÃO CONDUZ? UMA FORMA LÚDICA DE INCENTIVAR O PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA ELETRODINÂMICA, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Departamento de Física – Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/57>>.

APÊNDICE III – Questionários

O Questionário 1 é sugerido aplicar na primeira aula e na última aula das 10 aulas propostas. O Questionário 2 é uma sugestão que indica que houve aprendizagem significativa, se no sistema remoto coloque como um *quiz* no Kahoot (<https://kahoot.com/>).

Questionário 1

Local: _____, data: ____/____/____

Nome: _____, nº _____

Caro(a) aluno (a), a atividade a seguir deve ser realizada individualmente, não é permitido o uso de aparelhos celulares, tablet e similares. Você deve se basear nos conteúdos abordados em sala de aula, em situações cotidianas que envolvem a física e no jogo conduz ou não conduz.

- 1- Explique como ocorre a produção de energia elétrica em uma usina hidrelétrica.

- 2- Defina corrente elétrica.

- 3- Explique o que é diferença de potencial elétrico.

- 4- Explique o que é tensão elétrica.

- 5- Pontue a diferença entre materiais condutores e isolantes.

- 6- Explique o que são resistores elétricos.

Questionário 2

Local: _____, data: ____/____/____

Nome: _____, nº _____

Caro(a) aluno (a), a atividade a seguir deve ser realizada individualmente, não é permitido o uso de aparelhos celulares, tablet e similares, você deve se basear nos conteúdos abordados em sala de aula, em situações cotidianas que envolvem a física e no jogo conduz ou não conduz.

Todas as questões apresentam apenas uma alternativa correta.

1- Energia elétrica e corrente elétrica são a mesma coisa?

- a) Sim
- b) Não

2- Assinale a alternativa que está relacionada à correta forma de produção de energia elétrica.

- a) Energia elétrica está baseada na geração de diferenças de potencial elétrico.
- b) Energia elétrica está baseada em calor gerado por aquecimento de um resistor.
- c) Energia elétrica é concedida por uma fonte por certo intervalo de tempo.

3- Assinale a alternativa que responde corretamente à questão: como podemos explicar o que é corrente elétrica?

- a) É a liberação de elétrons entre objetos que possuem cargas opostas.
- b) É a passagem de cargas elétricas positivas para condutores que se encontram neutros.
- c) É um fluxo ordenado de elétrons que circula por um material quando entre suas extremidades, houver uma diferença de potencial elétrico.

4- Assinale a alternativa correta a respeito de condutores e isolantes.

- a) Materiais que são isolantes elétricos possuem alta condutividade elétrica.
- b) Condutores são responsáveis pela passagem e transporte de corrente elétrica através dos materiais. Isolantes não permitem passagem de corrente elétrica.

c) Somente os isolantes podem conduzir eletricidade. Materiais como borracha ou plástico conduzem eletricidade.

5-Assinale a alternativa que responde corretamente à questão: o que são resistores elétricos?

a) São componentes que não possuem elétrons livres em sua composição, tornando-se, assim, isolantes.

b) São componentes mecânicos que, quando ligados, permitem a passagem de corrente elétrica.

c) São componentes de circuitos elétricos que possuem a finalidade de limitar a passagem de corrente elétrica ou gerar calor.

6- Assinale a alternativa em que todos os materiais são condutores.

a) Alumínio, cobre e salsicha.

b) Alumínio, isopor e cobre.

c) Cobre, grafite e couro.