

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
MNPEF

Emely Giron dos Santos

Uma Abordagem Histórica e Experimental sobre Eletricidade no Ensino
Fundamental e Médio

Juiz de Fora
2018

Emely Giron dos Santos

Uma Abordagem Histórica e Experimental sobre Eletricidade no Ensino
Fundamental e Médio

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Professor Doutor André Koch Torres de Assis

Juiz de Fora
Março de 2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santos, Emely Giron dos .

Uma Abordagem Histórica e Experimental sobre Eletricidade no Ensino Fundamental e Médio / Emely Giron dos Santos. -- 2018. 98 f. : il.

Orientador: André Koch Torres de Assis

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.

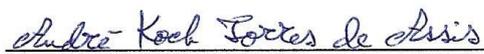
1. Ensino de Física. 2. Eletricidade. 3. Kit didático. 4. Material de baixo custo. I. Assis, André Koch Torres de, orient. II. Título.

Emely Giron dos Santos

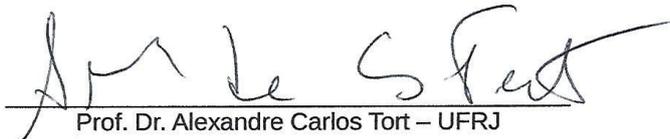
UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E EXPERIMENTAL SOBRE
ELETRICIDADE NO ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 24: Universidade Federal de Juiz de Fora e Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 18 de maio de 2018 por:



Prof. Dr. André Koch Torres de Assis – Orientador



Prof. Dr. Alexandre Carlos Tort – UFRJ



Prof. Dr. Thales Costa Soares – IF – Sudeste, MG

Juiz de Fora, MG
Maio de 2018

Dedicatória

Dedico esta dissertação à minha mãe Laurinda e ao meu pai José Carlos.
Vencemos!!!!

Agradecimentos

A Deus, em primeiro lugar, pela vida e por não me deixar perder a fé durante esses anos de mestrado.

À minha mãezinha Maria, por ter sido meu amparo nas horas de desespero. “Acaso não sabeis que eu sou da Imaculada?”.

Aos meus pais por me apoiarem em todos os momentos, me manterem firme nos estudos e pelas vezes que não pude estar presente como queria. Sem os seus esforços não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador Professor André Koch Torres de Assis pela dedicação, pela paciência, pelos ensinamentos, pelas correções e por me ensinar a enxergar no simples as formas maravilhosas da Física. Meu muito obrigada.

Aos amigos que fiz durante o mestrado que me apoiaram e não me deixaram desistir. Os levarei pelo resto da vida.

À professora Giovana e aos professores Thales, Tagliati e Alisson pelas críticas e sugestões dadas durante as apresentações do projeto nos workshops.

Aos demais professores do polo que nos ensinaram muito mais que fórmulas e conceitos. Abriram nossos olhos para um mundo de grandes possibilidades e aprendizados.

A CAPES pela provisão da bolsa de mestrado.

A FAPEMIG pela taxa de bancada.

*“Não há nada que
Possa me impedir
De ser capaz
Ou ser forte o bastante
Errante é o passo que se limita ser raso”*

(Guilherme de Sá, Íngreme)

RESUMO

Uma Abordagem Histórica e Experimental sobre Eletricidade no Ensino Fundamental e Médio

Emely Giron dos Santos

Orientador:
Professor Doutor André Koch Torres de Assis

O presente trabalho tem por princípio básico o ensino de Eletricidade, especificamente o tema “Eletrostática”, através da atividade prática/experimental em sala de aula. Baseados nas principais ideias de Vygotsky, produzimos um *kit* didático utilizando materiais de baixo custo e de fácil acesso, observando o propósito de sua reprodução e aplicação pelos professores de Física e de Ciências no país, se assim o desejarem. Este *kit* didático contém material para construção de instrumentos com foco na realização de experiências que facilitem a aprendizagem de alguns tópicos como cargas elétricas de sinais diferentes, atração e repulsão elétrica, conservação de carga elétrica, estudo de condutores e isolantes, entre outros. A aplicação do produto efetuou-se em uma turma de 9º ano do Ensino Fundamental e em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de duas escolas do município de Juiz de Fora – MG durante as aulas de Física. Ao longo da aplicação, observamos o grande interesse dos estudantes em montar os instrumentos e participar das atividades por se diferenciar das aulas expositivas tradicionais. Outro benefício observado foi a melhor compreensão dos conteúdos trabalhados. Analisamos a aplicação do *kit*, os questionários e textos livres escritos pelos estudantes, bem como suas participações durante os experimentos em sala de aula. Com esta análise pudemos evidenciar que atividades práticas têm um papel muito importante no processo de aprendizagem do aluno por auxiliar na conexão entre a abstração de conceitos e os fenômenos vistos no decorrer da prática experimental. Os materiais que compõem o *kit* e a montagem dos instrumentos utilizados estão descritos no Capítulo 4, enquanto que os experimentos realizados estão relatados no Apêndice B desta dissertação. O projeto, de maneira geral, nos mostrou a importância em se buscar novas estratégias e metodologias que possam servir como suporte no ensino de Física e de Ciências, dando aos estudantes a oportunidade de testar fenômenos pouco observados.

Palavras-chave: Ensino de Física, Eletricidade, Kit didático, Material de baixo custo.

Juiz de Fora
Março de 2018

ABSTRACT

A Historical and Experimental Approach to Electricity in Elementary and High School

Emely Giron dos Santos

Supervisor:

Professor Doctor André Koch Torres de Assis

The present work has for basic principle the teaching of Electricity, specifically the theme “Electrostatics”, through practical/experimental activity at the classroom. Based in the main ideas of Vygotsky, we produced a didactic kit using materials which have low cost and easy access, aiming its reproduction and application by the teachers of Physics and Science in Brazil, if they wish. This didactic kit contains materials for the construction of instruments with focus on the realization of experiences which facilitate the learning of some topics such as electric charges of opposite signs, electric attraction and repulsion, conservation of electric charge, study of conductors and insulators, etc. The didactic kit was applied in a class of the ninth grade of an Elementary School and in a class of the third year of another High School in the city of Juiz de Fora – MG during the Physics classes. Through the application of the kit, we noticed the great interest of the students in assembling the instruments and participating in the activities, as it is different from the traditional expositive classes. Another benefit observed was the better understanding of the subject matter presented in the classroom. We analyzed the application of the kit, the questionnaires and free texts written by the students, together with their participation in the experiments during the classes. With this analysis we concluded that practical activities have a very important role in the learning process of the students as they help to establish the connection of the abstract concepts with the real phenomena observed during the experiments. The materials that compose the kit and the assembly of the instruments used are described in Chapter 4, while the experiments realized are described in Appendix B of this Masters dissertation. The project, in general, showed us the importance to search new strategies and methodologies which could serve as a support in the teaching of Physics and Science, giving the students the opportunity to test phenomena rarely observed.

Keywords: Physics Teaching, Electricity, Didactic kit, Low cost material.

Juiz de Fora
March of 2018

Sumário

Capítulo 1	Introdução.....	11
1.1	Objetivos da Dissertação.....	11
1.1.1	Objetivos Específicos.....	12
1.2	Organização da Dissertação.....	12
Capítulo 2	Referencial Teórico.....	14
2.1	Vygotsky.....	14
Capítulo 3	Física.....	18
3.1	Uma História sobre os Primórdios da Física.....	18
3.2	Cargas Elétricas.....	24
3.2.1	Eletrização por Atrito.....	25
3.2.2	Eletrização por Contato.....	26
3.2.3	Eletrização por Indução.....	26
3.3	Força Elétrica.....	28
3.4	Condutores e Isolantes.....	30
Capítulo 4	O Produto.....	33
4.1	O <i>Kit</i>	33
4.2	Metodologia.....	34
4.2.1	Suporte de Gesso.....	36
4.2.2	Eletroscópio.....	36
4.2.3	Pêndulo Elétrico.....	37
4.2.4	Versório Metálico.....	38
4.2.5	Versório de Du Fay.....	39
4.2.6	Plano de Prova de Coulomb.....	41
4.2.7	Tira Pendular Plástica.....	43
4.2.8	Circuito Elétrico Simples.....	45
Capítulo 5	Aplicação do Produto.....	46
•	1ª semana:.....	47
•	2ª semana:.....	48
•	3ª semana:.....	51
•	4ª semana:.....	53
•	5ª semana:.....	55
•	6ª semana:.....	57
•	7ª semana:.....	58
Capítulo 6	Resultados.....	59
6.1	Análise dos Questionários na Turma do 9º Ano do Ensino Fundamental.....	59
6.2	Análise dos Textos Livres na Turma do 9º Ano do Ensino Fundamental.....	67
6.3	Análise dos Questionários na Turma do 3º Ano do Ensino Médio.....	69
6.4	Análise dos Textos Livres na Turma do 3º Ano do Ensino Médio.....	77
Capítulo 7	Conclusão.....	80
	Referências Bibliográficas.....	83
	Apêndice A Questionário.....	85
	Questionário.....	86
	Apêndice B Sequência e Dinâmica das Aulas.....	87
	1º experimento.....	87
	2º experimento.....	87
	3º experimento.....	88
	4º experimento.....	88

5° experimento	88
6° experimento	89
7° experimento	90
8° experimento	91
9° experimento	91
10° experimento	91
11° experimento	92
12° experimento	92
13° experimento	94
14° experimento	94
15° experimento	95
16° experimento	96
17° experimento	97

Capítulo 1

Introdução

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. [...] Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver (BRASIL, 2002, p. 22).

Em quase uma década como docente, a necessidade pessoal de tornar o ensino de Física mais atraente aos olhos dos estudantes norteou meu desejo de aperfeiçoamento pessoal e profissional. Tentando melhorar a compreensão dos alunos, em alguns momentos procurei realizar experimentos com a intenção de despertar o anseio pelo conhecimento. Todavia, sem embasamento teórico em relação às metodologias de ensino, nem sempre obtive o resultado por mim esperado.

Com o desejo em meu coração de apurar minha dinâmica em sala de aula, me aventurei pelas estradas do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) para conhecer e desenvolver novos meios de ensinar, aspirando transmitir a visão de que a Física é mais do que apenas fórmulas e leis encerradas em um conhecimento acabado, tal como abordam alguns livros didáticos. Por esta perspectiva pragmática, em muitas ocasiões os estudantes são apenas agentes passivos em sua aprendizagem que é marcada por poucos momentos de interação aluno-professor. Assim, a prática de atividades educativas juntamente com os estudantes faz-se de grande valia para superar a apatia dos alunos em relação ao seu próprio aprendizado.

1.1 Objetivos da Dissertação

Baseada nas ideias de Vygotsky¹ e no livro *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade*², o objetivo deste trabalho é a construção de um *kit* didático com materiais de baixo custo e fácil acesso, com o intuito de possibilitar que todo e qualquer professor possa utilizá-lo em suas aulas. Este *kit*

¹ Conferir detalhes no Capítulo 2.

² ASSIS, 2011b.

didático é voltado para auxiliar a apresentação do conteúdo de eletrostática no Ensino Fundamental e Médio a partir de um enfoque experimental e histórico.

1.1.1 *Objetivos Específicos*

- Efetuar um levantamento de conceitos prévios dos estudantes sobre eletricidade, em especial, sobre o tema “condutores e isolantes”;
- Realizar experiências que facilitem a aprendizagem dos temas “cargas elétricas de sinais diferentes”, “atração e repulsão”, “conservação de carga elétrica”, “polarização elétrica”, “eletrização por atrito, contato e indução” e, principalmente, “condutores e isolantes”;
- Aplicar os experimentos do *kit* nas turmas do 9º ano do Ensino Fundamental e do 3º ano do Ensino Médio, abrangendo os temas propostos;
- Apresentar temas históricos relacionados com o ensino da eletricidade;
- Levantar discussões, ao final de cada aula, para reiterar os conceitos apresentados durante os experimentos;
- Presentear cada estudante com o *kit* experimental ao fim do trabalho;
- Avaliar a compreensão dos estudantes diante da metodologia proposta;
- Estimular nos estudantes uma postura crítica em relação ao ensino de Física e também em relação ao contexto sociocultural no qual estão inseridos.

1.2 **Organização da Dissertação**

Para alcançar os objetivos propostos, elaboramos um produto educacional e relatamos neste trabalho todo o seu desenvolvimento, desde os materiais necessários para sua realização até a aplicação do mesmo.

No Capítulo 2 apresentamos brevemente os tópicos da teoria pedagógica de Vygotsky, principal referencial teórico no qual se fundamenta a estrutura do produto, discorrendo sobre a aplicação da sua teoria pedagógica como base de nosso trabalho.

No Capítulo 3, intitulado *Física*, levantamos o aporte teórico e histórico dos conceitos presentes na aplicação do produto. Tais conceitos são conhecidos desde os tempos mais longínquos da história da ciência, mas não são explorados de forma totalmente satisfatória na maioria dos livros didáticos utilizados no Ensino Básico e, por conseguinte, são abordados equivocadamente por parte de alguns educadores.

No Capítulo 4 relatamos de forma clara e detalhada a elaboração do produto e a montagem dos *kits* didáticos entregues aos alunos, detalhando cada instrumento utilizado em sala de aula.

No Capítulo 5 descrevemos de forma detalhada um relato sobre a aplicação do produto nas turmas do 9º ano do Ensino Fundamental e do 3º ano do Ensino Médio do município Juiz de Fora. Apresentamos também alguns discursos feitos por alguns alunos que nos foram interessantes no decorrer dos experimentos. Foi aplicado um mesmo questionário (Apêndice A) antes da aplicação do produto e ao final do projeto.

O Capítulo 6 expõe a análise dos dados obtidos durante a aplicação do produto. Tais dados foram obtidos pela observação da participação dos alunos durante as experiências, pela análise do questionário inicial e final, assim como pelos textos livres escritos pelos alunos na conclusão da aplicação do produto.

Por fim, no Capítulo 7, apresentamos nossas conclusões e perspectivas de estudos futuros.

Ao final da dissertação encontram-se o Apêndice A, que contém o questionário utilizado em nossa aplicação, e o Apêndice B, onde estão descritos os experimentos realizados.

Capítulo 2

Referencial Teórico

Dentre os diversos pensadores estudados ao longo deste processo de formação acadêmica, baseamos esta dissertação nos conceitos desenvolvidos por Lev Vygotsky (1896 – 1934). Seus estudos são célebres na área da Pedagogia, nos quais destaca-se o conceito de “interações sociais” características do processo de aprendizagem. As interações transformam as relações entre os indivíduos e seu meio por ser uma influência constante na forma de ver o mundo, atuando cognitivamente pela associação de conceitos ao escopo de conhecimento prévio do sujeito.

2.1 Vygotsky

Lev Semenovitch Vygotsky foi um importante pensador na área da Pedagogia do século XX. Nascido em 5 de novembro de 1896 na antiga Bielorrússia, sua história foi marcada pelo momento histórico conturbado na região, que passava por uma das mais importantes transformações sociais que posteriormente culminaria na instauração do regime socialista. Apesar de se mudar diversas vezes com sua família, foi em território soviético que o autor viveu a maior parte de sua vida.

Segundo Gaspar (2014b), Vygotsky ingressou no curso de Medicina na Universidade de Moscou em 1913, uma das únicas alternativas de formação para pessoas de origem judia àquela época. Sem demora, transferiu-se para o curso de Direito na mesma universidade, ao mesmo tempo em que frequentava os cursos de História, Filosofia, Literatura, Arte e Psicologia. Em 1917, após concluir sua formação, Vygotsky começou a lecionar diversas disciplinas como, por exemplo, Psicologia, Literatura, Estética, Filosofia e Língua Russa.

Insatisfeito com os estudos de Psicologia da época, agregou ao tema seu interesse e compreensão sobre arte e pedagogia para levantar discussões sobre psicologia marxista (FREITAS, 2002). Destas discussões, Vygotsky recebeu em 1924 o convite para integrar o corpo de pesquisa do Instituto de Psicologia Experimental de Moscou onde realizou diversos estudos e escreveu diversos trabalhos na área de Psicologia. Mesmo com sua morte precoce, vítima de

tuberculose mal curada em 10 de junho de 1934, suas significativas contribuições são reconhecidas até hoje tanto na área de Psicologia quanto na área de Pedagogia.

Como estudioso, Vygotsky dedicou grande atenção à compreensão e descrição do desenvolvimento do indivíduo, observando a influência de fatores do meio externo e das interações sociais neste processo.

Conforme sua teoria socio-histórica, o cérebro humano possui uma formação básica sobre a qual se edificam as demais estruturas mentais. Portanto, não é necessário aguardar que certa estrutura intelectual se forme para que o aprendizado de um conceito aconteça. “Ao contrário, é o ensino desse conceito que desencadeia a formação das estruturas mentais necessárias à sua aprendizagem” (GASPAR, 2014b, p. 20).

Um dos conceitos-chave da teoria vygotskyana é a “zona de desenvolvimento proximal” que se refere à “distância” entre o desenvolvimento real e o desenvolvimento potencial do aluno. O desenvolvimento real pode ser compreendido como a capacidade de solucionar problemas de forma independente, sem a assistência de outro indivíduo. Já o desenvolvimento potencial é determinado pela capacidade de resolver problemas com o auxílio do mediador, entendido como um indivíduo mais capaz, tal como o professor. A função principal do mediador é colaborar para que haja a transição entre o desenvolvimento potencial e o desenvolvimento real. Segundo Vygotsky, a zona de desenvolvimento proximal determina as funções que estão em processo de maturação. Nas palavras do autor, “essas funções poderiam ser chamadas de ‘brotos’ ou ‘flores’ do desenvolvimento, ao invés de frutos do desenvolvimento” (VYGOTSKY, 1994, p. 113). Ou seja, a aprendizagem é seguida pelo desenvolvimento.

A aprendizagem não acontece de forma instantânea no momento em que os novos conceitos são expostos ao indivíduo. É necessário que esses conceitos sejam explorados e trabalhados de forma constante e em interação social através do mediador (neste caso, o professor) que é o parceiro mais capaz. A criança exerce sua capacidade de compreensão de forma independente através da imitação encontrada na atividade coletiva orientada e na qual a mesma é submetida pelo mediador (VIGOTSKII³, LURIA e LEONTIEV, 1998). Se for valorizada a zona de

³ Grafia pouco usual do nome do autor, encontrada em algumas traduções. Adotaremos nesta dissertação a grafia “Vygotsky” por ser a mais popular.

desenvolvimento proximal do estudante através de estímulos de suas potencialidades ao fazê-los exceder suas habilidades, seu aprendizado se desenvolverá de forma duradoura e natural.

De acordo com Gaspar (2014a), para que uma atividade experimental esteja de acordo com a teoria de Vygotsky pode-se estabelecer quatro indicações que a oriente. Tais indicações são: a viabilidade da atividade, a escolha do tipo de atividade mais pertinente para sua realização, a seleção dos conteúdos que serão apresentados por essas atividades experimentais e a compatibilidade de conteúdos com o tipo de atividade a ser realizada.

A viabilidade da realização da atividade experimental deve ser verificada a fim de que não haja falta de material ou falta de tempo por exemplo. É indispensável que o professor previamente faça um teste nas mesmas condições da aplicação.

Num experimento não é possível desprezar fatores ambientais, como temperatura, umidade, pressão atmosférica, vento, claridade e atrito, além das intercorrências da própria montagem – ajustes, adaptações e imprevistos. Todos esses fatores podem ser objeto de questionamentos que enriquecem a interação social. (GASPAR, 2014b, p. 25)

Ainda segundo Gaspar, todos os fatores apresentados acima devem ser considerados, pois nem sempre um experimento bem-sucedido em uma turma terá o mesmo sucesso em outra.

As atividades experimentais na perspectiva teórica de Vygotsky têm duas importantes vantagens em relação a outras práticas pedagógicas relativas à abordagem dos conteúdos, sendo as principais a possibilidade de seleção de experimentos que surpreendam os alunos e a priorização dos conteúdos cuja concretização é de maior utilidade. As atividades podem ser caracterizadas segundo seus meios, duração e objetivos. São consideradas uma demonstração experimental quando se utiliza equipamentos de alto custo ou de difícil montagem. Já as atividades realizadas em grupos de alunos destinam-se a utilização de aparatos simples ou materiais de baixo custo. Por fim, temos as atividades extraclasse que são realizadas por um grupo de alunos que utilizam projetos experimentais mais trabalhosos e de longa duração. Na escolha da atividade a ser realizada, o professor deve considerar o material necessário para sua montagem e o tempo disponível para tal tarefa.

Considerando esses tópicos sobre aprendizado e a realização de atividades mediadas pelo professor, foi desenvolvida e aplicada uma atividade experimental a grupos de estudantes, orientada para os principais conceitos que envolvem o tema “eletricidade”, que é o assunto norteador da atividade descrita e analisada nos capítulos que se seguem.

Capítulo 3

Física

3.1 Uma História sobre os Primórdios da Física

Desde a antiguidade, o Homem já sabia que alguns corpos atritados, assim como o âmbar, eram capazes de atrair corpos leves em suas redondezas. Platão (428 - 348 a.C.) traz no diálogo *Timeu* a mais antiga citação conhecida sobre o “efeito âmbar” (ASSIS, 2011b, Seção 2.2). Embora o efeito fosse conhecido, suas causas eram explicadas de modo controverso e pouco claro. Platão, por exemplo, recusava a ideia de que tal fenômeno se tratava da atração real entre os objetos atritados e os corpos leves. Ele explicava tal evento através dos princípios de respiração, ou seja, pela inexistência do vazio.

Por séculos esse fenômeno elétrico não foi tratado com a devida relevância. Em 1600, William Gilbert (1544 – 1603), médico da corte inglesa, publicou seu principal trabalho intitulado *Sobre os Ímãs e Corpos Magnéticos e sobre o Grande Ímã, a Terra*. Este trabalho abrange várias descobertas a respeito do magnetismo que o levaram a realizar numerosas experiências com a finalidade de diferenciar os fenômenos magnéticos relativos ao ímã e fenômenos elétricos relativos ao âmbar, até então tratados sem nenhuma distinção. Gilbert qualificou os corpos que tinham as mesmas características do âmbar (atrair corpos leves que estão ao seu redor) de “elétricos”⁴ e qualificou os que não possuíam tal propriedade de “não elétricos”. Para ele, os ímãs (objetos de seu estudo) atraíam apenas corpos magnéticos⁵, enquanto os corpos elétricos atraíam tudo, exceto corpos abrasados, o fogo e o ar.

Sobre esta substância [o âmbar] precisam ser ditas algumas coisas, para mostrar a natureza [origem] da ligação dos corpos a ela, e para mostrar a grande diferença entre esta [ação] e as ações magnéticas (GILBERT, 1978, p. 27 apud ASSIS, 2011b, p. 17).

Gilbert atritou várias substâncias para distinguir aqueles corpos com propriedades elétricas e aqueles não elétricos, elaborando um sistema de classificação. Materiais como o azeviche⁶, o diamante, a safira, o carbúnculo⁷, a

⁴ Os gregos chamavam tal substância de *ηλεκτρον* (elétron), por isso a denominação de Gilbert para esses materiais.

⁵ Entendemos por corpos magnéticos aqueles formados de ferro e de compostos de ferro.

⁶ Nome de uma espécie de carvão tão duro e uniforme que pode ser esculpido e polido de modo a parecer vidro negro. É utilizado para fabricar botões e joias de fantasia.

opala, o berilo⁸, o vidro (claro e brilhante), o quartzo irizado⁹, a ametista, a gema inglesa, o cristal de rocha, o enxofre, a cera de laca¹⁰, entre outros foram classificados como materiais elétricos. O processo também foi descrito com os materiais classificados como não elétricos como os metais, diferentes tipos de madeira, o ímã natural e numerosas gemas. Também observou que corpos aquecidos como a chama de uma vela ou um carvão em brasa não atraíam corpos leves colocados em suas proximidades.

De acordo com Guimarães (2000), além da classificação dos materiais, Gilbert constatou que em dias nublados ou com muita umidade (ou a umidade emitida pela boca) a atração elétrica diminuía. Diante da observação de tal efeito, Gilbert inferia que a atração elétrica estaria relacionada a algum tipo de emissão material do âmbar.

Girolamo Fracastoro (1478 – 1553) criou um instrumento nomeado “Perpendículo”¹¹, que foi utilizado para demonstrar que o âmbar não atraía apenas corpos leves, mas também outros corpos como o próprio âmbar. Talvez esse tenha sido o primeiro instrumento elétrico inventado pela humanidade (BOSS, ASSIS e CALUZI, 2012). Em sua experiência, o médico inglês Gilbert utilizou um instrumento chamado “Versório” (Figura 1) para classificar os corpos nos grupos “elétrico” e “não elétrico”, conforme mencionado. Gilbert pode ter sido inspirado pelo perpendículo ao criar seu versório. O versório – da palavra em latim *versorium*, que significa “girar” – é composto por uma haste horizontal cujo centro é apoiado sobre um suporte vertical, bem semelhante à uma bússola cuja agulha não é imantada. Trata-se de um instrumento sensível, cuja haste horizontal é livre para girar. Gilbert atritava os corpos a serem testados e os aproximava do mecanismo. Um corpo era considerado elétrico caso o versório se orientasse em direção a ele. Caso o corpo atritado não orientasse o versório, o corpo era considerado não elétrico.

⁷ Rubi grande de bela água e de intenso brilho.

⁸ Silicato natural de alumínio e de berílio, em cristais hexagonais.

⁹ Matizado com as cores do arco-íris.

¹⁰ Resina vermelha extraída de várias plantas.

¹¹ Como não há um detalhamento deste aparato, presume-se que o *perpendículo* era uma linha fina vertical presa a um suporte fixo pela sua extremidade superior. Em sua extremidade inferior era preso um corpo qualquer.

Figura 1. Versório de Gilbert.



Fonte: Assis (2011b, p. 26).

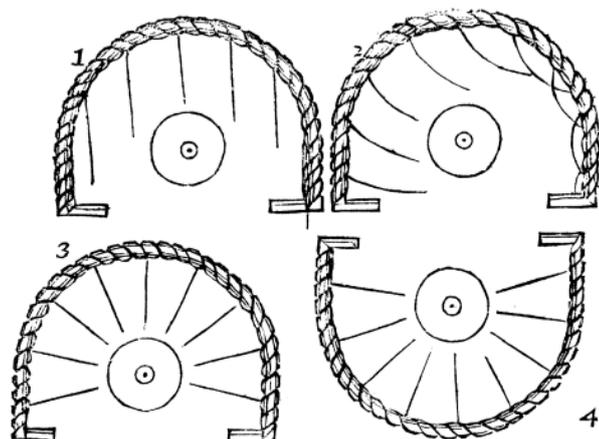
Até então, acreditava-se que os corpos leves não atraíam o âmbar atritado, apenas o âmbar atrairia estes corpos. Foram os pesquisadores Honoré Fabri (1607 – 1688), em 1660, e Robert Boyle (1627 – 1691), em 1675, que constataram a existência da atração mútua. Em particular, observaram que um pedaço de âmbar atritado suspenso por fio se orientava para o corpo que dele era aproximado.

Otto von Guericke (1602 – 1686), em 1672, descreveu em seu livro *Novas Experiências (assim chamadas) de Magdeburgo sobre o Espaço Vazio*, a primeira máquina elétrica da história. Seu mecanismo consistia em prender uma haste de madeira a um globo de enxofre pequeno. O globo podia ser manipulado pela haste, sendo friccionado enquanto girava ao redor de seu eixo. Desde que manuseado com as mãos secas, o pesquisador observou que o globo atritado atraía pequenos corpos que, ao tocarem nele, logo eram repelidas pelo globo. Em seus relatos chamou atenção para penas leves e macias que permaneciam por um longo tempo acima do globo de enxofre, podendo ser levadas flutuando por onde fosse.

Francis Hauksbee (1666 – 1713), em 1706, utilizando uma máquina elétrica semelhante à de Guericke, substituiu a esfera de enxofre por um cilindro de vidro que girava sobre o próprio eixo. Ora o eixo estava na horizontal, ora estava na vertical. O funcionamento da máquina consistia em girar o cilindro rapidamente atritando-o contra a mão. Em um arco semicircular enrolado por uma corda de saco vários pedaços de linha a distâncias aproximadamente iguais pendiam livremente. Uma vez que o cilindro era girado rapidamente, as linhas acompanhavam o fluxo de ar. Porém, quando Hauksbee atritava o vidro com a mão as linhas se direcionavam

para o cilindro de vidro. Possivelmente esta foi a primeira experiência para mapeamento da força elétrica (Figura 2).

Figura 2. Mapeamento da força elétrica realizado por Hauksbee.



Fonte: Hauksbee (1706 – 1707, p. 2334) e Assis (2011b, Seção 4.11).

Stephen Gray (1666 – 1736), ao que tudo indica inspirado por seus antecessores, fez um experimento análogo ao de Guericke. Ele utilizou um tubo de vidro eletrizado com medidas de 2 a 3 centímetros de diâmetro e entre 70 e 80 centímetros de comprimento no lugar da esfera de enxofre. Contudo, as grandes descobertas de Gray ocorreram em seus últimos anos de vida¹². Em um de seus experimentos o cientista constatou que a rolha utilizada para fechar o tubo de vidro ficou eletrizada ao atrair uma pequena pena sem que tivesse sido atritada. Curioso, começou a analisar quais corpos conseguiam comunicar a “virtude elétrica” e até qual distância conseguiria realizar esses feitos. Posteriormente, tentou expandir o alcance horizontal da comunicação da “virtude elétrica” usando apenas cordas.

Após várias tentativas e experiências, Gray descobriu que quando os apoios de longas linhas de comunicação ligadas à Terra eram de corda, barbante ou metal, não mais transmitiam a “virtude elétrica”. O fenômeno era possível somente se os apoios fossem feitos de seda.

¹² Maiores detalhes sobre as experiências de Gray são encontrados no livro *Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade* (ASSIS, 2011b, Apêndice B).

Gray também foi o primeiro a conseguir que os metais atraíssem corpos leves, ao atrair uma fina folha de latão a uma altura de alguns centímetros. Assim, na época foi considerado o pesquisador que conseguiu “despertar a eletricidade escondida [nos metais]” (HEILBRON, 1979, p. 246).

Do conjunto de suas experiências, Gray fez uma das mais importantes descobertas da eletricidade: materiais com diferentes propriedades classificados como “condutores” e “isolantes”. Esta nomenclatura foi adotada mais tarde por Charles Du Fay (1698 – 1739) e J. T. Desaguliers (1683 – 1744). Os corpos chamados por Gilbert de “elétricos” hoje são chamados de “isolantes” e os “não elétricos” são chamados de “condutores”. Entre os avanços obtidos por Gray estão a descoberta dos condutores e isolantes; comprovações como o fato de as propriedades intrínsecas determinarem se o comportamento do objeto se caracteriza como condutor ou isolante; de que a eletrização por condução ocorre à distância; de que as cargas livres se distribuem somente sobre a superfície dos condutores; de que a força elétrica atua mais vigorosamente ao redor das pontas dos condutores, etc.

Contemporâneo de Gray e influenciado por ele, Charles François Du Fay publicou em 1733 e 1734 alguns trabalhos em que reconhece que a repulsão é um fenômeno autêntico e característico das interações elétricas. Até aquele momento, a repulsão elétrica era interpretada de várias formas diferentes, por explicações como atração por corpos vizinhos grandes ou, até mesmo, colisões mecânicas. O próprio Du Fay teve seus pensamentos refutados, como afirma em um de seus trabalhos:

Um (sic) outra experiência tão simples, e ainda mais sensível, terminou de me provar que minha conjectura era falsa. Se colocamos folhas de ouro sobre um cristal, ao aproximarmos o tubo [de vidro eletrizado] por baixo [do cristal], as folhas de ouro são expelidas para o alto sem recair sobre o cristal, e certamente não podemos explicar este movimento pela atração de algum corpo vizinho. (...) de forma que não podemos duvidar que não exista uma repulsão real na ação dos corpos elétricos. (ASSIS, 2011b, p. 62)

Por meio de seus trabalhos, o mecanismo fundamental da atração, contato e repulsão (mecanismo ACR) foi observado. Sua experiência consistiu na manutenção de uma folha de ouro suspensa sobre um tubo de vidro atritado. Ao soltar a folha de ouro, a princípio ela foi atraída pelo tubo de vidro atritado, mas, ao tocá-lo, foi rapidamente repelida por ele. Conforme reproduzia seus experimentos, Du Fay verificou que duas folhas de ouro suspensas no ar, pelo mesmo tubo, se mantinham afastadas até que uma das folhas fosse tocada com a mão, momento

em que se direcionava à outra folha. Esta experiência corroborava com a sua hipótese de que dois corpos eletrizados se repeliam.

Outro experimento deixou o cientista “desconcertado”, nas palavras do próprio Du Fay. Após ter sustentado no ar uma folha de ouro por meio de um tubo de vidro atritado, ele a aproximou de um pedaço de goma-copal¹³ eletrizado e a folha foi imediatamente atraída pelo material. Tal experiência foi replicada inúmeras vezes de maneira a não deixar dúvidas de que a goma-copal atraía a folha de ouro repelida pelo tubo de vidro. Observou que este fenômeno também acontecia de modo semelhante com o âmbar atritado. Ao refazer essa experiência aproximando uma bola de cristal de rocha eletrizada da folha de ouro sustentada no ar pelo tubo de vidro eletrizado, a folha era repelida tal como era repelida pelo tubo. Constatou, então, que o vidro eletrizado e a bola de cristal de rocha eletrizada agiam de forma contrária à goma-copal eletrizada e ao âmbar eletrizado. Isto tudo lhe fez supor que haveria dois tipos de eletricidade. Aos corpos atritados sólidos e transparentes como o vidro, denominou que eles possuíam uma “eletricidade vítrea”. E aos corpos atritados resinosos como o âmbar, ele denominou que possuíam “eletricidade resinosa”. De acordo com Du Fay, corpos neutros possuíam a mesma quantidade das duas eletricidades.

Atualmente sabemos que não existem tipos de eletricidades diferentes ligadas diretamente a dois tipos de substâncias diferentes (tais como o vidro e a resina). Esta diferença depende dos objetos atritados com a substância. Se atritarmos, por exemplo, um canudo de plástico com um guardanapo de papel, diz-se que o canudo de plástico fica eletrizado negativamente. Todavia, se o canudo de plástico for atritado com um tubo de PVC, o canudo fica eletrizado positivamente.

Desde então, muitas descobertas importantes sobre eletricidade foram feitas. Ewald Georg von Kleist (1700 – 1748) inventou o primeiro armazenador de fluido elétrico. Essa experiência foi também feita mais tarde Pieter van Musschenbroek (1692-1761). Este acumulador de eletricidade ficou conhecido como “Garrafa de Leiden”, atualmente denominados capacitores ou condensadores.

Segundo Silva e Pimentel (2008), motivado após uma demonstração da Garrafa de Leiden, Benjamin Franklin (1707 – 1790) realizou uma sequência de experimentos durante os quais elaborou uma teoria contrária às suposições de Du

¹³ Resina dura e vítrea utilizada na fabricação de verniz e laca.

Fay. Não existiriam dois fluidos diferentes, mas apenas um fluido que seria comum a todos os corpos. Chamado de “fogo elétrico”, esse fluido era responsável por atrair matéria ordinária e repelir suas próprias partículas. Franklin observou que não havia criação de matéria elétrica, mas sim transferência do fogo elétrico de um corpo para outro. Para ele, um corpo que perdesse matéria elétrica era chamado “negativo” e o que ganhasse matéria elétrica era chamado “positivo”. Foi então que se constituiu a mais antiga formulação da Lei da Conservação de Carga Elétrica.

3.2 Cargas Elétricas

Devido às grandes descobertas feitas até o século XVIII, podemos afirmar que a carga elétrica é uma propriedade da matéria, tal qual a massa, que determina algumas de suas interações eletromagnéticas. Por convenção histórica, as partículas elementares são constituídas, em nível atômico, por elétrons (de carga elétrica negativa), por prótons (de carga elétrica positiva) e por nêutrons (de carga elétrica ausente). As cargas elétricas são baseadas na carga fundamental do elétron, cujo valor obtido em pesquisas é $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, valor idêntico à carga do próton, exceto em seu sinal. É importante atentar que a carga elétrica só existe em valores múltiplos inteiros da carga do elétron. Ou seja, o valor da carga elétrica é quantizado.

Um corpo em estado normal é eletricamente neutro, uma vez que seus átomos são eletricamente neutros por possuírem o mesmo número de elétrons e prótons. Assim, quando um corpo é considerado eletrizado, trata-se apenas da transferência de cargas entre os corpos que participam deste processo. Como os prótons estão fixos nos núcleos dos átomos, são os elétrons as partículas transferidas de um corpo a outro, dada sua mobilidade. Portanto, um corpo com carga total negativa “ganhou” elétrons enquanto um corpo com carga total positiva “perdeu” elétrons. A carga resultante é denominada de carga líquida ou carga total.

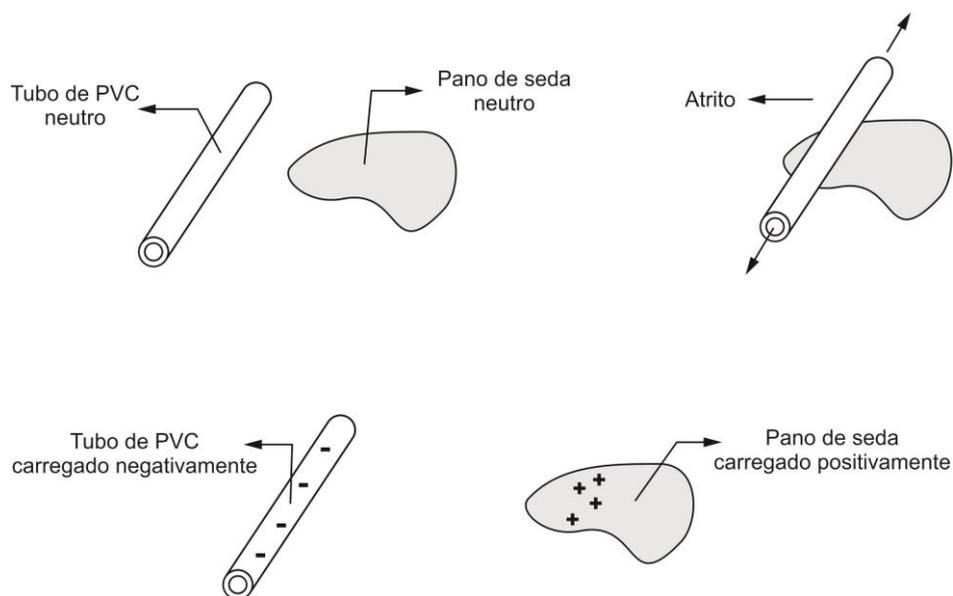
O Princípio Fundamental da Conservação de Carga Elétrica nos permite atestar que, em qualquer processo de eletrização, a carga elétrica não é criada nem destruída, mas é transferida de um corpo a outro.

Há três processos de eletrização de um corpo: eletrização por atrito, eletrização por contato e eletrização por indução, sobre os quais discorreremos a seguir.

3.2.1 Eletrização por Atrito

A eletrização por atrito é o mais antigo e mais conhecido processo de eletrização, como visto na seção 3.1. Neste processo, dois corpos inicialmente neutros são atritados um ao outro resultando na transferência de elétrons de um corpo ao outro (Figura 3).

Figura 3. Processo de eletrização por atrito.



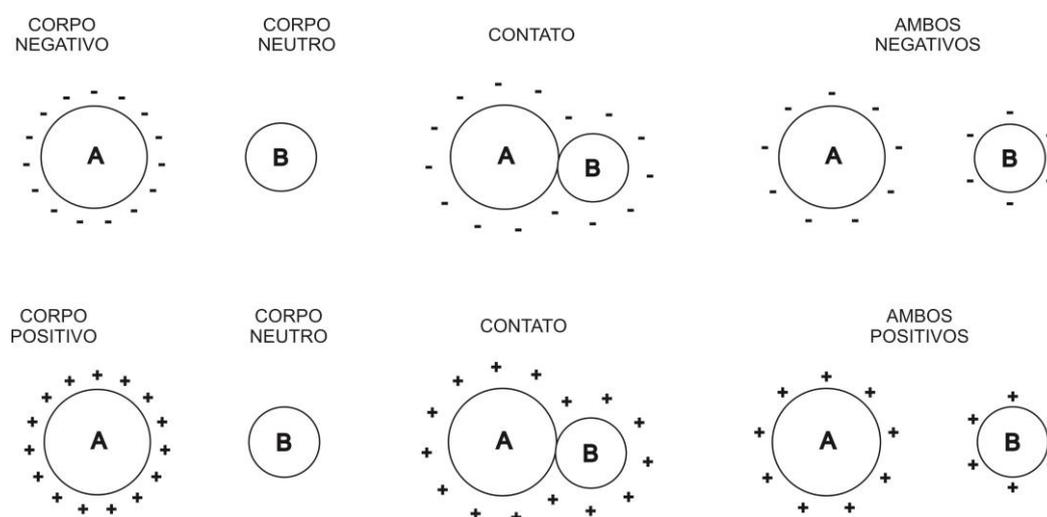
Fonte: Acervo Pessoal.

Vale ressaltar que um corpo pode tanto “perder” elétrons, ficando positivamente carregado, quanto “ganhar” elétrons, ficando negativamente carregado, a depender do material atritado ao corpo. Como exemplo, se um canudo de plástico é atritado ao cabelo, o canudo de plástico fica carregado negativamente e o cabelo fica carregado positivamente. O mesmo canudo de plástico atritado a um tubo de PVC fica positivo enquanto o tubo de PVC torna-se negativo. Neste processo, os corpos adquirem a mesma quantidade de carga em módulo, mas com sinais diferentes.

3.2.2 Eletrização por Contato

Vamos supor dois corpos condutores chamados *A* e *B*. Neste processo, um corpo *A* carregado com certa quantidade de carga é colocado em contato com o outro corpo *B*, inicialmente neutro. Se o corpo *A* estiver carregado negativamente, por exemplo, haverá um fluxo de cargas negativas para o corpo *B*, ficando os dois corpos carregados negativamente. Caso o corpo *A* esteja carregado positivamente, haverá um fluxo de cargas elétricas do corpo neutro para o corpo positivo, ficando os dois corpos positivos (Figura 4).

Figura 4. Processo de eletrização por contato.



Fonte: Acervo Pessoal.

Pelo Princípio da Conservação de Cargas Elétricas, a carga elétrica total após o contato deverá ser igual a carga total antes do contato.

3.2.3 Eletrização por Indução

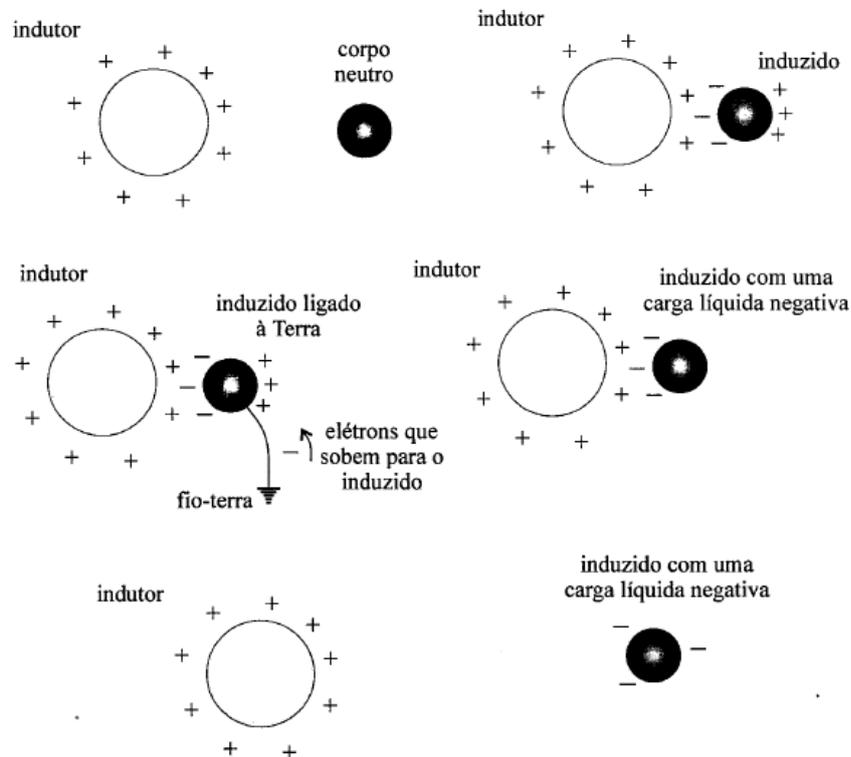
Diferentemente da eletrização por atrito e por contato, na eletrização por indução os corpos não se tocam durante o processo. Vamos supor aqui um isolante eletrizado que está longe de um condutor inicialmente neutro. Quando aproximamos o corpo carregado do corpo neutro que está isolado da Terra, há uma indução de cargas no corpo neutro. Por exemplo, se aproximarmos um corpo carregado

negativamente pela esquerda do corpo neutro isolado, os elétrons livres do corpo neutro serão repelidos para a direita (sem que haja “fuga” dos elétrons do corpo neutro) pelo excesso de elétrons do corpo carregado. Conseqüentemente, no lado direito do corpo neutro haverá excesso de elétrons e no lado esquerdo, próximo ao corpo carregado, haverá falta de elétrons. Podemos dizer então que “surgiram” cargas induzidas em cada lado do corpo neutro. Assim sendo, chamamos o corpo carregado de “indutor” e o corpo inicialmente neutro de “induzido”.

Essas cargas só serão induzidas enquanto o indutor estiver próximo ao induzido. Se afastado o indutor, as cargas retornarão ao seu estado inicial, ou seja, não haverá mais separação de cargas. Para que o corpo neutro fique efetivamente carregado precisamos que haja um escape de elétrons. Com este propósito, enquanto o indutor for mantido próximo à esquerda do induzido, se feita uma ligação deste com a Terra por meio de um material condutor como, por exemplo, um fio ou o próprio dedo, pelo lado direito, vários elétrons fluirão em direção à superfície da Terra por esse fio, alcançando-se a neutralidade elétrica nessa região. Ainda com o indutor próximo ao induzido, se retirada a ligação do corpo induzido com a Terra e afastando o indutor, percebe-se que a carga líquida do induzido tem sinal oposto à carga do indutor.

O mesmo processo acontece caso o indutor seja positivo e o induzido seja inicialmente neutro, mas, nesse caso, os elétrons irão fluir da Terra para o induzido. Se o induzido for desligado da Terra e o indutor afastado, eles terão cargas de sinais opostos. Este processo está detalhado na Figura 5.

Figura 5. Processo de eletrização por indução.



Fonte: Machado (2000, p. 131).

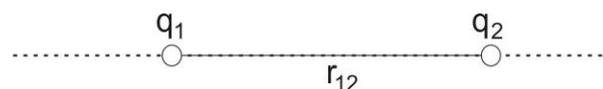
3.3 Força Elétrica

Em 1755, Benjamin Franklin (1706 – 1790) realizou uma importante experiência (ASSIS, 2018). Eletrizou uma caneca de prata que estava apoiada sobre um material isolante. Uma pequena bola de cortiça (material condutor) foi dependurada em um fio de seda (material isolante). Segurando o fio de seda com a mão, abaixou a cortiça dentro da caneca eletrizada, observando que a cortiça não foi atraída pelas paredes internas da caneca. Por outro lado, caso a cortiça tivesse sido abaixada do lado de fora da caneca eletrizada, teria sido atraída por ela, tocaria na caneca e passaria a ser repelida por ela, já que passaria a ficar eletrizada com uma carga de mesmo sinal que a carga da caneca (mecanismo de atração, contato e repulsão, também chamado de mecanismo ACR). Em seguida fez com que a cortiça neutra penetrasse na caneca eletrizada e tocasse no fundo da caneca. Ao remover a cortiça percebeu que ela não estava eletrizada. Franklin não conseguiu explicar esse comportamento da cortiça.

Em 1775 Joseph Priestley (1733 – 1804) utilizou essa experiência de Franklin para concluir que a atração elétrica, assim como a atração gravitacional, varia com o inverso do quadrado da distância entre os corpos (ASSIS, 2018). O raciocínio de Priestley utilizou um resultado que foi obtido pela primeira vez por Isaac Newton em 1687 em seu livro *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* (NEWTON, 1990 e 2008), também chamado de *Principia*. Nesse livro, Newton mostrou que uma casca esférica homogênea não atrai uma partícula localizada em qualquer ponto de seu interior caso a força exercida nessa partícula por cada pequeno elemento da casca seja central e varie com o inverso do quadrado da distância entre esse elemento e a partícula.

A suposição de Priestley foi confirmada por Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806) em 1785. Ele utilizou uma balança de torção para verificar diretamente a força exercida entre dois corpos eletrizados, medindo a interação entre eles. A partir de suas experiências Coulomb concluiu que a força F entre duas partículas eletrizadas aponta ao longo da reta que as une, variando com o inverso do quadrado da distância r entre elas, sendo ainda proporcional ao produto de suas cargas elétricas q_1 e q_2 , ver a Figura 6.

Figura 6. Duas cargas puntiformes separadas por uma distância r_{12} .



Fonte: Acervo Pessoal.

No Sistema Internacional de Unidades a força eletrostática de Coulomb é expressa da seguinte maneira:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Nessa equação $\epsilon_0 = 8,8 \times 10^{-19} C^2 N^{-1} m^{-2}$ é uma constante denominada de permissividade do espaço livre.

3.4 Condutores e Isolantes

Os condutores e isolantes foram descobertos por Gray em 1729 por meio de experimentos que buscavam entender a transmissão da virtude elétrica de um tubo de vidro atritado a outros corpos¹⁴. Os condutores são corpos que possuem cargas elétricas móveis (como os elétrons livres) e que permitem a passagem ou o fluxo destas cargas através deles. Já os isolantes não possuem cargas livres, a não ser no interior de suas moléculas. Os isolantes não permitem a passagem ou o fluxo de cargas através de seus corpos.

Em nosso estudo, utilizamos o eletroscópio simples¹⁵ e o circuito elétrico simples¹⁶ para diferenciar condutores e isolantes para altas e baixas diferenças de potencial. No contexto desta dissertação, altas diferenças de potencial referem-se tipicamente a diferenças de potencial entre mil e dez mil volts, enquanto que baixas diferenças de potencial referem-se usualmente até algumas centenas de volts. Em termos práticos temos de fazer experiências para classificar os corpos como condutores ou isolantes. O eletroscópio simples é o instrumento adequado para fazer esta classificação no caso de altas diferenças de potencial. Já para baixas diferenças de potencial o instrumento adequado para fazer esta classificação é um circuito elétrico simples, chamado de circuito de teste. Tanto o eletroscópio quanto o circuito elétrico simples serão descritos no próximo Capítulo.

Os corpos que se comportam como condutores para altas diferenças de potencial são aqueles que têm a capacidade de descarregar o eletroscópio eletrizado quando entram em contato com ele enquanto estão sendo segurados pela mão. Os corpos isolantes para tais diferenças de potencial são aqueles que não possuem esta capacidade. Experimentalmente podemos comprovar que existe um número muito maior de substâncias com características condutoras do que substâncias com características isolantes para altas diferenças de potencial.

Abaixo encontra-se uma lista com as diversas substâncias que se comportam como condutores e como isolantes para altas diferenças de potencial:

- **Condutores:** corpo humano, metais, papel, cartolina, madeira, giz, papel de seda, papel alumínio, vidro à temperatura ambiente, água,

¹⁴ Conferir p. 22-23 desta dissertação.

¹⁵ Conferir detalhamento no Capítulo 4, subseção 4.2.2.

¹⁶ Conferir detalhamento Capítulo 4, subseção 4.2.8.

parede, rolha, a maioria das borrachas, ar úmido, algodão, grafite, álcool, sal, fubá, etc.

- **Isolantes:** plástico, PVC, vidro aquecido, isopor, cabelo, óleo, poliéster, náilon, ar seco e alguns tipos de borracha.

É importante ressaltar que alguns condutores, a exemplo dos metais, descarregam o eletroscópio mais rápido do que outros, tal como a madeira.

Chamamos atenção também para o vidro. Grande parte dos vidros encontrados atualmente descarrega o eletroscópio mais devagar que os metais, se em temperatura ambiente. Entretanto, ainda assim possuem características condutoras. Para que se comportem como isolantes é necessário que eles sejam aquecidos no microondas ou na chama do fogão. Neste processo, a umidade que possa estar sobre a superfície do vidro é retirada dificultando seu comportamento como condutor.

Entretanto, alguns materiais que se comportam como condutores nos experimentos simples de eletrostática utilizando um eletroscópio podem se comportar como isolantes quando estão sob a ação de baixas diferenças de potencial.

Para este estudo utilizamos um circuito elétrico simples com o objetivo de acender a pequena lâmpada do circuito. Nesta situação, os corpos que possuem características condutoras, ao fecharem o circuito elétrico, acendem a lâmpada do circuito. Caso a lâmpada não acenda, o corpo colocado como ligação possui características isolantes.

O resultado observado com este experimento são:

- **Condutores:** todos os metais.
- **Isolantes:** papel, cartolina, madeira, giz, papel de seda, vidro à temperatura ambiente, vidro aquecido, água, parede, rolha, ar úmido, ar seco, plástico, PVC, isopor, cabelo, óleo, poliéster, náilon, etc.

Comparando as duas listagens acima, pode-se perceber que os conceitos de condutor e isolante são muito relativos. Alguns materiais que se comportam como condutores nas experiências usuais de eletrostática podem se comportar como isolantes para baixas diferenças de potencial, assim como a madeira, por exemplo. Deve-se tomar muito cuidado ao classificar os objetos em condutores e isolantes,

pois seu comportamento depende não só de suas características intrínsecas, mas também da diferença de potencial aos quais estão submetidos.

É muito comum dizermos que certo corpo *A* é um condutor ou que outro corpo *B* é um isolante. Mas, de acordo com o que é verificado experimentalmente, é mais adequado afirmar em certo conjunto de condições um corpo se comporta como condutor e em outras condições o mesmo corpo atua como isolante (ASSIS, 2011b).

Alguns outros aspectos também influenciam no comportamento isolante ou condutor de um corpo como o tempo necessário para se descarregar um eletroscópio carregado, o comprimento do corpo que está sendo estudado e a área da seção reta do corpo. São definidas como bons condutores as substâncias que, ao tocarem o eletroscópio carregado, o descarregam em um intervalo de tempo pequeno, como por exemplo, menores que 5 segundos. Já os corpos que descarregam o eletroscópio eletrizado em intervalos de tempo maiores do que 30 segundos são definidos como bons isolantes (ASSIS, 2011b).

O comprimento e a área da seção reta do corpo que entra em contato com o eletroscópio têm relações diretas com o tempo gasto para descarregar o eletroscópio. Quanto maior o comprimento do corpo, maior será o tempo gasto por ele para descarregar o eletroscópio; e quanto maior for a área da seção reta do corpo, menor será o tempo gasto por ele para descarregar o eletroscópio.¹⁷

¹⁷ Conferir ASSIS, 2011b.

Capítulo 4

O Produto

Este capítulo é dedicado à descrição dos instrumentos utilizados na composição do *kit*. Detalhamos aqui materiais utilizados, alternativas (quando possível) para a montagem dos mesmos e o passo-a-passo da montagem de cada aparelho, bem como suas funções e inspirações.

4.1 O Kit

Para o desenvolvimento do produto educacional que auxiliasse o estudo de conteúdos da Física, conforme a proposta do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – Polo Juiz de Fora, utilizamos as teorias sobre aprendizado desenvolvidas, sobretudo, por Vygotsky (conforme assinalamos no Capítulo 2) aplicadas ao ensino de Física no Ensino Básico, com ênfase nos conceitos de eletricidade, tal como desenvolvemos no Capítulo 3. Assim, elaboramos um *kit* experimental composto por materiais de baixo custo empregados na construção dos instrumentos para a realização dos experimentos. A utilização deste *kit* estará abordada detalhadamente no Apêndice B ao final dessa dissertação.

Um dos diferenciais deste *kit* é que seu baixo custo permite que cada aluno construa sua própria montagem, podendo levá-la para casa ao fim da aplicação. A ideia principal e a importância de cada estudante possuir o seu *kit* pessoal é o desejo de que cada aluno tenha meios para construir seus próprios instrumentos participando ativamente da realização dos experimentos, transformando-se em agentes atuantes na descoberta dos conceitos físicos em questão.

Os instrumentos presentes no *kit* foram previamente preparados e organizados. Alguns elementos como pregar o prego na rolha e amarrar a linha no canudo foram pré-montados por questões de segurança. O mesmo cuidado foi dado aos instrumentos que continham alfinetes ou necessitavam da utilização da tesoura. Os demais instrumentos foram entregues fragmentados para os estudantes realizarem a própria montagem. Os instrumentos contidos nos *kits* serão detalhados a seguir.

Tais instrumentos serão utilizados para realizar experiências que facilitem a aprendizagem de temas como cargas elétricas de sinais diferentes, atração e repulsão eletrostática, conservação de carga elétrica, polarização elétrica em condutores, eletrização por atrito, contato e indução, juntamente com o estudo de condutores e isolantes.

4.2 Metodologia

Para a elaboração do *kit* e dos experimentos foram utilizados materiais acessíveis e de baixo custo. Nada impede que alterações sejam feitas quanto ao material, desde que observando a necessidade de testes antes de sua aplicação para resguardar a segurança dos alunos e garantir que os experimentos sejam capazes de oferecer o mesmo resultado.

Os materiais utilizados estão listados a seguir:

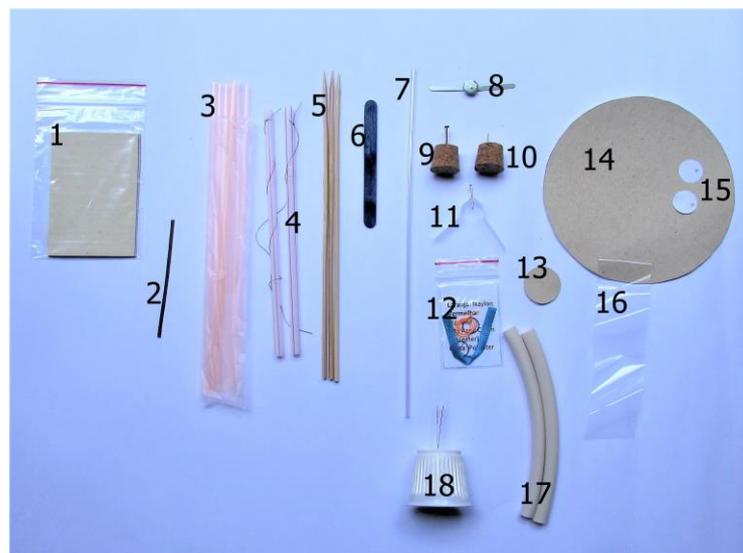
1. Papel cartão ou cartolina;
2. Papel de seda¹⁸;
3. Canudos plásticos;
4. Canudos plásticos sanfonados;
5. Palitos de madeira (como os espetinhos de churrasco);
6. Palitos de picolé;
7. Palito de acrílico;
8. Colchetes tipo bailarina;
9. Rolha com prego;
10. Rolha com alfinete;
11. Tira de plástico rígido com alfinete;
12. Linhas de:
 - a) náilon;
 - b) algodão;
 - c) poliéster;
 - d) Fita de poliéster;
13. Círculo de cartolina pequeno;
14. Círculo de cartolina grande;

¹⁸ O papel de seda pode ser aquele utilizado para enrolar balas de coco pela facilidade de ser encontrado e pelo custo-benefício. Foi este que usamos em nosso trabalho.

- 15. Círculos de papel;
- 16. Tiras de plástico;
- 17. Mangueira plástica de chuveiro;
- 18. Suporte de gesso.

Abaixo, na Figura 9, podemos ver os materiais detalhadamente.

Figura 9. Materiais utilizados no kit.



Fonte: Acervo Pessoal.

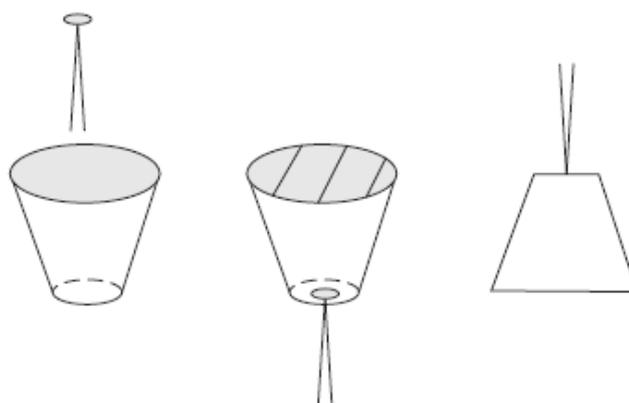
Alguns materiais utilizados nos experimentos não estavam contidos nos *kits*, tais como tubos de PVC, massa de modelar e um equipamento composto por pilhas e lâmpada (que será detalhado mais a frente). Estes foram levados apenas no dia da aplicação de experimentos específicos, pois podem ser utilizados em aplicações futuras.

Ao todo, foram elaborados 17 experimentos realizados com 7 instrumentos que compunham o *kit*. Estes experimentos foram selecionados para estimular nos estudantes descobertas a respeito dos conceitos básicos, mas não triviais, sobre eletricidade.

4.2.1 Suporte de Gesso

O suporte por nós utilizado durante os experimentos foi preparado previamente usando um copinho de plástico para café, um colchete¹⁹ tipo bailarina e gesso. Fizemos um pequeno furo no fundo do copinho e atravessamos as pernas do colchete por ele. Viramos a abertura do copo para cima, enchemos completamente com uma massa de gesso e o deixamos nessa posição até que estivesse seco. É aconselhável que se faça vários copinhos, pois em alguns experimentos utilizaremos mais de um. Abaixo temos uma ilustração (Figura 10) do suporte.

Figura 10. Suporte feito com copinho de café, colchete tipo bailarina e gesso.



Fonte: Assis (2011b, p. 64).

Alguns materiais alternativos para o suporte utilizado podem ser massa de modelar, com um colchete tipo bailarina ou um simples prego atravessando a massa de modelar.

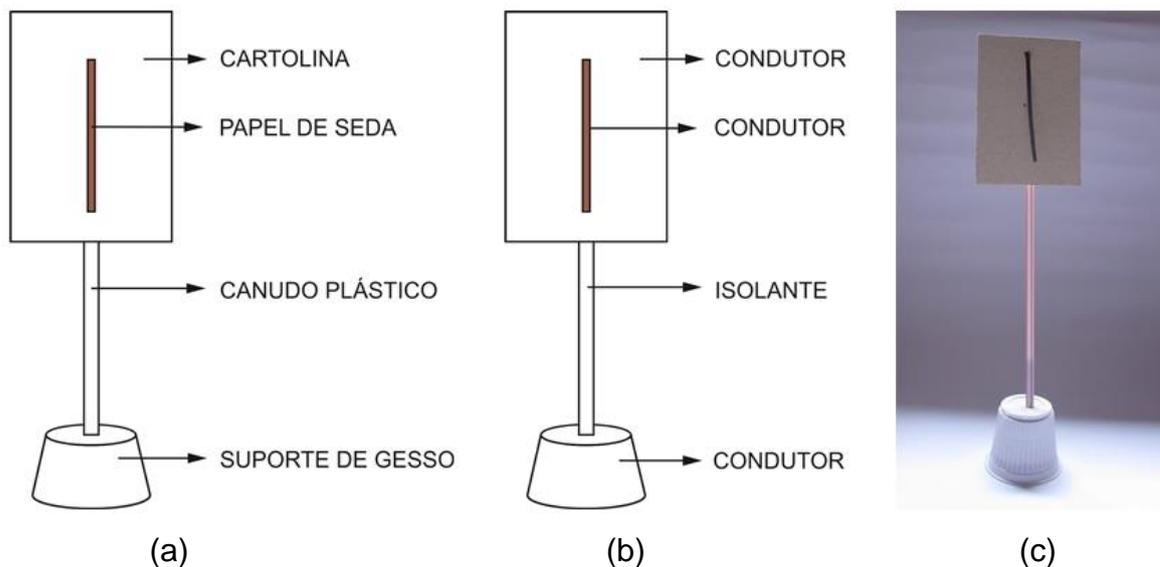
4.2.2 Eletroscópio

O modelo mais simples do eletroscópio é composto por um retângulo de papel cartão com as dimensões 10 cm de altura por 7 cm de largura, um canudo de plástico, uma tira fina de papel de seda e um suporte de gesso.

¹⁹ Como o colchete ficará por dentro do canudo plástico, deve-se atentar a respeito do seu tamanho. Nos nossos suportes utilizamos o colchete de tamanho 8.

Colamos o retângulo de papel cartão no canudo usando dois ou três pedaços de fita crepe, de tal forma que as pontas da fita crepe não ultrapassem as laterais do retângulo de papel cartão. Em seguida colamos com um pingo de cola uma extremidade da tira de papel de seda próximo à extremidade superior do retângulo de papel cartão, sem que a tira ultrapasse a extremidade. Por fim, encaixamos a parte inferior do canudo de plástico no suporte de gesso. Podemos ver na Figura 11 uma representação dos materiais utilizados, quais são condutores e isolantes e uma foto do instrumento montado.

Figura 11. (a) Materiais utilizados na confecção do eletroscópio; (b) condutores e isolantes no eletroscópio; (c) foto do eletroscópio montado.



Fonte: Acervo Pessoal.

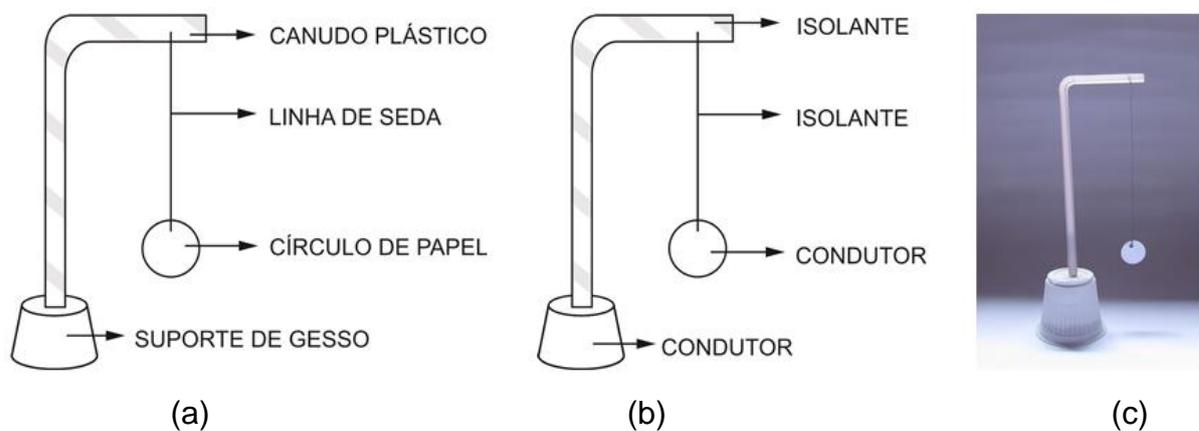
4.2.3 Pêndulo Elétrico

Gray, em 1720, realizou alguns experimentos utilizando uma penugem ligada a extremidade de um fino fio de seda preso na outra extremidade por uma vareta de madeira fixada a um suporte (para que permanecesse de pé sobre uma mesa). Essa é a descrição mais antiga de um pêndulo elétrico.

O nosso pêndulo elétrico é composto por um canudo de refresco plástico e sanfonado, um pedaço de linha de seda (ou de poliéster), um círculo de papel sulfite de aproximadamente 2 cm de diâmetro e um suporte de gesso.

Amarramos a linha na parte superior do canudo plástico com a ajuda de uma agulha fina para facilitar a colocação do pedaço de linha. Prendemos a parte inferior da linha no círculo de papel previamente furado para formarmos o pêndulo elétrico. Na Figura 12 podemos ver a representação do pêndulo elétrico.

Figura 12. (a) Materiais utilizados na confecção do pêndulo elétrico; (b) condutores e isolantes no pêndulo elétrico; (c) foto do pêndulo elétrico montado.



Fonte: Acervo Pessoal.

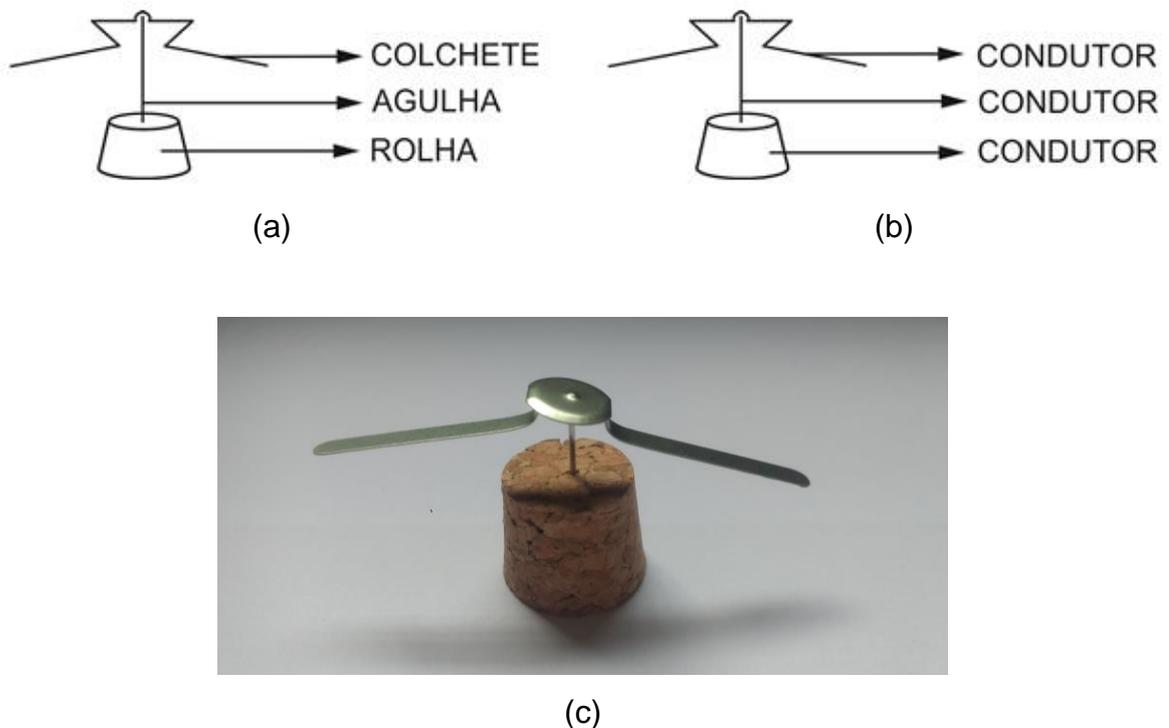
4.2.4 Versório Metálico

Com base nas ideias de Gilbert, nosso versório metálico é composto por um colchete tipo bailarina, uma rolha de cortiça e um alfinete. O primeiro passo foi dobrar as pernas do colchete tipo bailarina para que formasse uma letra V. Depois foi feita uma pequena deformação no centro da base do colchete com um prego cego e um martelo. Esta deformação não deve furar a base do colchete, servindo apenas para que o colchete fique apoiado sobre a ponta do alfinete, tendo liberdade de girar. Estes procedimentos são necessários para que possamos equilibrar o colchete na ponta do alfinete. A agulha horizontal do versório não deve cair ao ser

apoiada, por isso o centro de gravidade²⁰ deve estar localizado na parte inferior do ponto de contato com o alfinete (ASSIS, 2011b).

O suporte para este versório foi construído com uma rolha de cortiça e um alfinete fincado nela, de modo que a ponta do alfinete ficasse livre para apoiar o colchete. Nosso versório deverá ser livre para girar em qualquer sentido no plano horizontal. Os materiais utilizados na montagem do versório, os elementos condutores e isolantes e uma foto do versório montado podem ser vistos na Figura 13.

Figura 13. (a) Materiais utilizados na confecção do versório metálico; (b) condutores e isolantes no versório metálico; (c) foto do versório metálico montado.



Fonte: Acervo Pessoal.

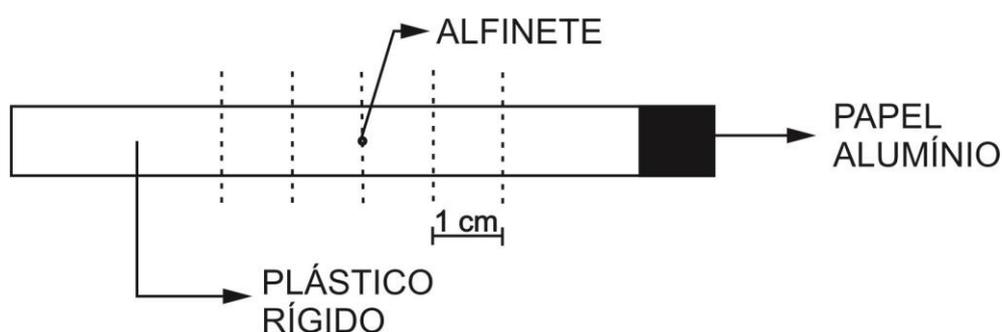
4.2.5 Versório de Du Fay

Du Fay, durante suas observações sobre a repulsão elétrica, construiu “um versório de vidro com uma esfera metálica oca em uma das pontas” (ASSIS,

²⁰ Maiores detalhes sobre centro de gravidade podem ser encontrados em *Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca* (ASSIS, 2011a).

2011b, p. 71). No nosso modelo utilizaremos uma tira de aproximadamente 10 cm de comprimento e 1 centímetro de largura de plástico rígido, dobrado como mostrado na Figura 14. No centro da tira de plástico rígido colocamos um alfinete com a ponta para baixo para que o versório possa girar livremente. O alfinete fica preso na tira de plástico e gira junto com ela nas experiências.

Figura 14. Dobras do versório.



Fonte: Acervo Pessoal.

A base para esse versório foi montada com uma rolha de cortiça e um prego fincado nela de forma que a ponta do alfinete possa ficar apoiada sobre a cabeça do prego. O versório de Du Fay é caracterizado por uma das hastes do versório ser envolta em um pequeno pedaço de papel alumínio. Pode ser que, ao tentar equilibrá-lo, ele caia para este lado devido ao peso do papel alumínio. Neste caso, pode-se cortar um pequeno pedaço da haste do versório do lado onde será colocado o papel alumínio. No final a tira plástica deve ficar aproximadamente horizontal.

Temos abaixo (Figura 15) uma foto do versório de Du Fay, bem como os materiais utilizados e quais são condutores e isolantes.

Figura 15. (a) Materiais utilizados na confecção do versório de Du Fay; (b) condutores e isolantes no versório de Du Fay; (c) foto do versório de Du Fay montado.



(c)

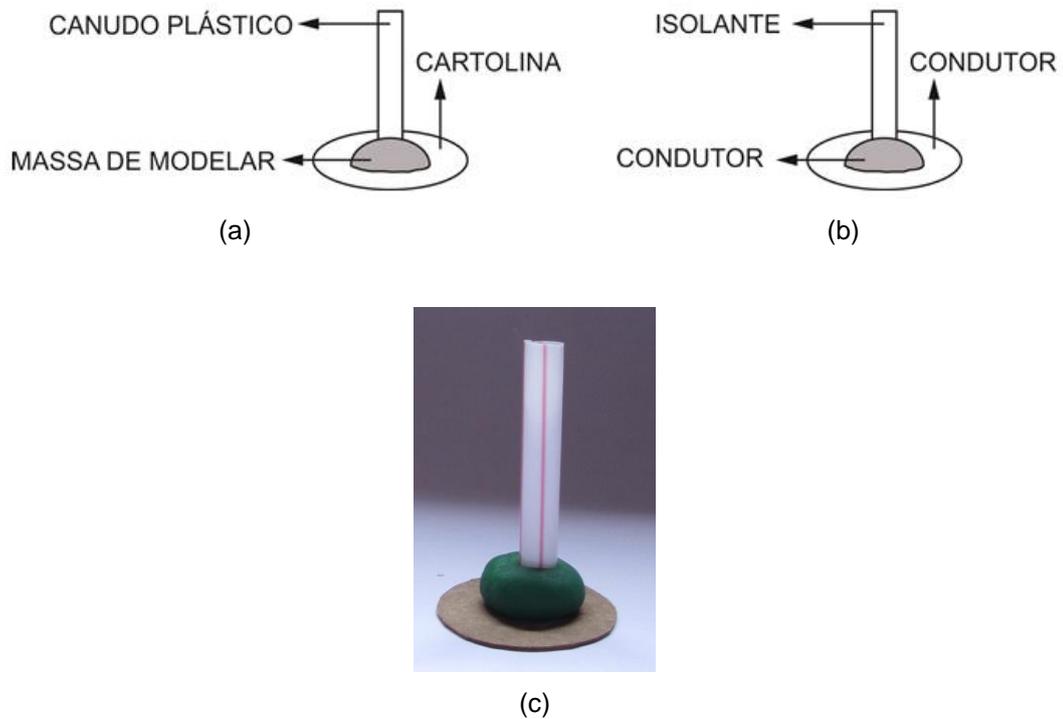
Fonte: Acervo Pessoal.

4.2.6 Plano de Prova de Coulomb

Quando eletrizamos um condutor, as cargas tendem a se espalhar por toda a superfície. Por outro lado, em um isolante carregado as cargas não se deslocam por ele com tanta liberdade. Para verificarmos este fato, usaremos um coletor de carga para a obtenção de uma parcela da carga do corpo carregado.

O coletor usado durante o experimento é conhecido como “Plano de Prova de Coulomb”. Ele é composto por um pequeno círculo de cartolina de aproximadamente 3 cm de diâmetro, um canudo de plástico com uns 5 cm de comprimento e um pouco de massa de modelar, conforme a Figura 16.

Figura 16. (a) Materiais utilizados na confecção do Plano de prova de Coulomb; (b) condutores e isolantes no Plano de Coulomb; (c) foto do Plano de prova de Coulomb montado.

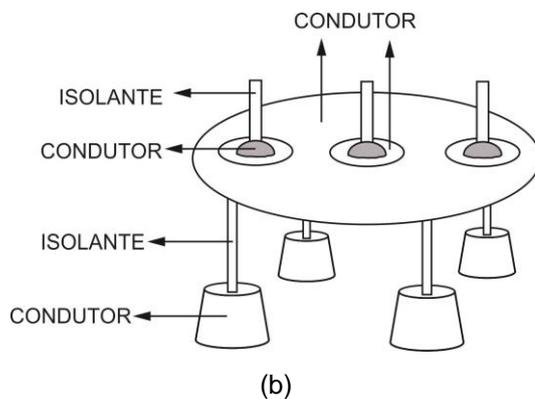
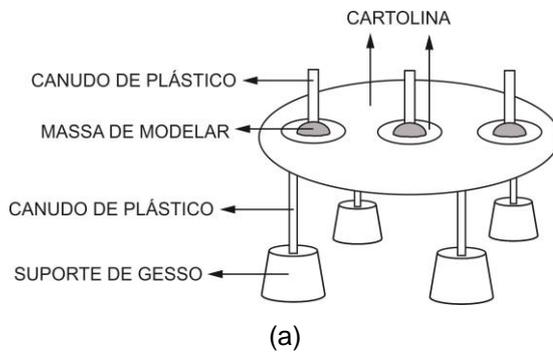


Fonte: Acervo Pessoal.

Construímos também um instrumento para estudar a polarização de um condutor isolado na presença de um corpo carregado. Ele é constituído por um disco de cartolina de aproximadamente 15 centímetros de diâmetro, dois canudos de plástico, quatro suportes de gesso e três Planos de Prova de Coulomb.

Para que o plano de cartolina fique isolado e na horizontal, utilizamos dois canudos cortados ao meio e colocados nos quatro suportes de gesso. Apoiamos o plano de cartolina em cima desses quatro canudos e colocamos os três Planos de Coulomb em cima do círculo de cartolina alinhados ao seu diâmetro, conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17. (a) Materiais utilizados na confecção do instrumento para estudar a polarização de um condutor; (b) condutores e isolantes neste instrumento; (c) foto do instrumento montado.



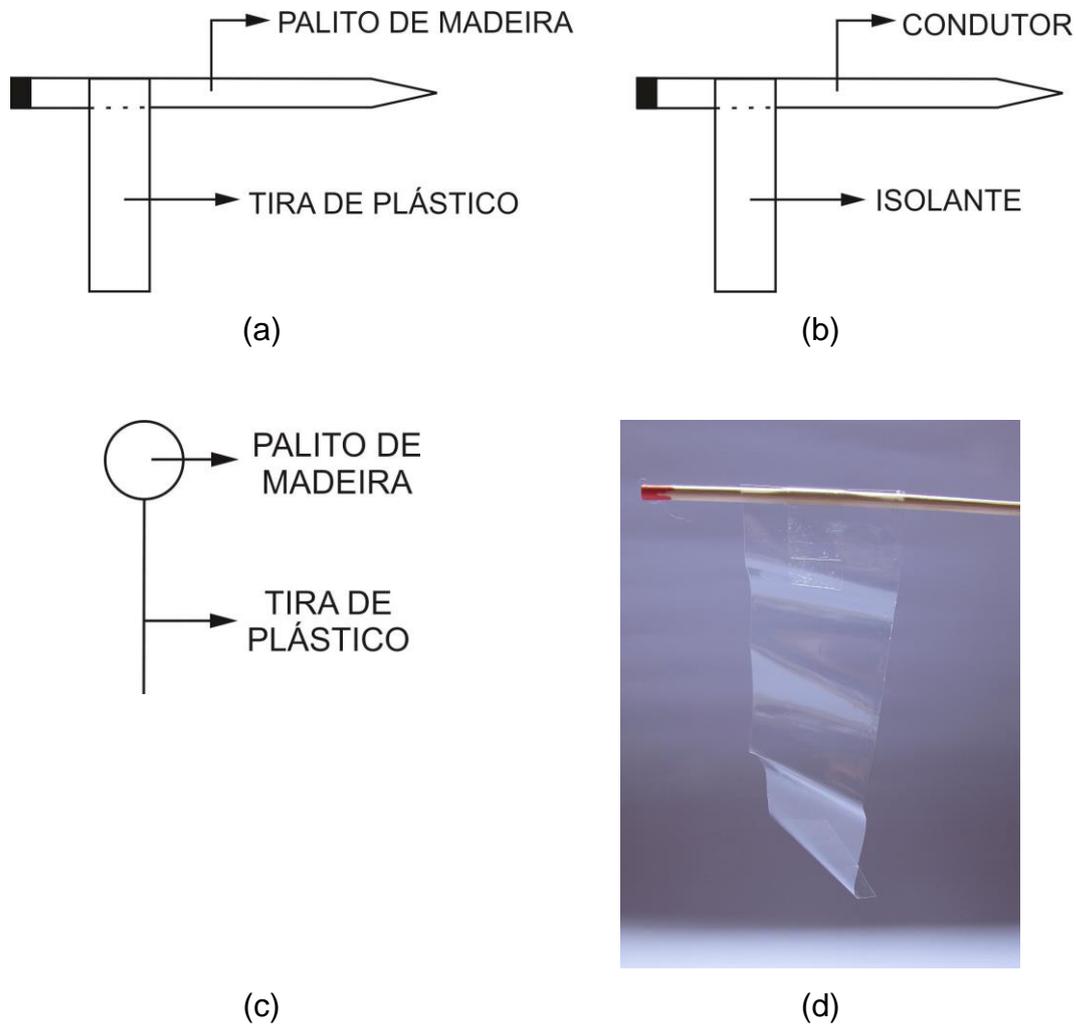
Fonte: Acervo Pessoal.

4.2.7 Tira Pendular Plástica

Um dos instrumentos utilizados para se observar qual tipo de carga apresenta um corpo ao ser atritado é composto por uma tira de plástico com, aproximadamente, 4 centímetros de largura e 16 centímetros de comprimento presa a um palito de madeira. Também pode ser usado lápis, caneta ou um canudo para prender a tira de plástico.

Prendemos, com o auxílio de uma fita adesiva, uma das extremidades da tira no palito de madeira de forma que a tira fique pendurada verticalmente abaixo do palito de madeira, conforme a Figura 18.

Figura 18. (a) Materiais utilizados na confecção da Tira Pendular Plástica; (b) condutores e isolantes da Tira Pendular Plástica; (c) Visão frontal da Tira Pendular Plástica; (d) foto da Tira Pendular Plástica montada.



Fonte: Acervo Pessoal.

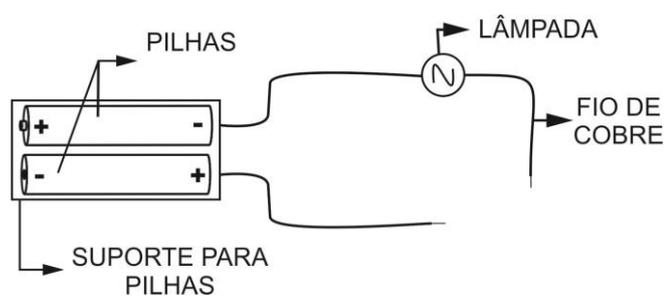
Devem ser feitos vários desses instrumentos com o cuidado para que as tiras de plástico não se carreguem durante a montagem, pois isto pode comprometer o experimento. Pode-se utilizar um versório metálico para verificar se as tiras de plástico estão realmente neutras. Caso não estejam, descarta-se a tira e monta-se outro deste instrumento. Como as tiras serão atritadas em diversos corpos, sugerimos que se marque as pontas dos palitos para que não haja confusão ao realizar o experimento. Isto é, as pontas de alguns palitos podem ser pintadas de vermelho e as pontas de outros palitos pintadas de preto.

4.2.8 Circuito Elétrico Simples

O circuito elétrico aqui proposto é composto por uma lâmpada pequena de 3,8V-0,3A conhecida como pingo d'água, um suporte para pilhas²¹, fios de cobre de aproximadamente 20 centímetros e duas pilhas do tipo AA, conforme mostrado na Figura 19.

Este instrumento deve ser levado pronto para a aplicação do experimento já que é necessário solda para conectar os fios à lâmpada. A solda deve ser reforçada para que não solte durante o manuseio. Também é viável utilizar um suporte ou soquete para lâmpadas²² encontrado em lojas de eletrônica.

Figura 19. Montagem do circuito elétrico. (a) materiais utilizados na confecção do Circuito Elétrico Simples; (b) foto do Circuito Elétrico Simples.



(a)



(b)

Fonte: Acervo Pessoal.

²¹ Ambos encontrados em lojas de eletrônica ou em *sites* da internet.

²² Este item pode ser difícil de ser encontrado em lojas de eletrônica ou, além disso, ser de alto custo. Pode ser encontrado no site: <<https://pt.aliexpress.com/item/HGhomeart-50pcs-Holder-Bulbs-E10-Lamp-Socket-for-Halogen-E10-Lamp-Socket-for-Physics-Teaching-Test/32813691547.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.ma8xH1>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

Capítulo 5

Aplicação do Produto

O produto dessa dissertação foi aplicado em duas turmas, totalizando 66 alunos. Deste total, 25 estudantes são de uma turma de 9º ano do Ensino Fundamental da rede privada e 41 de uma turma de 3º ano do Ensino Médio da rede pública estadual, ambas no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. Destaca-se aqui que quatro alunos da turma do 3º ano do Ensino Médio apresentam deficiência cognitiva, não obedecendo ao mesmo processo de desenvolvimento que os outros estudantes da turma nas aulas expositivas.

Em ambas as turmas, as aulas de Física ocorreram em dois horários seguidos, sendo o primeiro e segundo horários de sexta-feira na turma de 9º ano e o segundo e terceiro horários de quinta-feira na turma do 3º ano do Ensino Médio. Como professora regente das duas turmas, possuo duas aulas semanais de cinquenta minutos cada. O produto foi aplicado durante sete semanas, ocorrendo de forma paralela entre as classes. Compreendemos as diferenças na profundidade do conteúdo ministrado no Ensino Fundamental e no Ensino Médio. Contudo, a escolha pela reprodução dos experimentos nas duas turmas objetivou observar o comportamento dos alunos ingressantes e egressantes no Ensino Médio. No 9º ano do Ensino Fundamental os experimentos foram feitos de forma a chamar a atenção dos estudantes para os fenômenos relacionados. Já no 3º ano do Ensino Médio quisemos evidenciar alguns conceitos vistos anteriormente pelos alunos.

O questionário, cujo modelo se encontra no Apêndice A, foi entregue à turma do 3º ano do Ensino Médio uma semana antes do início da realização dos experimentos. Os alunos foram orientados a respondê-los em casa para otimizar o número de aulas que seriam utilizadas para a aplicação dos experimentos. Na turma do 9º ano do Ensino Fundamental o questionário foi entregue no começo do primeiro horário para que fossem respondidos em sala, pois em uma turma menor não houve demora no tempo na montagem do primeiro experimento. Repetimos a aplicação do mesmo questionário uma semana após o último dia da execução dos experimentos, a fim de comparar as respostas dadas pelos alunos antes e depois do trabalho realizado com o objetivo de qualificar nosso produto.

Os *kits* eram entregues aos alunos no começo das aulas. Eles ficavam guardados na escola para que estivessem sempre presentes durante as semanas de aplicação.

A seguir relataremos cada semana de execução do produto. Cada aula aqui descrita corresponde aos dois horários da disciplina que as turmas têm todas as semanas. Esta opção descritiva não afeta os resultados observados, uma vez que o trabalho nas duas aulas foi contínuo. A partir da terceira aula, os experimentos foram feitos em grupos de quatro alunos, por considerarmos a melhor maneira de adequar o espaço necessário nas carteiras para a utilização de mais de um instrumento.

- *1ª semana:*

Na primeira aula foi feita a construção dos eletroscópios com os materiais disponíveis nos *kits* dos alunos. Cada estudante construiu seu eletroscópio com os materiais detalhados na subseção 4.2.2 do Capítulo 4 desta dissertação.

O primeiro experimento utilizando o eletroscópio foi aproximar e afastar um canudo de plástico eletrizado previamente atritando-o no cabelo²³, sem encostá-lo na tirinha de papel de seda. A intenção é que se observe a atração entre o canudo e a tirinha. Ao aproximar o canudo de plástico do instrumento, os estudantes perceberam que a tirinha de papel de seda se movia em direção ao canudo e, ao afastá-lo, percebia-se que a tirinha se abaixava.

As reações foram as mais diversas possíveis tanto na turma de 9º ano do Ensino Fundamental quanto na turma do 3º ano do Ensino Médio. Alguns alunos se espantaram ao verem a tirinha de papel de seda subindo. Uma aluna do 9º ano exclamou em voz alta “*Wingardium Leviosa*!”²⁴! Sou o Harry Potter!”. Já um aluno do 3º ano disse “Nossa! Parece mágica.”

No segundo experimento, os estudantes eletrizaram o canudo de plástico atritando-o no cabelo. Em seguida rasparam este canudo eletrizado na borda superior da cartolina do eletroscópio. Nosso objetivo era que eles observassem a eletrização do eletroscópio através deste procedimento. A tirinha de papel de seda

²³ Alguns alunos tiveram dificuldade em eletrizar o canudo plástico atritando-o no cabelo. Então foi dada a sugestão de testarem no uniforme da escola, na calça ou até mesmo no guardanapo que foi levado para sala de aula.

²⁴ Fala do filme *Harry Potter e a Pedra Filosofal* que simboliza um feitiço usado para levitação dos objetos.

se levantou e não abaixou após o canudo de plástico ser afastado, conforme o esperado. Quando conseguiam uma boa eletrização por atrito do canudo plástico observava-se que a tirinha de papel de seda se levantava rapidamente e ficava um bom tempo erguida.

Alguns alunos, tanto da turma do 9º ano quanto da turma do 3º ano, tiveram bastante dificuldade em eletrizar o canudo plástico para poder eletrizar o eletroscópio. Quando esse episódio acontecia, notou-se que os demais colegas que haviam sido bem sucedidos logo iam em auxílio dos amigos para que eles também conseguissem realizar o experimento.

Dando prosseguimento aos experimentos, ainda com o eletroscópio eletrizado, os estudantes aproximaram o dedo do eletroscópio na frente da tirinha de papel de seda, sem tocá-la. Observaram então como a tirinha se orientava apontando para o dedo do estudante. Os estudantes que obtiveram uma boa eletrização do eletroscópio no segundo experimento conseguiram levantar a tirinha de papel de seda bem alto acompanhando a ponta do dedo perto dela, fazendo ângulos maiores que 90° entre a tirinha de papel de seda e a cartolina do eletroscópio.

Após observar o comportamento da tirinha de papel de seda no experimento anterior e com o eletroscópio ainda carregado, os estudantes tocaram a cartolina com o dedo e observaram que a tirinha de papel de seda abaixava imediatamente. Ela permanecia abaixada após afastar o dedo. Além disso, a tirinha não mais levantava quando se aproximava o dedo novamente da tirinha. Vários estudantes, no desejo de explicar algo novo que haviam presenciado, argumentaram que “o dedo roubava a carga do eletroscópio”.

- *2ª semana:*

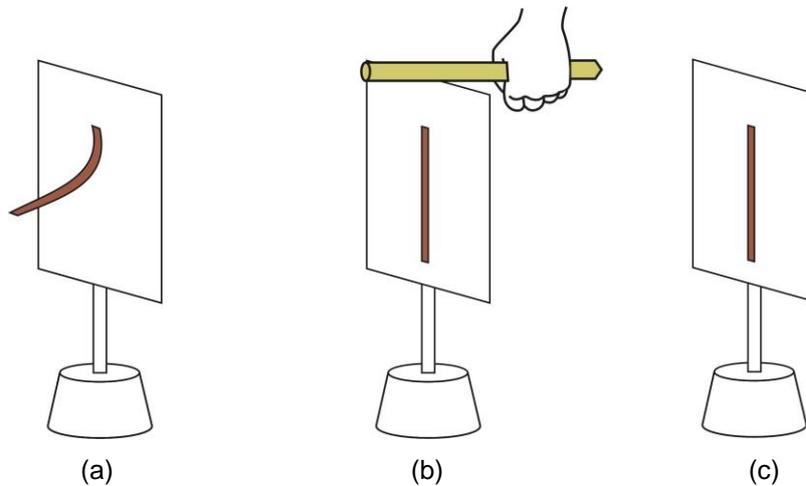
Continuando com os experimentos utilizando o eletroscópio, na segunda aula foi feito um teste com os materiais dispostos nos *kits*²⁵ e em outros materiais para observar quais deles abaixavam ou não abaixavam a tirinha de papel de seda. O procedimento realizado está melhor detalhado no 5º experimento²⁶ do Apêndice B.

²⁵ Conferir materiais descritos no Capítulo 4, seção 4.2 (p. 34-35).

²⁶ Conferir p. 88.

Os estudantes eletrizaram o eletroscópio com o canudo de plástico previamente atritado no cabelo. Em seguida seguraram na mão o objeto a ser testado e o encostaram na borda superior da cartolina do eletroscópio eletrizado. Em alguns casos a tirinha de papel de seda abaixava imediatamente, como ocorre com o espeto de madeira ilustrado na Figura 20.

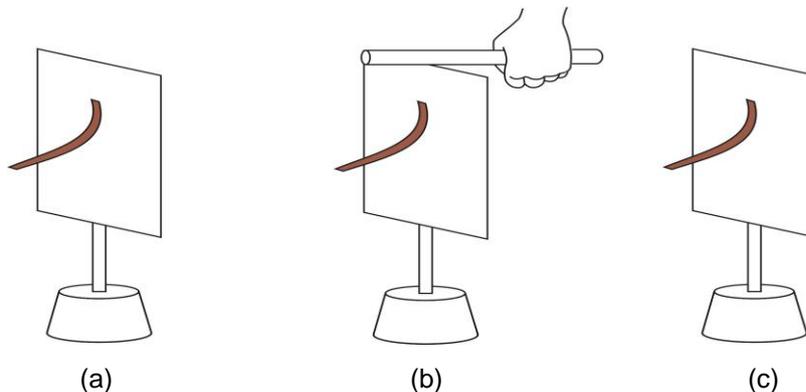
Figura 20. (a) Eletroscópio inicialmente carregado. (b) Toca-se em sua cartolina com a ponta de um palito de madeira segurado pela mão. Observa-se que a tirinha abaixa imediatamente. (c) Afasta-se o palito e a tirinha continua abaixada.



Fonte: Acervo Pessoal.

Em outros casos a tirinha de papel de seda permanecia levantada, como ocorre com o canudo de plástico ilustrado na Figura 21.

Figura 21. (a) Eletroscópio inicialmente carregado. (b) Toca-se em sua cartolina com a ponta de um canudo plástico neutro segurado pela mão. Observamos que nada ocorre com a tirinha. (c) Afasta-se o canudo e a tirinha continua levantada.



Fonte: Acervo Pessoal.

Foi pedido para que fizessem no caderno uma tabela onde anotariam o objeto testado e se este abaixava ou não a tirinha de papel de seda do eletroscópio.

Além dos materiais que estavam no *kit*, os alunos foram incentivados a testarem outros objetos como borracha, grafite, parede, interruptor de luz, vidro da janela e qualquer outro objeto que eles quisessem testar que estavam em sala de aula. Vários estudantes testaram o celular, a capinha do celular, o metal da janela, aparelho ortodôntico, armação dos óculos, lente dos óculos, além dos objetos mencionados anteriormente.

Os últimos materiais testados foram a água e o óleo, colocados em um copinho de café em cima da mesa do professor. Cada aluno testou se a água ou o óleo abaixavam ou não a tirinha do eletroscópio. É importante ressaltar que os alunos eletrizavam novamente o eletroscópio após cada material abaixar a tirinha de seda.

Alguns estudantes das duas turmas notaram que as borrachas, principalmente, se comportavam de formas distintas: algumas dessas borrachas abaixavam a tirinha de seda do eletroscópio, enquanto outras não abaixavam a tirinha do eletroscópio. E eles mesmos propuseram hipóteses para explicar tal observação. As hipóteses foram desde a influência da cor da borracha, os materiais de que eram feitas ou até mesmo a maneira como foram produzidas.

Após a realização do experimento, montamos a tabela no quadro negro e os estudantes disseram quais materiais abaixavam ou não a tirinha de seda do eletroscópio. Foram notadas algumas divergências nas observações, oportunidade na qual discutimos a razão de tais discrepâncias. Em seguida, lembrando a fala da primeira aula de que “o dedo roubava a carga do eletroscópio”, separamos os materiais em “os que roubaram a carga do eletroscópio” e “os que não roubaram a carga do eletroscópio”.

Em discussão sobre a tal separação dos materiais, chegamos à conclusão de que os objetos que “roubaram” a carga do eletroscópio conduziram essa carga para o solo e, portanto, são aqueles chamados de condutores. Por conseguinte, os que não “roubaram” a carga do eletroscópio, não conduzindo a carga para o solo, são chamados de isolantes.

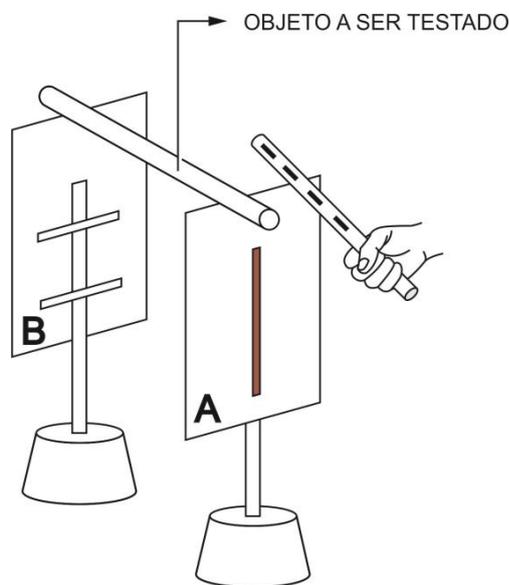
Muitos estudantes, principalmente do 3º ano do Ensino Médio, se surpreenderam com os resultados obtidos na experimentação. Em particular, encontraram nas experiências que a madeira e algumas borrachas comportavam-se

como condutores, sendo que estes materiais são usualmente classificados em alguns livros didáticos como sendo isolantes.

- *3ª semana:*

Com a utilização de dois eletroscópios realizou-se o 6º experimento disposto no Apêndice B, cuja finalidade é a observação de materiais que podem ou não conduzir carga de um eletroscópio para outro. Foram utilizados os materiais da 2ª aula, dispostos conforme a Figura 22.

Figura 22. Testando quais materiais são capazes de carregar um eletroscópio ligado a outro.



Fonte: Acervo Pessoal.

Nesta experiência colocamos os eletroscópios A e B de costas um para o outro, ligados por um objeto a ser testado (um palito de madeira ou um canudo plástico, por exemplo). Raspamos então um canudo eletrizado na borda superior do eletroscópio A até que sua tirinha fique bem levantada. Observamos então o que acontece com a tirinha do eletroscópio B. No caso de alguns objetos de ligação como um palito de madeira, ela também fica levantada. No caso de outros objetos de ligação como um canudo plástico, ela não levanta.

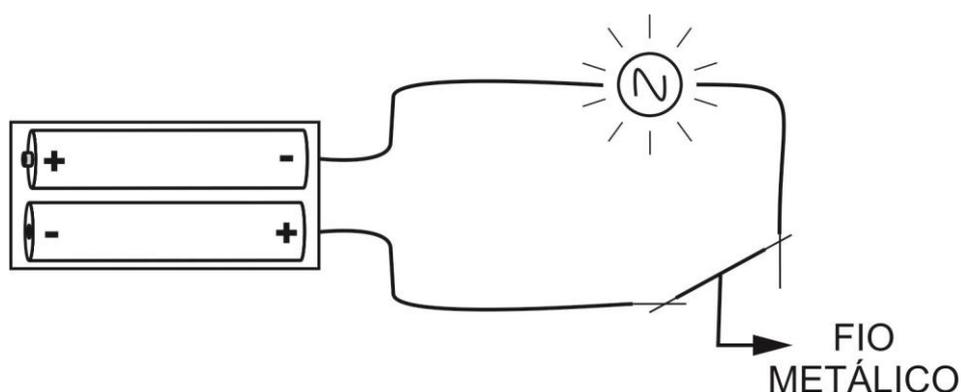
Os estudantes também fizeram uma tabela no caderno para anotar quais materiais levantavam ou não a tirinha de seda do segundo eletroscópio quando se

raspava o canudo de plástico, previamente atritado no cabelo, no primeiro eletroscópio. Como os objetos que levantaram a tirinha de seda do segundo eletroscópio são os mesmos que abaixaram a tirinha de seda do eletroscópio da aula anterior, este experimento reforça a discussão da 2ª aula em relação aos objetos que abaixam ou não a tirinha de seda do eletroscópio. Neste caso, os materiais condutores conduziram a carga do primeiro para o segundo eletroscópio e os materiais isolantes não conduziram a carga do primeiro para o segundo eletroscópio.

Outro experimento feito nesta aula, foi o teste dos materiais que são condutores ou isolantes para baixas diferenças de potencial elétrico utilizando um circuito simples composto por duas pilhas, fios de cobre e uma lâmpada como descrito na Figura 19 e no 7º experimento do Apêndice B²⁷. Este instrumento foi entregue aos alunos já montado, devido à manipulação com o ferro de solda.

Para testar o comportamento de um material específico, ele era colocado entre as extremidades livres dos fios da Figura 19. Caso a lâmpada acendesse, como ocorre quando este material é um outro fio metálico, o material é chamado de condutor, Figura 23.

Figura 23. Fio metálico colocado entre as extremidades livres dos fios. Neste caso observamos que a lâmpada acende. Chamamos o material de condutor.

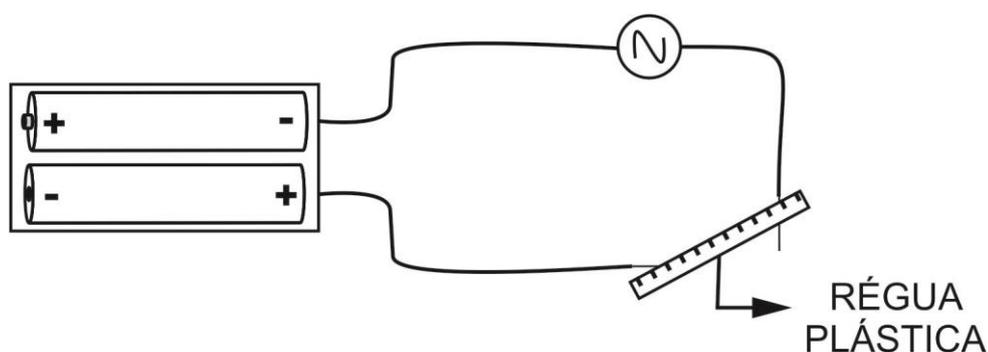


Fonte: Arquivo Pessoal.

²⁷ Conferir Apêndice B, 7º experimento (p. 90).

Caso a lâmpada fique apagada, como ocorre quando este material é uma régua plástica ou um palito de madeira, o material é chamado de isolante, Figura 24.

Figura 24. Régua plástica colocada entre as extremidades livres dos fios. Neste caso observamos que a lâmpada não acende. Chamamos o material de isolante.



Fonte: Arquivo Pessoal.

O intuito do experimento era testar quais materiais eram capazes de acender a lâmpada do circuito. Foram testados todos os materiais dos experimentos anteriores. Os alunos rapidamente constataram que apenas os objetos de metal eram capazes de acender a lâmpada. Logo os estudantes começaram a investigar outros materiais que pareciam ser de metal como brincos, fivelas, alargadores de orelha, parafusos, armários, entre outros.

- **4ª semana:**

Nesta aula os alunos finalizaram²⁸ a montagem do pêndulo elétrico utilizando os materiais disponíveis no *kit*, conforme detalhado na subseção 4.2.3 do Capítulo 4.

O primeiro experimento utilizando o pêndulo elétrico consistiu em eletrizá-lo por meio de um canudo de plástico previamente atritado no cabelo. Conforme os estudantes aproximavam o canudo de plástico carregado do círculo de papel do pêndulo elétrico, foi observado que o círculo de papel era atraído pelo canudo até se tocarem. Quando a eletrização do canudo de plástico estava muito boa, ou seja,

²⁸ Parte do material foi entregue aos alunos pronto, haja vista o risco de ferimentos devido à utilização de agulhas para prender a linha no canudo de plástico.

quando ele foi muito bem atritado com o cabelo, o círculo de papel do pêndulo elétrico era imediatamente repellido após tocar no canudo de plástico.

Alguns estudantes tiveram dificuldade em conseguir o efeito de repulsão na primeira tentativa. Foram orientados a atritar o canudo várias vezes no cabelo e encostá-lo no círculo de papel até que este fosse repellido pelo canudo de plástico. Uma aluna da turma do 3º ano do Ensino Médio conseguiu uma eletrização tão boa do canudo ao atritá-lo no cabelo que, quando o círculo de papel do pêndulo elétrico encostou no canudo, ouviu-se um estalo.

O segundo experimento desta aula consistiu em investigar o mecanismo de atração, contato e repulsão, também chamado de mecanismo *ACR*²⁹. Os estudantes posicionaram o pêndulo elétrico entre a própria mão e um canudo de plástico eletrizado. O círculo de papel do pêndulo elétrico oscilava tocando alternadamente o canudo de plástico atritado e a mão. Os estudantes ficaram entusiasmados e fascinados com o fenômeno verificado. Inclusive “competiram” entre si para ver quem conseguia o maior número de oscilações.

No terceiro experimento realizado nesta aula, o pêndulo eletrizado foi utilizado para verificar quais canudos de plástico, ao serem atritados em diferentes tipos de materiais, ficaram com cargas positivas e quais ficaram com cargas negativas. Este experimento está detalhado no Apêndice B³⁰.

Inicialmente um canudo plástico era bem atritado no cabelo e aproximado do disco de papel de um pêndulo elétrico. O disco era atraído pelo canudo, tocava nele e passava então a ser repellido pelo canudo. Informamos que neste caso tanto o canudo quanto o disco de papel ficaram negativamente eletrizados.

Os estudantes atritaram diversos canudos de plástico em diferentes materiais. Eles atritaram um canudo de plástico no cabelo, outro canudo de plástico no guardanapo, atritaram outro canudo entre dois pedaços de tubo de PVC e outro canudo de plástico entre dois pedaços de mangueira plástica de chuveiro. Apenas os tubos de PVC não estavam nos *kits* entregue aos alunos, mas foram levados no dia dos experimentos.

Conforme atritavam os canudos de plástico nos materiais citados acima, os canudos foram aproximados, um de cada vez, do círculo de papel do pêndulo já eletrizado. Os estudantes puderam perceber que o círculo de papel do pêndulo

²⁹ Conferir descrição do 9º experimento no Apêndice B (p. 91).

³⁰ Conferir 10º experimento do Apêndice B (p. 91).

elétrico era repelido pelos canudos de plástico atritados no cabelo e no guardanapo. E que o círculo de papel do pêndulo elétrico era atraído pelos canudos de plástico atritados entre os tubos de PVC e entre as mangueiras plásticas de chuveiro.

Após uma discussão sobre o experimento e adotando por convenção que o canudo de plástico atritado no cabelo torna-se negativo, foi constatado que os canudos de plástico atritados entre os tubos de PVC e as mangueiras de chuveiro tornam-se positivos, enquanto o canudo de plástico atritado no guardanapo torna-se negativo.

Outro experimento realizado na aula foi utilizando o Versório de Du Fay para observar as cargas obtidas pelos canudos de plástico³¹. Os estudantes montaram o versório de Du Fay conforme o apresentado na subseção 4.2.5 no Capítulo 4 desta dissertação.

Com o versório de Du Fay montado, os alunos encostaram o canudo de plástico atritado no cabelo no papel alumínio do versório. Observaram então que o versório girava, com o papel alumínio se afastando do canudo eletrizado. Depois pegaram o outro canudo de plástico que foi atritado entre os tubos de PVC e o aproximaram do papel de alumínio do versório. Perceberam agora que o versório girava novamente, mas agora com o papel de alumínio se aproximando deste canudo atritado no PVC. Este processo foi repetido com os outros canudos de plásticos do experimento anterior. Com este experimento os estudantes conseguiram comprovar os resultados dos experimentos com o pêndulo elétrico. Ou seja, dois corpos negativamente eletrizados se repelem, dois corpos positivamente eletrizados se repelem, enquanto que um corpo positivamente eletrizado atrai um outro corpo negativamente eletrizado.

- *5ª semana:*

Para corroborar com os resultados obtidos na aula anterior, foi realizada outra experiência com tiras de plástico presas a palitos de madeira³². Cada aluno coloriu a ponta de um palito de madeira com caneta hidrocor preta e a do outro palito de madeira com caneta hidrocor vermelha. Prendeu uma tira plástica com fita adesiva em um destes palitos e outra tira plástica no outro palito.

³¹ Conferir 11º experimento do Apêndice B (p. 92).

³² Conferir experiência detalhada no 12º experimento do Apêndice B (p. 92).

Cada um dos quatro estudantes do grupo atritou uma das tiras plásticas em um material diferente. Enquanto um dos estudantes atritava no cabelo a tira plástica presa no palito de madeira marcado com a ponta preta, o segundo estudante do grupo atritava a tira plástica do outro palito de madeira com a ponta preta entre os dedos. Ao mesmo tempo, o terceiro estudante atritava a tira plástica presa ao palito de madeira com a ponta vermelha entre dois tubos de PVC, ao passo que o quarto estudante atritava a outra tira plástica presa no outro palito de madeira com a ponta vermelha entre as mangueiras plástica de chuveiro.

Após atritá-las, segurando os palitos, os alunos tentaram aproximar as tiras plásticas presas nos palitos de madeira com as pontas pretas e elas se repeliram. O mesmo foi feito com as tiras plásticas dos palitos de madeira com as pontas vermelhas, obtendo o mesmo resultado (repulsão entre as tiras). Já uma tira plástica presa a um palito com a ponta vermelha atraía outra tira plástica presa a um palito com a ponta preta. Desta forma puderam concluir que as tiras plásticas dos palitos de madeira da mesma cor tinham a mesma carga e que as tiras plásticas dos palitos de madeira de cores diferentes tinham cargas diferentes.

O experimento seguinte utilizou dois eletroscópios para a observação da conservação de carga elétrica³³. Um dos eletroscópios foi carregado conforme feito nas experiências anteriores. Uma vez carregado, o outro eletroscópio foi colocado ao lado do primeiro, de modo que suas cartolinas se tocassem. Com isso os alunos verificaram que a tirinha de seda do primeiro eletroscópio abaixou um pouco enquanto a tirinha de seda do segundo eletroscópio levantou proporcionalmente.

Também foi feito o experimento³⁴ com um dos eletroscópios carregado negativamente (utilizando o canudo de plástico atritado no cabelo) e o outro eletroscópio carregado positivamente (utilizando o canudo de plástico atritado entre dois tubos de PVC). Quando suas cartolinas se tocaram, na maior parte dos casos notou-se que as tirinhas de seda dos eletroscópios abaixaram quase que ficando descarregadas. Alguns estudantes conseguiram carregar os dois eletroscópios com a mesma quantidade de carga e assim, quando encostaram as cartolinas uma na outra, as duas tirinhas de seda abaixaram completamente.

No quarto experimento da aula utilizando os dois eletroscópios, os estudantes os colocaram descarregados em contato um com o outro pelas

³³ Conferir detalhamento no 13º experimento do Apêndice B (p. 94).

³⁴ Conferir Apêndice B, 14º experimento (p. 94).

cartolinas. Os eletroscópios ficaram lado a lado, com as bordas verticais de suas cartolinas se encostando. Após eletrizar a régua de plástico, atritando-a no guardanapo, ela foi aproximada da borda vertical da cartolina de um dos eletroscópios sem que se encostassem. Os estudantes perceberam que a tirinha de seda do outro eletroscópio também levantou. Sem que a régua de plástico fosse movida, o eletroscópio mais distante da régua de plástico foi separado e afastado do eletroscópio que estava mais próximo da régua. Somente depois disto é que a régua de plástico foi retirada.

Os alunos puderam notar que a tirinha de seda do eletroscópio mais afastado da régua de plástico continuou levantada, ao passo que a tirinha de seda do eletroscópio mais próximo da régua de plástico voltou a sua posição inicial levantada. Com este experimento observamos a eletrização por indução.

- *6ª semana:*

Nesta aula foi feita a construção do instrumento utilizado para estudar a polarização de um condutor com os materiais descritos na subseção 4.2.6 presente no Capítulo 4.

Este experimento visa observar a polarização de um condutor. Para que a visualização pudesse ser efetiva, além deste instrumento utilizamos um pêndulo elétrico e um versório metálico³⁵. Devido a umidade do ar mais intensa, neste dia não foi possível alcançar bons resultados de polarização. Assim, o versório foi utilizado para identificar se os Planos de Prova de Coulomb realmente estavam eletrizados, enquanto que o pêndulo elétrico foi utilizado para descobrir a carga dos Planos de Prova de Coulomb.

Os estudantes montaram os instrumentos citados acima em suas carteiras de forma que ficassem o mais distante possível entre si para que não houvesse nenhuma outra influência³⁶. Para se ter uma boa polarização, ao invés de atritar um canudo de plástico no cabelo os alunos utilizaram uma régua de plástico atritada no guardanapo.

Como descrito no 16º experimento³⁷, após a montagem dos instrumentos os estudantes atritaram a régua de plástico no guardanapo e aproximaram-na da

³⁵ Conferir descrição do instrumento na subseção 4.2.4 do Capítulo 4 (p. 38).

³⁶ Conferir exemplo ilustrado na Figura 65 do Apêndice B (p. 96).

³⁷ Conferir Apêndice B (p. 96).

borda da cartolina maior. Enquanto um dos estudantes do grupo segurava a régua, outro estudante testava se os Planos de Coulomb estavam carregados usando o versório metálico. Em seguida, aproximava-os do pêndulo que foi eletrizado com a régua atritada no guardanapo.

Quando o Plano de Coulomb próximo da régua foi testado, os alunos puderam constatar que ele possuía carga de sinal contrário à carga da régua. Em relação ao Plano de Coulomb mais afastado da régua, os estudantes verificaram que o instrumento e a régua possuíam carga de mesmo sinal. Já o Plano de Coulomb que estava no meio da cartolina não possuía carga. Desta forma puderam perceber que um condutor pode ser polarizado.

O último experimento feito nesta aplicação do produto consistia em fazer uma semente de dente-de-leão flutuar em cima de uma régua de plástico eletrizada³⁸. Os alunos atritaram muito bem uma régua de plástico no guardanapo e soltaram a semente de dente-de-leão, levada no dia dessa experiência, acima da régua eletrizada. A semente foi gradativamente repelida assim que tocou a régua, causando a percepção de estar “flutuando” sobre régua. Em alguns casos foi necessário dar “batidinhas” na régua para que a semente se soltasse.

A reação dos alunos foi inicialmente de espanto, sendo em seguida transformada em um misto de curiosidade e euforia. Os estudantes logo buscaram referências culturais sobre fantasia e magia, típicas do universo dos adolescentes, com frases como “Sou o Harry Potter!”. Foi muito gratificante poder ver essas reações vindas dos alunos.

- *7ª semana:*

Nesta última aula foi aplicado o questionário final cuja cópia se encontra no Apêndice A deste trabalho para que os alunos respondessem com base nos experimentos feitos durante a aplicação do produto. Foi pedido também que os alunos escrevessem textos livres com as considerações a respeito da metodologia utilizada e opiniões sobre as aulas.

Neste dia os alunos puderam levar seus *kits* com os instrumentos montados para casa.

³⁸ Conferir 17º experimento, Apêndice B (p. 97).

Capítulo 6

Resultados

A seguir analisaremos os questionários respondidos nas duas turmas participantes da aplicação do produto. Conforme mencionado, o questionário foi submetido aos alunos no início e no término da aplicação do produto. Além disso, ao final solicitamos aos estudantes que fizessem os textos livres acerca de suas avaliações sobre as atividades. Os resultados obtidos a partir dos materiais levantados nas duas turmas serão analisados separadamente, ressaltando as diferenças na percepção entre os estudantes em diferentes estágios da formação escolar.

6.1 Análise dos Questionários na Turma do 9º Ano do Ensino

Fundamental

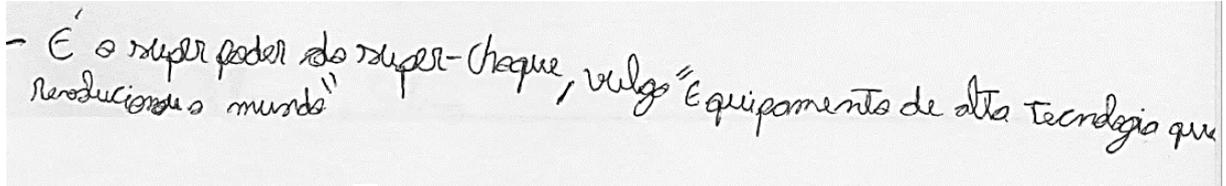
O primeiro questionário tinha como objetivo levantar as concepções gerais prévias dos estudantes sobre o tema eletricidade, bem como alguns conceitos que trabalharíamos durante o processo de aplicação do produto. O questionário final, igual ao primeiro, foi aplicado com a finalidade de estabelecermos um fundo comparativo entre as repostas dos alunos para observar se houve alguma mudança em suas concepções.

Desta forma, pudemos observar que, de forma geral, houve uma evolução e um entendimento melhor dos conceitos abordados durante os experimentos. Ilustraremos essas percepções através de algumas respostas dadas ao questionário que mais nos chamaram atenção, sendo ricas para nossa análise.

Como podemos ver na Figura 25, o aluno “A25”³⁹ no primeiro questionário respondeu que eletricidade:

³⁹ Usaremos o número da chamada para identificar os alunos.

Figura 25. Resposta do estudante “A25” referente à primeira questão do primeiro questionário.



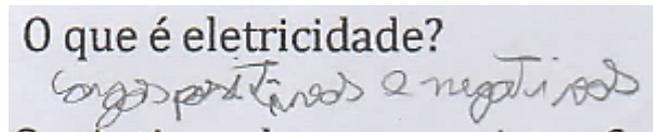
- É o super poder do super-choque, vulgo "Equipamentos de alta tecnologia que revolucionou o mundo"

“É o poder do super-choque, vulgo ‘equipamento de alta tecnologia que revolucionou o mundo’.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Nesta fala ele fez uma alusão a um desenho animado chamado “Super-Choque”. Já na Figura 26, temos sua resposta ao segundo questionário aplicado:

Figura 26. Resposta do estudante “A25” referente à primeira questão do segundo questionário.



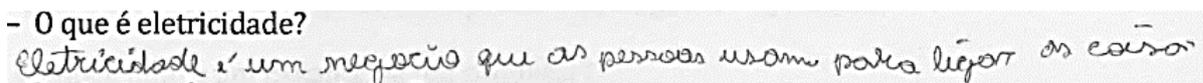
O que é eletricidade?
Cargas positivas e negativas

“Cargas positivas e negativas.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Ainda sobre o conceito de eletricidade, outro estudante que chamaremos de “A5” escreveu em seu primeiro questionário demonstrado na Figura 27:

Figura 27. Resposta do estudante “A5” referente à primeira questão do primeiro questionário.



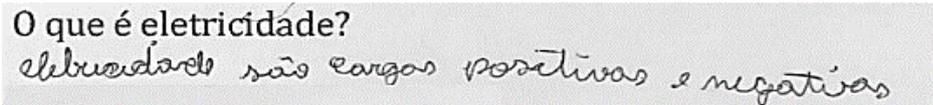
- O que é eletricidade?
Eletricidade é um negócio que as pessoas usam para ligar as coisas

“Eletricidade é um negocio (sic) que as pessoas usam para ligar as coisas.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Já no segundo questionário, conforme exposto na Figura 28, o aluno respondeu:

Figura 28. Resposta do estudante “A5” referente à primeira questão do segundo questionário.



O que é eletricidade?
eletricidade são cargas positivas e negativas

“eletricidade são cargas positivas e negativas.”

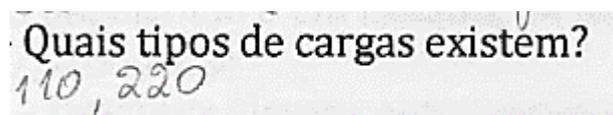
Fonte: Acervo Pessoal.

Esses exemplos nos mostram que houve uma modificação no entendimento sobre o que é eletricidade. Eletricidade deixou de ser uma “coisa” ou um tipo de energia para se tornar um conceito relacionado às cargas elétricas.

Ao analisarmos a questão sobre os tipos de cargas existentes, foi possível perceber que a maioria dos estudantes já concebiam o que seriam as cargas elétricas. Duas respostas nos chamaram muito a atenção.

Nas Figuras 29 e 30 abaixo estão as respostas do estudante “A5” no primeiro e segundo questionários respectivamente:

Figura 29. Resposta do estudante “A5” referente à segunda questão do primeiro questionário.



Quais tipos de cargas existem?
110, 220

“110, 220.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 30. Resposta do estudante “A5” referente à segunda questão do segundo questionário.

Quais tipos de cargas existem?

Positivas e Negativas

“Positivas e negativas.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Pudemos perceber que houve uma transformação no entendimento do conceito de cargas elétricas. Inicialmente ele confundia o conceito de carga elétrica com o conceito de voltagem (provavelmente se referindo a 110 V e a 220 V). Depois da realização das experiências ele incorporou o conceito de dois tipos de carga elétrica, a saber, positivas e negativas.

Também observamos essa mudança de pensamento quando comparamos as respostas do primeiro e do segundo questionários do estudante “A19”, como podemos ver nas Figuras 31 e 32 abaixo:

Figura 31. Resposta do estudante “A19” referente à segunda questão do primeiro questionário.

Quais tipos de cargas existem?

(Não sei) eletromagnética, estática e não lembro as outras

“Eletromagnética, estática e não lembro as outras.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 32. Resposta do estudante “A19” referente à segunda questão do segundo questionário.

Quais tipos de cargas existem?

Cargas positivas e negativas

“Cargas positivas e negativas.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Quando perguntamos no questionário sobre como saber o tipo de carga, algumas respostas nos apontaram que os experimentos feitos em sala de aula foram fundamentais na transição de pensamento dos estudantes.

O estudante “A10” respondeu no primeiro questionário que não sabia como fazer para saber o tipo de carga. Após fazermos os experimentos, ele respondeu em seu segundo questionário que poderia usar o pêndulo para tal. A maioria dos estudantes conseguiram associar o experimento usando o pêndulo eletrostático para saber qual o tipo de carga do corpo eletrizado.

Temos abaixo um exemplo onde o estudante “A17” não respondeu esta questão no primeiro questionário e, ao responder o segundo (Figura 33), associou o experimento do pêndulo elétrico às cargas elétricas:

Figura 33. Resposta do estudante “A17” referente à terceira questão do segundo questionário.

A photograph of a handwritten response on lined paper. The text reads: "Como saber o tipo de carga? usando o pêndulo". The handwriting is in black ink and is somewhat cursive.

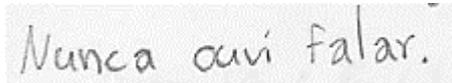
“Usando o pêndulo.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Um dos principais pontos de nossa pesquisa foi o trabalho com os conceitos sobre condutores e isolantes para altas e baixas diferenças de potencial. De acordo com a descrição no capítulo anterior, utilizamos o eletroscópio para fazer a diferenciação entre condutores e isolantes para altas diferenças de potencial. Quando o objeto estudado abaixava a tirinha de seda do eletroscópio ele era denominado “condutor”; caso contrário era denominado “isolante”.

Nos chamou a atenção como esta denominação ficou marcada na aprendizagem dos estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental. Como exemplo temos a seguir, nas Figuras 34 e 35 respectivamente, as respostas do estudante “A1” para a questão sobre condutores no primeiro e segundo questionários.

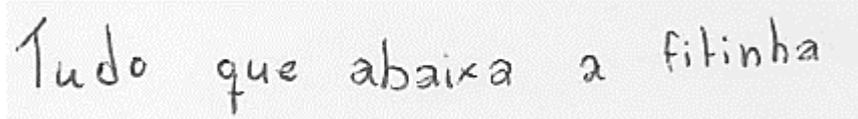
Figura 34. Resposta do estudante “A1” referente à quarta questão do primeiro questionário.



“Nunca ouvi falar.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 35. Resposta do estudante “A1” referente à quarta questão do segundo questionário.

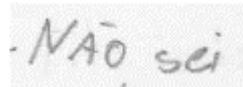


“Tudo que abaixa a fitinha.”

Fonte: Acervo Pessoal.

E para os isolantes as respostas nos dois questionários estão sequencialmente expostas nas Figuras 36 e 37.

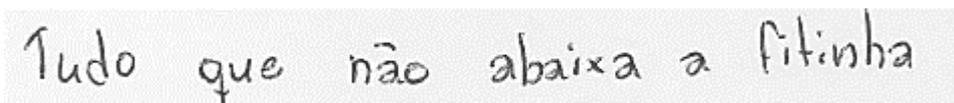
Figura 36. Resposta do estudante “A1” referente à sexta questão do primeiro questionário.



“Não sei.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 37. Resposta do estudante “A1” referente à sexta questão do segundo questionário.



“Tudo que não abaixa a fitinha.”

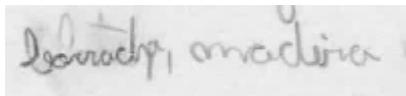
Fonte: Acervo Pessoal.

Apesar de todas as discussões em sala de aula durante e após os experimentos, percebemos que algumas concepções ficaram mais arraigadas do que imaginamos. Um desses exemplos foi o comportamento como “condutor” ou “isolante” do palito de madeira.

Para altas diferenças de potencial ele se comporta como um material condutor, ou seja, abaixa a tirinha de seda do eletroscópio carregado. Para baixas diferenças de potencial ele se comporta como isolante, ou seja, não acende a lâmpada do circuito elétrico simples.

Observamos que os estudantes que mencionaram a madeira no primeiro questionário como sendo um material isolante também o fizeram no segundo questionário. Trazemos abaixo dois exemplos, nas Figuras 38 e 39 que correspondem às respostas do estudante “A12” e nas Figuras 40 e 41 as respostas do estudante “A16” respectivamente.

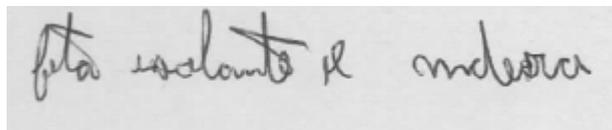
Figura 38. Resposta do estudante “A12” referente à sétima questão do primeiro questionário.



“borracha, madeira”

Fonte: Acervo Pessoal.

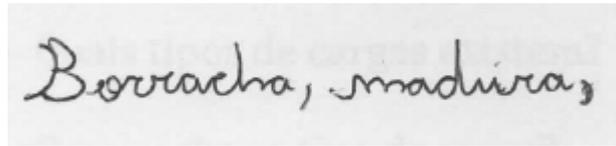
Figura 39. Resposta do estudante “A12” referente à sétima questão do segundo questionário.



“fita isolante e madeira”

Fonte: Acervo Pessoal.

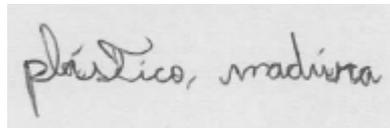
Figura 40. Resposta do estudante “A16” referente à sétima questão do primeiro questionário.



Borracha, madeira,

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 41. Resposta do estudante “A16” referente à sétima questão do segundo questionário.

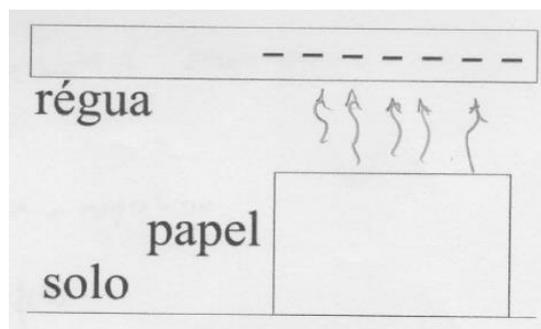


plástico, madeira

Fonte: Acervo Pessoal.

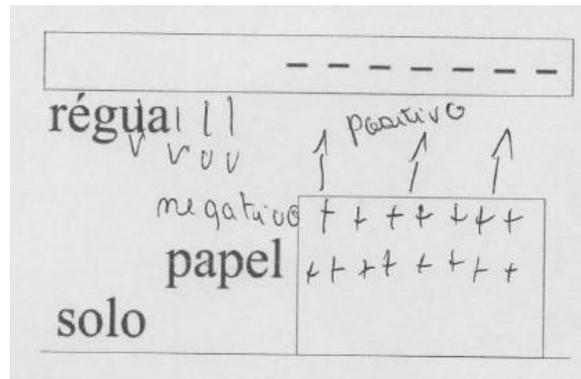
Ao analisarmos a décima questão dos questionários aplicados, um desenho nos chamou a atenção. No primeiro questionário o estudante “A15” apenas desenhou o que acontece com o papelzinho quando a régua plástica carregada é aproximada dele (Figura 42). Já no segundo questionário ele nos mostrou um entendimento melhor de como as cargas se distribuem no papelzinho enquanto está sendo atraído pela régua plástica carregada (Figura 43).

Figura 42. Resposta do estudante “A15” referente à décima questão do primeiro questionário.



Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 43. Resposta do estudante "A15" referente à décima questão do segundo questionário.



Fonte: Acervo Pessoal.

6.2 Análise dos Textos Livres na Turma do 9º Ano do Ensino Fundamental

Além dos questionários, os estudantes escreveram textos livres com suas considerações sobre as aulas com experimentos. Muitos dos estudantes, que nas aulas tradicionais onde tinham que copiar matéria e fazer exercícios ficavam extremamente apáticos, acharam que os experimentos foram interessantes. Abaixo anexamos cinco desses textos (Figura 44).

Figura 44. Depoimento de cinco alunos diferentes.

Axei esta experiência muito boa, e muito interessante, e muito mais melhor do que ficar escrevendo matéria.

Eu gostei muito dos experimentos, acho que nos ajudou a entender melhor, na prática, como a física funciona. Me senti em Hogwarts, e sinto que perdi meu caso cabeludo.

Minha conclusão é que as experiências foram interessantes para aprimorar mais o conhecimento em física e foi legal fazer aulas diferentes do que estamos acostumados a fazer.

Eu achei essa matéria e experiências boas, pois me surpreendeu, pois eu achava que seria chato e tedioso, mas foram boas.

“Eu achei essa matéria e experiências boas, pois me surpreendeu, pois eu achava que seria chato e tedioso (sic), mas foram boas.”

Na minha opinião achei muito interessante pois aprendemos na prática o que fica muito mais fácil de entender a matéria, além de disfarçarmos um pouco das aulas iguais ou seja foram aulas que renderam e não foram cansativas.

“Na minha opinião achei muito interessante pois aprendemos na prática o que fica muito mais fácil de entender a matéria, além de disfarçarmos (sic) um pouco das aulas iguais ou seja foram aulas que renderam e não foram cansativas.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Os demais textos não diferem significativamente dos apresentados acima. Estes textos nos mostram que a prática de experimentos feitos durante as aulas é importante para relacionar a física estudada na escola com os fenômenos observados no dia a dia. Esta metodologia é bem diferente da prática usual de aulas expositivas e baseadas apenas em fórmulas matemáticas e resoluções de exercícios teóricos.

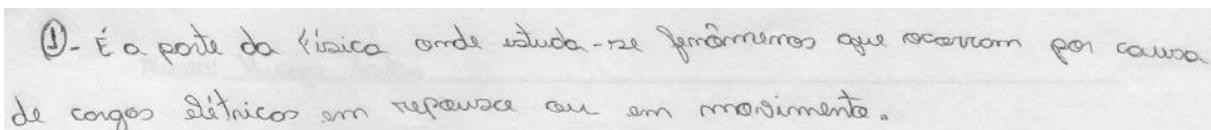
6.3 Análise dos Questionários na Turma do 3º Ano do Ensino Médio

Os questionários aplicados na turma do 3º ano do Ensino Médio tinham o mesmo propósito dos questionários aplicados na turma do 9º ano do Ensino Fundamental. Mas o primeiro questionário foi entregue aos estudantes para ser respondido em casa e ser devolvido no primeiro dia de realização dos experimentos.

Infelizmente, alguns estudantes pesquisaram as respostas na *internet* e em livros didáticos, apesar da solicitação expressa para que esse tipo de consulta não fosse realizada já que desejávamos analisar o conteúdo das respostas dadas espontaneamente pelos alunos, tal que pudéssemos observar os conceitos prévios que teriam sobre eletricidade. Abaixo trazemos alguns exemplos de respostas tiradas dos livros didáticos e sites da *internet*.

Nas Figuras 45 e 46 temos as respostas à primeira questão do primeiro questionário dos estudantes “A13” e “A37”, respectivamente. Já na Figura 47 temos as respostas do estudante “A40” às perguntas 4, 5, 6 e 7 do primeiro questionário.

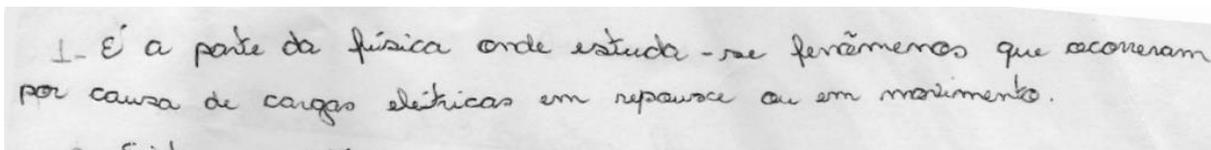
Figura 45. Resposta do estudante “A13” referente à primeira questão do primeiro questionário.



①- É a parte da física onde estuda-se fenômenos que ocorrem por causa de cargas elétricas em repouso ou em movimento.

Fonte: Acervo Pessoal.

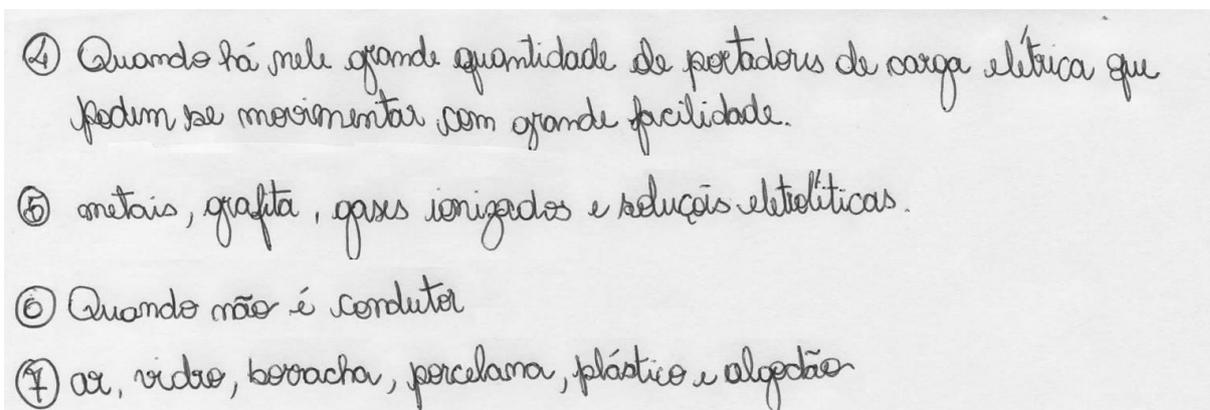
Figura 46. Resposta do estudante “A37” referente à primeira questão do primeiro questionário.



1- É a parte da física onde estuda-se fenômenos que ocorreram por causa de cargas elétricas em repouso ou em movimento.

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 47. Resposta do estudante “A40” referente às questões 4, 5, 6 e 7 do primeiro questionário.



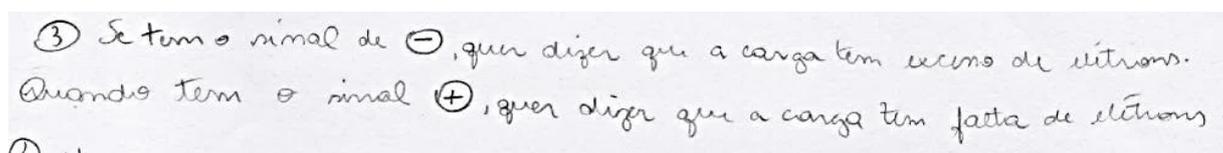
Fonte: Acervo Pessoal.

De qualquer forma, este episódio acabou não sendo totalmente prejudicial ao nosso trabalho.

Diferentemente da turma do 9º ano do Ensino Fundamental, os estudantes do 3º ano do Ensino Médio já haviam tido contato com os principais conceitos de eletrostática, como carga positiva e negativa. Deste modo, não houve drásticas mudanças nas respostas de algumas questões dos questionários.

Notamos que houve melhor entendimento dos conceitos estudados anteriormente, como podemos ver nas Figuras 48 e 49 que representam as respostas do estudante “A25” ao primeiro e ao segundo questionários respectivamente, quando perguntado como saber o tipo de carga.

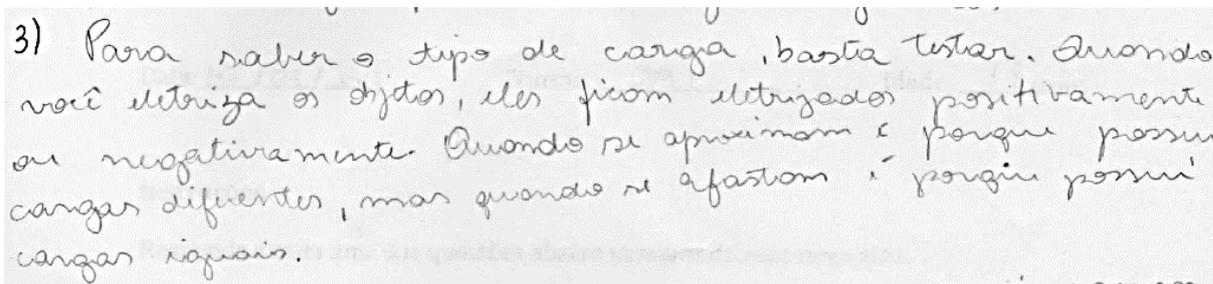
Figura 48. Resposta do estudante “A25” referente à terceira questão do primeiro questionário.



“Se tem o sinal \ominus , quer dizer que a carga tem excesso de elétrons. Quando tem o sinal \oplus , quer dizer que a carga tem falta de elétrons.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 49. Resposta do estudante "A25" referente à terceira questão do segundo questionário.



3) Para saber o tipo de carga, basta testar. Quando você eletriza os objetos, eles ficam eletrizados positivamente ou negativamente. Quando se aproximam é porque possuem cargas diferentes, mas quando se afastam é porque possuem cargas iguais.

“Para saber o tipo de carga, basta testar. Quando você eletriza os objetos, eles ficam eletrizados positivamente ou negativamente. Quando se aproximam é porque possuem cargas diferentes, mas quando se afastam é porque possuem cargas iguais.”

Fonte: Acervo Pessoal.

No caso específico deste aluno "A25", em vez de dar uma resposta puramente teórica como ilustrado na Figura 48, ele passou a se referir a um procedimento experimental específico relacionado com a atração ou repulsão observado entre dois corpos eletrizados, como ilustrado na resposta da Figura 49.

Parte significativa das respostas à esta questão obtidas no primeiro questionário fazem o vínculo entre os símbolos (+) e (-) com os conceitos de cargas positivas e negativas. Percebemos, deste modo, que a compreensão matemática destes símbolos são a resposta associativa mais comum dos alunos, alusão que restringiu a percepção dos estudantes no sentido deste ser o único modo de conhecer o tipo de carga de um material.

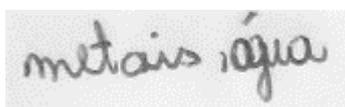
Após a aplicação do produto observamos que os estudantes se prenderam ao experimento do pêndulo elétrico, onde a atração e repulsão elétrica são bem visíveis. Eles utilizaram estes resultados para explicar se as cargas são do mesmo tipo ou de tipos contrários. Por mais que eles não tenham identificado quais cargas são negativas ou positivas, o fato desses termos não estarem ligados aos símbolos de (+) e (-) nos mostra uma compreensão menos matemática e mais fenomenológica destes conceitos.

Ainda que os conceitos de condutores e isolantes sejam mais intuitivos para a turma do 3º ano do Ensino Médio, dar exemplos relacionados a eles é uma tarefa mais complexa, pois deve-se considerar a diferença de potencial ao qual o material está submetido. A grande maioria dos livros didáticos e *sites da internet*, descrevem condutores e isolantes sem fazer essa diferenciação sobre a diferença

de potencial. Contudo, conforme descrito na seção 3.4 desta dissertação, um corpo que se comporta como um condutor para altas diferenças de potencial pode ser considerado isolante para baixas diferenças de potencial.

Isto posto, ao analisarmos os questionários, pudemos constatar que o trabalho feito em sala ofereceu aos estudantes um novo olhar sobre estes materiais. As Figuras 50 e 51 representam as respostas do estudante “A38” sobre a questão em que pedimos para dar alguns exemplos de materiais condutores, tanto no primeiro quanto no segundo questionários, respectivamente.

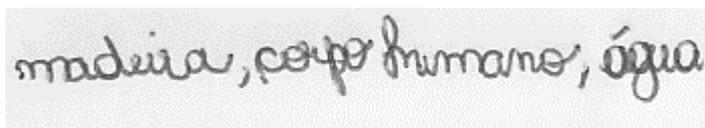
Figura 50. Resposta do estudante “A38” referente à quinta questão do primeiro questionário.

A photograph of a handwritten response on a piece of paper. The text is written in cursive and reads "metais, água".

“metais, água.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 51. Resposta do estudante “A38” referente à quinta questão do segundo questionário.

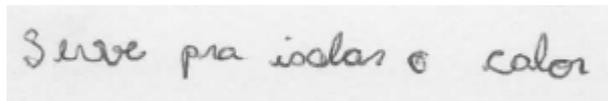
A photograph of a handwritten response on a piece of paper. The text is written in cursive and reads "madeira, corpo humano, água".

“madeira, corpo humano, água.”

Fonte: Acervo Pessoal.

As Figuras 52 e 53 representam as respostas do estudante “A5” sobre a questão em que perguntamos o que são materiais isolantes.

Figura 52. Resposta do estudante “A5” referente à sexta questão do primeiro questionário.

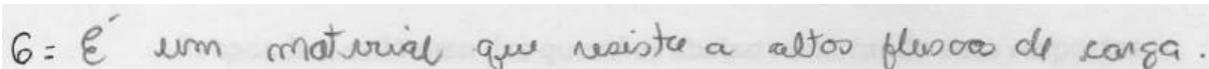


Serve pra isolar o calor

“Serve para isolar o calor”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 53. Resposta do estudante “A5” referente à sexta questão do segundo questionário.



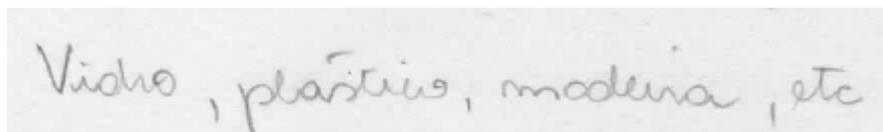
G = É um material que resiste a altos fluxos de carga.

“É um material que resiste a altos fluxos de carga.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Assim como na turma do 9º ano do Ensino Fundamental, algumas concepções são mais difíceis de serem mudadas, como é o exemplo do palito de madeira. Apesar das discussões, a concepção prévia de que a madeira é um material isolante ainda persiste na maneira de pensar dos estudantes. Abaixo retratamos nas Figuras 54 e 55 as respostas do estudante “A25” à questão em que pedimos para citar alguns materiais isolantes respectivamente ao primeiro e segundo questionário.

Figura 54. Resposta do estudante “A25” referente à sétima questão do primeiro questionário.

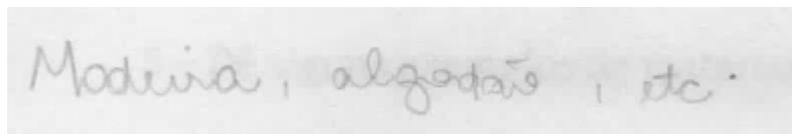


Vidro, plástico, madeira, etc.

“Vidro, plástico, madeira, etc.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 55. Resposta do estudante “A25” referente à sétima questão do segundo questionário.

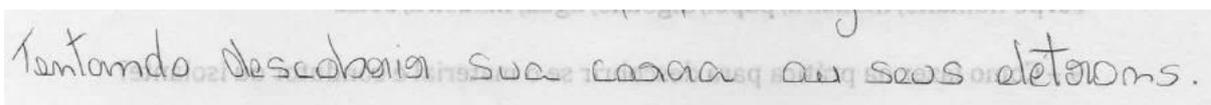


“Madeira, algodão, etc.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Ao perguntarmos como fazer na prática para sabermos se o material é condutor ou isolante, no primeiro questionário tivemos algumas respostas como “testando”, “não sei” e até respostas em branco. No segundo questionário, aplicado após os experimentos, percebemos que alguns estudantes associaram a experiência do eletroscópio com o teste de condutores e isolantes, como podemos ver nas Figuras 56 e 57 que representam as respostas do estudante “A16” a esta questão no primeiro e segundo questionários respectivamente.

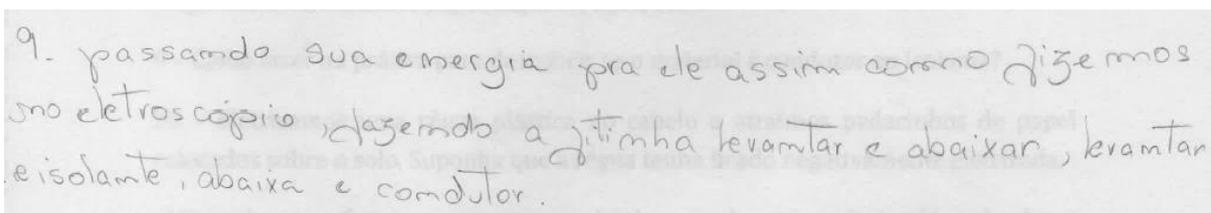
Figura 56. Resposta do estudante “A16” referente à nona questão do primeiro questionário.



“Tentando descobrir sua carga ou seus elétrons.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 57. Resposta do estudante “A16” referente à nona questão do segundo questionário.

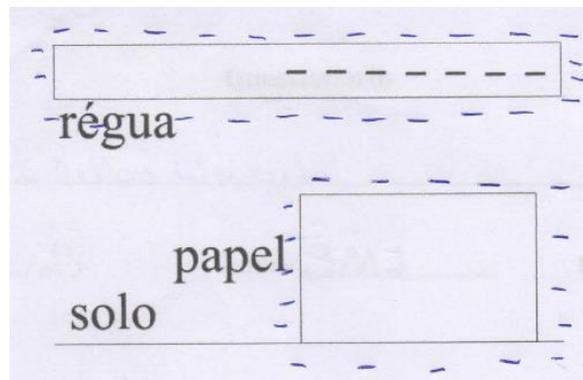


“passando sua energia pra ele assim como fizemos no eletroscópio, fazendo a fitinha levantar e abaixar, levantar é isolante, abaixa é condutor.”

Fonte: Acervo Pessoal.

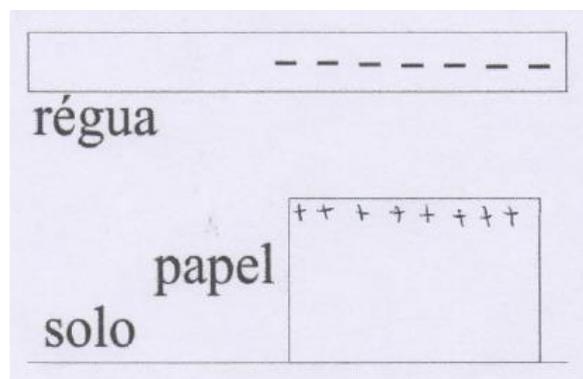
Ao analisarmos os desenhos referentes à décima questão dos questionários, nos deparamos com as respostas do estudante “A43”. A questão pede para que os estudantes desenhem com ficariam as cargas no papelzinho enquanto está sendo atraído por uma régua plástica carregada negativamente. Os desenhos para a questão estão representados nas Figuras 58 e 59 que correspondem ao primeiro e segundo questionários respectivamente.

Figura 58. Resposta do estudante “A43” referente à décima questão do primeiro questionário.



Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 59. Resposta do estudante “A43” referente à décima questão do segundo questionário.

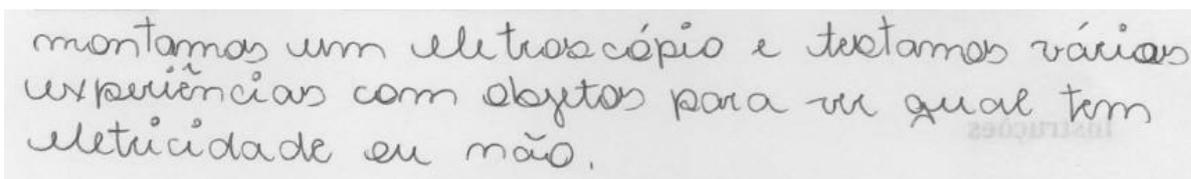


Fonte: Acervo Pessoal.

Observamos que anteriormente ao nosso trabalho, tal estudante tinha uma perspectiva de que as cargas elétricas ficavam espalhadas pela régua plástica e pelo papel, sendo ambas de mesmo sinal. No segundo questionário, sua resposta nos mostrou que houve um melhor entendimento sobre o que acontece quando aproximamos a régua plástica eletrizada de pedacinhos de papel.

Em nossa última questão do questionário pedimos aos alunos para descreverem alguma experiência que eles já haviam realizado a respeito do tema eletricidade. Notamos que as atividades feitas em sala de aula se tornaram uma experiência significativa em seu aprendizado. Nas Figuras 60 e 61 trazemos as respostas dos estudantes “A14” e “A40” para esta questão no segundo questionário, respectivamente.

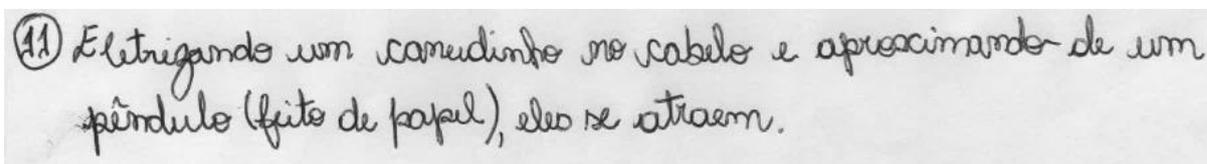
Figura 60. Resposta do estudante “A14” referente à décima primeira questão do segundo questionário.



montamos um eletroscópio e testamos várias experiências com objetos para ver qual tem eletricidade em mão.

Fonte: Acervo Pessoal.

Figura 61. Resposta do estudante “A40” referente à décima primeira questão do segundo questionário.



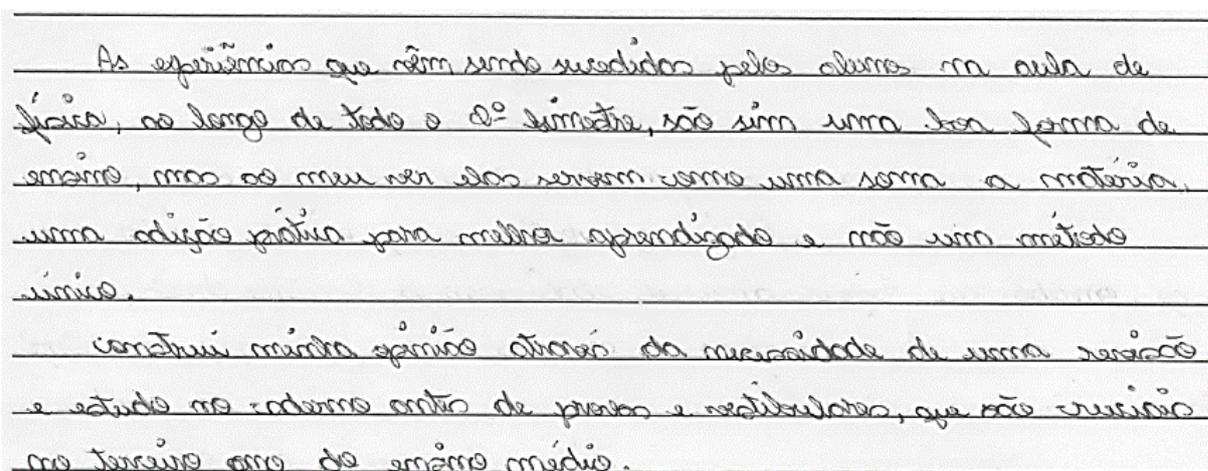
① Eletrizando um comedinho no cabelo e aproximando de um pêndulo (feito de papel), eles se atraem.

Fonte: Acervo Pessoal.

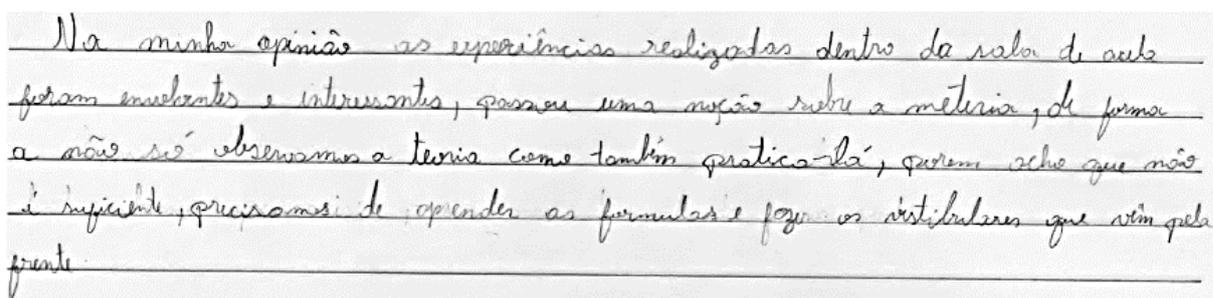
6.4 Análise dos Textos Livres na Turma do 3º Ano do Ensino Médio

Assim como feito com a turma do 9º ano do Ensino Fundamental, os estudantes do 3º ano do Ensino Médio também escreveram textos livres com suas ponderações sobre a aplicação dos experimentos. Abaixo, na Figura 62, mostramos alguns destes textos.

Figura 62. Depoimentos de alguns alunos.



“As experiências que vêm sendo sucedidas pelos alunos na aula de física, ao longo de todo o 2º bimestre, são sim uma boa forma de ensino, mas ao meu ver elas servem como uma soma a matéria, uma adição prática para melhor aprendizado e não um método único. Construí minha opinião através da necessidade de uma revisão e estudo no caderno antes das provas e vestibulares, que são cruciais no terceiro ano do ensino médio.”



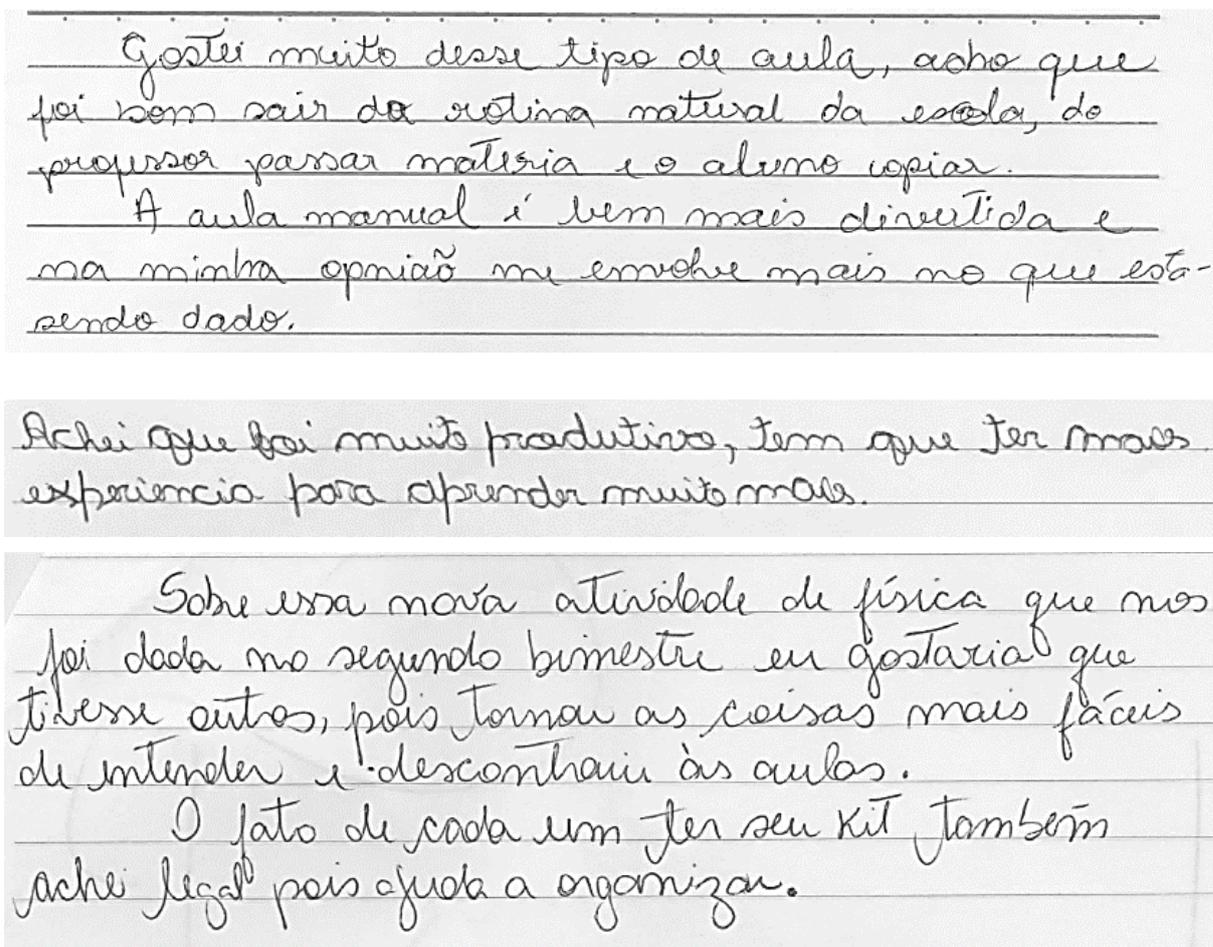
“Na minha opinião as experiências realizadas dentro da sala de aula foram envolventes e interessantes, passou uma noção sobre a matéria, de forma a não só observamos a teoria como também praticá-la, porem acho que não é suficiente, precisamos de aprender as formulas e fazer os vestibulares que vem pela frente.”

Fonte: Acervo Pessoal.

Diferentemente da turma do 9º ano do Ensino Fundamental, os estudantes concluintes do Ensino Médio têm uma preocupação maior com os vestibulares que irão prestar. Por essa razão, alguns alunos ainda se prendem à necessidade de memorizar fórmulas, matérias teóricas e resolver exercícios sobre todos os assuntos. Porém, esta preocupação não nos afasta do objetivo do nosso trabalho.

Os estudantes que mostravam sinais de indisciplina e falta de interesse durante as aulas expositivas do começo do ano letivo, se mostraram mais envolvidos e engajados durante a prática experimental. Apresentamos abaixo alguns textos destes estudantes (Figura 63).

Figura 63. Depoimento de alguns alunos.



Gostei muito dos experimentos, aprendi muito sobre condutor e isolante.
 Foi no final que fui ficando cansativo pois achei que demoreou um pouco mais tirando isso foi muito interessante achei que rendeu muito mais que matérias no quadro.
 Super adorei a pasta amei muito ♡
 ♡ ♡ ♡

Fonte: Acervo Pessoal.

Por estes relatos podemos verificar que os *kits* individuais foram bem aceitos pelos estudantes.

Observando os alunos do 3º ano do Ensino Médio que possuem deficiência mental, pudemos perceber que a interação com os outros estudantes da turma foi maior e mais significativa, mudando até seus comportamentos em sala de aula. Houve uma união de todos para que eles pudessem fazer os experimentos. Em relação aos experimentos em si, eles se sentiram mais envolvidos durante as aulas, pois puderam participar da montagem e da visualização dos fenômenos abordados.

A aluna "A26", ao final dos trabalhos, relatou que: "Foi muito bom participar das experiências. Particpei de verdade de uma aula de Física." Esta aluna tem hidrocefalia, o que não permite que ela participe ativamente das aulas tradicionais.

Analisando, de forma geral, as duas turmas, um dos aspectos que nos chamou atenção foi o envolvimento e a união entre os estudantes. Quando um estudante tinha dificuldade em montar algum instrumento ou realizar alguma experiência, os outros estudantes da turma se prontificavam para auxiliá-lo na tarefa. Outro aspecto que queremos enfatizar foi a observação da necessidade dos estudantes de explicarem os fenômenos vistos nos experimentos. As tentativas de explicações nos mostraram o engajamento destes alunos em associar os resultados observados com as discussões em sala de aula.

Capítulo 7

Conclusão

Neste trabalho apresentamos o desenvolvimento, construção e aplicação de um *kit* didático elaborado para auxiliar na aprendizagem dos principais conceitos de eletrostática no Ensino Fundamental e Médio. Além disso, exploramos diferentes aspectos de sua aplicação em sala de aula e fizemos uma análise dos resultados obtidos por esta abordagem.

A utilização de materiais de baixo custo faz do *kit* um produto acessível, que possibilita aos demais professores aplicá-lo em sala de aula ainda que não haja disponibilidade de laboratório ou de outros recursos estruturais na escola. Materiais como os canudos plásticos, os palitos de madeira e os tubos de PVC podem ser utilizados várias vezes. Tendo vida útil longa, podem ser utilizados por vários anos sem a necessidade de reposição. O circuito elétrico simples se utilizado de maneira correta também poderá ser empregado por vários anos (com exceção das pilhas que podem gastar e devem ser trocadas de tempos em tempos). Temos assim outro resultado positivo gerado pela observação dos custos e disponibilidade de materiais, o que viabiliza a distribuição de um *kit* por cada aluno. Eles podem levá-lo para a casa após seu uso, facilitando a manutenção do interesse pelo tema fora da sala de aula.

Quanto a utilização, destaca-se que o *kit* didático possibilitou aos estudantes a compreensão de conceitos abstratos como carga elétrica de modo próximo à realidade concreta, palpável. Com esta experiência pudemos enriquecer a dinâmica da sala de aula com elementos sócio-históricos que facilitam a interação entre os alunos e entre os alunos e o professor, oferecendo autonomia parcial e uma visão crítica e criativa do estudante em relação ao seu processo de aprendizado. O professor assume o seu papel de mediador entre o conhecimento científico e o aprendizado dos estudantes, saindo da postura tradicional de agente detentor/transmissor do conhecimento. O docente já não está ali para, conforme a expressão popular, “empurrar goela abaixo” o conhecimento. Em vez disso, ele está presente para partilhar o saber no papel do parceiro mais capaz, conforme nos mostra a teoria de Vygotsky.

Um resultado inesperado observado foi o interesse que as atividades práticas despertaram nos estudantes do 3º ano do Ensino Médio. Eles se sentiram

motivados a realizar várias experiências diferentes na FERIA de Ciências no final do ano letivo de 2017. Entre os experimentos que montaram estava o “Gerador eletrostático gotejante de Kelvin” que chama muita atenção pela sua complexidade na montagem e na execução dos experimentos. Este fato nos mostra que, através de nosso trabalho, os estudantes se sentiram motivados a buscar respostas além da sala de aula. O funcionamento deste gerador gotejante envolve essencialmente os conceitos de condutor e isolante, juntamente com os conceitos de cargas positivas e negativas (CAMILO e ASSIS, 2008).

Motivados pela atividade experimental, a meu convite os estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental da escola particular fizeram uma exposição dos experimentos para a turma do 8º ano da mesma escola. Os alunos apresentaram os instrumentos montados por eles executando algumas experiências feitas em sala de aula. Os estudantes do 8º ano do Ensino Fundamental ficaram muito entusiasmados com os experimentos mostrados pela turma do 9º ano, a ponto de alguns alunos pedirem para reproduzir os experimentos. Isto despertou em todos eles um sentimento de descoberta e compartilhamento tão necessários nos dias de hoje.

De modo geral, os alunos reagiram muito bem desde o momento do anúncio dos trabalhos com o *kit*. Não houve reações negativas ao seu uso e o fato de cada aluno poder montar seu próprio material os deixou mais motivados para a aplicação.

Aliás, a motivação por parte do professor é fundamental para que o ensino de Física esteja sempre se renovando. Durante a apresentação do nosso produto no IV Workshop De Pesquisa Em Ensino de Física, realizado na Universidade Federal de Juiz de Fora no fim do ano de 2017, um dos professores do Polo nos pediu para que ele pudesse aplicar o nosso produto em suas turmas do 3º ano EJA (Educação de Jovens e Adultos). Ele viu em nosso *kit* uma possibilidade de ensinar Física de uma maneira mais atrativa para seus alunos. Outros professores do ensino fundamental e médio durante o processo de desenvolvimento do *kit* também se mostraram interessados em utilizá-lo em sala de aula.

Uma das principais dificuldades encontradas foi em relação ao clima. Nossos experimentos são muito sensíveis aos dias úmidos (ou chuvosos) e/ou quentes. O calor e a umidade dificultam o acúmulo de carga diminuindo, desta forma, a intensidade dos fenômenos e sua observação. Sugerimos ao professor que tenha uma segunda estratégia para tais dias.

Ao nosso ver, a utilização do *kit* didático durante as aulas de Física nas turmas do 9º ano do Ensino Fundamental e do 3º ano do Ensino Médio se mostrou de grande valia no auxílio tanto da apresentação quanto da compreensão dos principais conceitos de eletrostática aos quais o *kit* se destina. Com o produto desenvolvido, esperamos colaborar para que mais professores busquem conquistar novos resultados para o ensino de Física em particular. É necessário nos preparar para assumir o papel de tornar os alunos e a nós mesmos (afinal, educação é uma atividade reflexiva) verdadeiros cidadãos críticos e participativos na sociedade em que vivemos.

Referências Bibliográficas

- ASSIS, André Koch Torres. **Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011a. 270 p. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>>. Acesso em: 13 mar. 2018.
- ASSIS, André Koch Torres. **Os Fundamento Experimentais e Históricos da Eletricidade**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011b. 270 p. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>>. Acesso em: 13 mar. 2018.
- ASSIS, André Koch Torres. **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Volume 2. Montreal: Apeiron, 2018. Disponível em <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/>>. Acesso em: 25 mai. 2018.
- BOSS, Sérgio Luiz Bragatto; ASSIS, André Koch Torres; CALUZI, João José. **Stephen Gray e a Descoberta dos Condutores e Isolantes: Tradução Comentada de Seus Artigos sobre Eletricidade e Reprodução de Seus Principais Experimentos**. 1 ed. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica da Unesp, 2012. 464 p. Disponível em: <http://www.culturaacademica.com.br/catalogo-detalle.asp?ctl_id=354>. Acesso em: 13 mar. 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. PCN+ do Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos PCN. **Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf> Acesso em: 13 mar. 2018.
- CAMILO, J. e ASSIS, A. K. T., **Construção de um gerador eletrostático gotejante: chuva elétrica de Kelvin**, A Física na Escola, Vol. 9, p. 29-32 (2008).
- GASPAR, Alberto. **Atividades experimentais no ensino de Física: Uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014a. 252 p.
- GASPAR, Alberto. **Experiências de Ciências**. 2 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014b. 328 p.
- GILBERT, W. **On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth**, volume 28, pp. 1-121 of Great Books of the Western World. Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1978. Translated by P. F. Mottelay.
- HAUKSBEE, F. **An Account of an Experiment Made before the Royal Society at Gresham-Colledge, Touching the Extraordinary Elistricity of Glass, Produceable on a Smart Attrition of It; With a Continuation of Experiments on the Same Subject, and Other Phenomena**. Philosophical Transactions, v. 25, n. 305-312, p. 2327-2335, 1706-1707.
- HEILBRON, John Lewis. **Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics**. University of California Press, 1979.
- MACHADO, Kleber Daum. **Teoria do Eletromagnetismo**. 1 ed. Ponta Grossa: UEPG, 2000. 927 p.

NEWTON, Isaac. **Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. São Paulo: Nova Stella/Edusp, 1990. **Livro I: O Movimento dos Corpos**. Tradução de T. Ricci, L. G. Brunet, S. T. Gehring e M. H. C. Célia.

NEWTON, Isaac. **Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. São Paulo: Edusp, 2008. **Livro II: O Movimentos dos Corpos (em Meios com Resistência). Livro III: O Sistema do Mundo (Tratado Matematicamente)**. Tradução de A. K. T. Assis.

SILVA, Cibelle Celestino; PIMENTEL, Ana Carolina. Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. In: **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 141-159, 2008.

VIGOTSKII, Lev Semenovich; LURIA, Alexander Romanovich; LEONTIEV, Alex N.. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. 6 ed. São Paulo: Ícone Editora, 1998. 228 p.

VYGOTSKY, Lev Semenovitch. **A Formação Social da Mente: O Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

Apêndice A

Questionário

O questionário aqui apresentado foi utilizado para a percepção dos conceitos prévios dos estudantes acerca do tema “Eletricidade”. Nele abordamos conceitos que apresentaríamos aos alunos através da aplicação do produto, dos experimentos e das discussões em sala de aula.

Ele também foi utilizado ao final da aplicação do produto para podermos analisar a evolução dos conceitos apresentados.

Questionário

Nome: _____

Data: ____/____/____

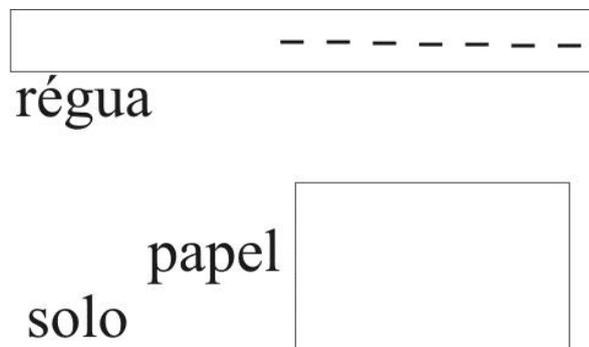
Turma: _____

Idade: _____

Instruções

Responda a cada uma das questões abaixo numerando suas respostas.

- 1 – O que é eletricidade?
 - 2 – Quais tipos de cargas existem?
 - 3 – Como saber o tipo de carga?
 - 4 – O que é um material condutor?
 - 5 – Dê alguns exemplos de materiais condutores.
 - 6 – O que é um material isolante?
 - 7 – Dê alguns exemplos de materiais isolantes.
 - 8 – Diga se é condutor ou isolante cada um dos seguintes materiais: metal, plástico, corpo humano, madeira, papel, algodão, água, seda.
 - 9 – Como fazer na prática para descobrir se o material é condutor ou isolante?
 - 10 – Eletrizamos uma régua plástica no cabelo e atraímos pedacinhos de papel colocados sobre o solo. Suponha que a régua tenha ficado negativamente eletrizada.
- a) Desenhe, na Figura abaixo, como ficam as cargas no papelzinho quando está sendo atraído pela régua:



- b) Qual a carga total no papelzinho:
- 1 - Nula 2 - Negativa 3 - Positiva
- c) O papelzinho é um isolante ou um condutor?
- 11 – Descreva alguma outra experiência que você já fez sobre eletricidade.

Apêndice B

Sequência e Dinâmica das Aulas

Neste apêndice, detalhamos na sequência em que foram aplicados e apresentados nesta dissertação, os experimentos realizados em sala de aula durante a aplicação do produto e o que se espera que os alunos observem com tais experimentos. Em algumas situações será necessária a intervenção do professor a fim de levar o aluno a formalizar suas hipóteses relacionadas aos fenômenos presentes nos experimentos.

Alguns dos experimentos foram realizados em grupo para uma melhor manipulação dos instrumentos utilizados.

1º experimento

Com o eletroscópio montado⁴⁰, os alunos irão aproximar e afastar o canudo de plástico, previamente atritado no cabelo, da tirinha de papel de seda do eletroscópio sem encostar nela para observar que ela se levanta quando se aproxima o canudo e abaixa quando o canudo é afastado.

Este experimento nos mostra a influência de um corpo carregado (canudo de plástico) em um corpo inicialmente neutro (tirinha de papel de seda). Observa-se que o corpo inicialmente neutro se orienta no sentido do corpo carregado.

2º experimento

Os alunos eletrizam um canudo plástico atritando-o no cabelo, na camisa ou em um guardanapo de papel. Em seguida eles raspam algumas vezes o canudo eletrizado na borda superior da cartolina do eletroscópio. Observam que a tirinha de papel de seda levanta da cartolina durante este procedimento. Ela permanece levantada após o afastamento do canudo eletrizado.

Com este experimento conseguimos mostrar que um pouco da carga do canudo de plástico foi passado para o eletroscópio após o contato. Ou seja, conseguimos eletrizar o eletroscópio.

⁴⁰ Conferir Capítulo 4, subseção 4.2.2 (p. 36).

3º experimento

Com o eletroscópio carregado, os alunos irão aproximar o dedo da tirinha de papel de seda pela frente, sem tocá-la, para observar que a tirinha se orienta apontando para o dedo.

Neste caso, observamos que o corpo carregado (tirinha de papel de seda) orienta-se no sentido do corpo inicialmente neutro (dedo).

4º experimento

Os alunos irão tocar com o dedo na cartolina do eletroscópio carregado para observar que a tirinha imediatamente abaixará e não mais se levantará quando se aproximar o dedo dela.

Assim os alunos deverão perceber que o eletroscópio não estará mais carregado após ser tocado com o dedo. Ou seja, conseguimos descarregar o eletroscópio. Este procedimento também é chamado de aterramento.

5º experimento

Apresentamos agora uma das experiências mais importantes. Através dela podemos classificar os corpos como condutores ou isolantes no que diz respeito aos fenômenos eletrostáticos. Inicialmente carregamos um eletroscópio como no 2º experimento, tal que sua tirinha de papel de seda fique levantada em relação à cartolina. Depois seguramos um corpo com a mão e o encostamos na borda superior da cartolina do eletroscópio eletrizado. Caso a tirinha abaixe, como ocorre com um arame ou com um palito de madeira, o corpo será classificado como condutor. Caso a tirinha permaneça levantada, como ocorre com uma régua plástica ou com um pedaço de isopor, o corpo será classificado como isolante.

Com o eletroscópio carregado, os alunos testarão quais dos materiais que estão no *kit* (cartolina, rolha, linhas, palito de madeira, etc.) descarregam o eletroscópio, ou seja, quais materiais abaixam a tirinha de papel de seda e quais materiais não descarregam o eletroscópio.

Para isso, os alunos encostarão cada material na cartolina do eletroscópio. Caso o material observado descarregue o eletroscópio, o corpo será considerado um condutor. Será então necessário eletrizá-lo novamente, conforme o 2º experimento, antes de testar o próximo corpo. Caso o material não descarregue o eletroscópio, o corpo será considerado como um isolante.

Sugerimos ao professor que instigue os alunos a testarem outros materiais que não se encontram no *kit*, como borrachas, vidro da janela, carteira, grafite, canetas, entre outros. Além desses materiais, deverão ser testados água e óleo colocados em copinhos de café. Sugerimos também que, a cada teste, os alunos anotem no caderno os resultados obtidos pois, alguns materiais como a borracha, por exemplo, podem dar resultados diferentes dependendo do material de que são feitas e/ou do processo de fabricação.

Neste caso, os materiais que descarregam o eletroscópio são denominados *condutores* e os que não descarregam o eletroscópio são denominados *isolantes*.

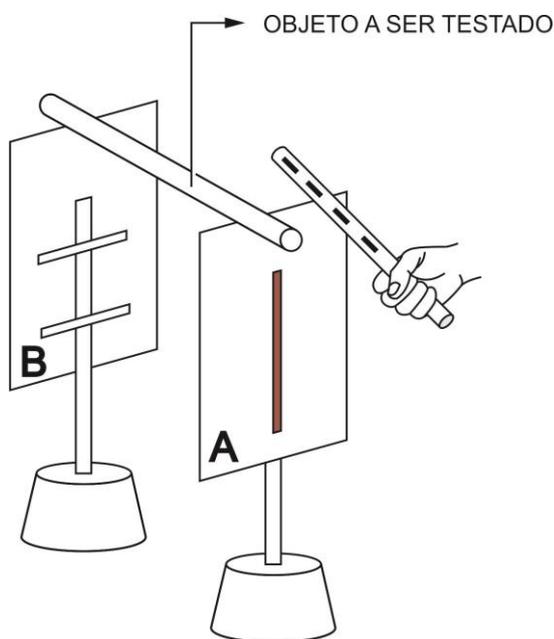
6º experimento

Neste experimento os alunos irão investigar quais materiais testados no experimento 5 são capazes de carregar um eletroscópio ligado a outro.

Como mostrado na Figura 64, colocam-se dois eletroscópios descarregados de costas um para o outro. Apoia-se o objeto a ser testado sobre as bordas superiores das cartolinas dos dois eletroscópios. Raspa-se um canudo de plástico previamente atritado sobre a parte superior da cartolina do eletroscópio A, por exemplo, e observa-se se as tirinhas de papel de seda dos dois eletroscópios se levantaram. Caso isso ocorra, o objeto colocado ligando as duas cartolinas é um condutor; caso apenas a tirinha de seda do eletroscópio A se levante, significa que o objeto testado é um isolante.

É importante ressaltar que, durante o experimento, não se pode encostar a mão nos objetos a serem testados pois, como o dedo é um condutor não se conseguirá constatar qual dos objetos testados são condutores e quais objetos são isolantes.

Figura 64. 6º experimento: testando quais materiais são capazes de carregar um eletroscópio ligado a outro.



Fonte: Acervo Pessoal.

7º experimento

Vamos utilizar o circuito elétrico simples⁴¹ para verificar quais objetos possuem propriedades condutoras ou isolantes para baixas diferenças de potencial. Serão testados os materiais presentes no *kit* e tantos outros quanto queiram.

Os alunos irão encostar os objetos a serem testados, um por vez, entre as extremidades desencapadas dos fios que estão ligados às pilhas e à lâmpada. Quando os objetos são capazes de acender a lâmpada, dizemos que são bons condutores para baixas diferenças de potencial. Quando os objetos não são capazes de acender a lâmpada, eles são maus condutores para baixas diferenças de potencial, ou seja, são chamados de isolantes.

⁴¹ Conferir montagem explicitada na subseção 4.2.8 no Capítulo 4 (p. 45).

8º experimento

Após montar o Pêndulo Elétrico⁴², os alunos irão atritar o canudo de plástico no cabelo e aproximá-lo do círculo de papel do pêndulo até que o círculo toque no canudo de plástico e seja repelido por ele. Caso a repulsão não seja imediata, o estudante deverá atritar o canudo de plástico no cabelo quantas vezes forem necessárias para que o pêndulo esteja bem carregado e haja a repulsão elétrica. A repulsão acontece devido ao círculo de papel do pêndulo elétrico obter carga com o mesmo sinal da carga do canudo de plástico ao encostar no mesmo. Este é o chamado mecanismo de atração, contato e repulsão, também chamado de mecanismo ACR.

9º experimento

Este experimento visa observar o mecanismo ACR, onde o círculo de papel do pêndulo elétrico é atraído pelo canudo de plástico, anteriormente atritado no cabelo, há o contato entre eles e após ocorre a repulsão.

Os alunos colocarão o pêndulo elétrico entre o canudo de plástico atritado e a própria mão. Irão aproximar o canudo de plástico atritado do círculo de papel do pêndulo elétrico até que haja o contato. Ao ser repelido, o círculo de papel irá se aproximar da mão do aluno, tocando-a. Ao tocar a mão do estudante, o círculo de papel do pêndulo elétrico, que antes estava carregado, descarrega, voltando a ser atraído pelo canudo de plástico e o mecanismo se repete várias vezes.

10º experimento

Ainda com o pêndulo eletrizado, conforme o 7º experimento, os estudantes irão atritar diversos canudos de plástico em materiais diferentes como mangueiras de chuveiro, tubos de PVC, cabelo, blusa, guardanapo, entre outros para testar quais canudos de plástico ficam carregados positivamente e quais canudos de plástico ficam carregados negativamente.

Carrega-se o canudo de plástico atritando-o entre dois tubos de PVC de aproximadamente 15 centímetros, segurando-os de forma que o canudo de plástico fique preso entre eles. Em seguida, puxa-se o canudo rapidamente. O mesmo processo é feito para carregar o canudo de plástico com as mangueiras plásticas de chuveiro.

⁴² Conferir Capítulo 4, seção 4.2.3 (p. 37).

Após atritar o canudo de plástico no material, aproxima-se o canudo do círculo de papel do pêndulo elétrico. Caso haja repulsão entre o pêndulo e o canudo de plástico atritado, diz-se que os dois possuem carga de mesmo sinal; caso haja atração, dizemos que as cargas do canudo de plástico atritado e do pêndulo possuem sinais opostos.

Adotamos em nossos experimentos que, quando atritamos o canudo de plástico com o cabelo, com a blusa de algodão ou com o guardanapo de papel, o canudo fica carregado negativamente com base na Série Triboelétrica.

11º experimento

O Versório de Du Fay⁴³ será utilizado para observar as cargas obtidas pelos canudos de plástico quando atritados em materiais diferentes, tal como no experimento anterior.

Após sua montagem, os estudantes irão atritar o primeiro canudo de plástico no cabelo e encostar no papel alumínio do Versório de Du Fay. Assim que se encosta o canudo de plástico no papel alumínio, pode-se notar uma repulsão elétrica entre o papel alumínio e o canudo de plástico que foi encostado no papel alumínio.

Em seguida os estudantes atritam diversos canudos em materiais diferentes (cada canudo é atritado em um único material). Depois aproximam cada um destes novos canudos atritados do papel de alumínio do versório de Du Fay que havia encostado e sido repelido pelo primeiro canudo atritado no cabelo.

Caso haja atração, o canudo de plástico que foi aproximado do versório tem carga de sinal contrário ao primeiro canudo de plástico que foi atritado no cabelo e encostado no versório de Du Fay. Caso haja repulsão, o canudo de plástico que foi aproximado do versório tem carga de mesmo sinal ao primeiro canudo de plástico que foi atritado no cabelo e encostado no versório de Du Fay.

12º experimento

Neste experimento iremos construir um instrumento análogo a um dos inúmeros instrumentos construído por Stephen Gray: a tira pendular plástica⁴⁴.

⁴³ Conferir Capítulo 4, subseção 4.2.5 (p. 39).

⁴⁴ Conferir Capítulo 4, subseção 4.2.7 (p. 43).

Assim como o pêndulo elétrico, com este instrumento podemos analisar qual tipo de carga um corpo apresenta ao ser atritado com outros corpos.

Em cada lápis ou espeto de madeira prende-se uma tira plástica tendo 4 centímetros de largura e 16 centímetros de comprimento.

Atrita-se, uma de cada vez, duas dessas tiras de plástico com os dedos, pressionando-as entre o dedo indicador e o dedo médio, movendo-os de forma rápida de cima para baixo ao longo da tira de plástico. Em seguida, aproximamos os palitos de madeira com as tiras de plástico lateralmente sem que se toquem. É observado que as tiras de plástico se afastam devido à repulsão. Caso não seja observado tal fenômeno, passa-se as tiras mais vezes entre os dedos rapidamente.

Repete-se o experimento com duas outras tiras de plástico neutras atritando-as entre dois tubos de PVC de aproximadamente 15 centímetros, segurando-os de forma que a tira de plástico fique presa entre eles. Em seguida, puxa-se a tira rapidamente com cuidado para que não rasgue. Aproxima-se, então, os dois palitos de madeira e observa-se que também há repulsão entre as tiras que foram atritadas nos tubos de PVC.

Este experimento é refeito atritando duas tiras de plástico entre duas mangueiras plásticas de chuveiro, assim como atritando outras duas tiras de plástico no cabelo. Percebe-se que há repulsão entre as duas tiras de plástico que foram atritadas nas mangueiras de chuveiro. Também há repulsão entre as duas tiras plásticas que foram atritadas no cabelo.

Como sugerido anteriormente, faz-se uma marcação nos palitos de madeira com canetas hidrocor de cores diferentes para não misturar quais tiras foram atritadas em quais materiais. Por exemplo, pode-se marcar as tiras de plástico atritadas entre os dedos com uma caneta hidrocor da cor verde, as atritadas entre os tubos de PVC com uma caneta hidrocor da cor laranja e assim por diante.

Usaremos estas tiras de plástico atritadas para verificar a atração entre elas. Pega-se uma tira de plástico que foi atritada entre os dedos e aproxima-se de outra tira de plástico atritada entre os tubos de PVC. Nota-se que agora houve uma atração entre as tiras de plástico. Refaz-se este processo testando as outras tiras de plástico.

Percebe-se a atração entre as tiras de plástico atritadas entre os dedos e as atritadas entre os tubos de PVC, entre as tiras de plástico atritadas entre os dedos e as atritadas entre as mangueiras de chuveiro, entre as tiras de plástico

atritadas no cabelo e as atritadas entre os tubos de PVC, e entre as tiras de plástico atritadas no cabelo e as atritadas entre as mangueiras de chuveiro. Percebe-se a repulsão entre as tiras de plástico atritadas entre os dedos e as atritadas no cabelo. Também ocorre uma repulsão entre uma tira de plástico atritada entre os tubos de PVC e uma outra tira de plástico atritada entre as mangueiras de chuveiro.

Esta experiência permite que as tiras de plástico possam ser colocadas em dois grupos distintos, A e B. Observa-se uma repulsão entre duas tiras quaisquer do grupo A. Também há uma repulsão entre duas tiras quaisquer do grupo B. Porém, ao aproximar uma tira qualquer do grupo A de uma outra tira qualquer do grupo B, observa-se uma atração entre elas. As tiras de plástico do grupo A são aquelas atritadas no cabelo ou entre dois dedos. Já as tiras do grupo B são aquelas atritadas entre dois tubos de PVC ou entre duas mangueiras de chuveiro.

13º experimento

Com este experimento os alunos irão verificar a conservação de carga elétrica. Serão utilizados dois eletroscópios, sendo um dos eletroscópios carregado de acordo com o 2º experimento⁴⁵ e o outro eletroscópio descarregado.

Depois de se carregar o primeiro eletroscópio, os alunos irão encostar a cartolina do segundo eletroscópio na cartolina do primeiro eletroscópio e observar o que acontece com as tirinhas de seda dos dois eletroscópios.

Deverá ser notado que enquanto a tirinha de papel de seda do eletroscópio carregado abaixa-se um pouco, a tirinha do eletroscópio descarregado levanta-se um pouco também. Assim, podemos dizer que a carga do eletroscópio carregado se “espalhou” entre os dois eletroscópios.

14º experimento

Continuando com a verificação da conservação de carga elétrica, neste experimento serão utilizados os dois eletroscópios do experimento anterior.

Para esta ocasião, os estudantes irão eletrizar um eletroscópio com o canudo de plástico atritado no cabelo. Assim ele ficará com carga negativa⁴⁶. A cartolina do outro eletroscópio será raspada com o canudo que foi atritado entre as

⁴⁵ Conferir Apêndice B (p. 87).

⁴⁶ Conferir explicação no 10º experimento (p. 91).

duas mangueiras de chuveiro. Este segundo eletroscópio ficará então carregado com carga positiva.

Posteriormente à eletrização dos eletroscópios, os estudantes irão encostar um eletroscópio no outro pelas cartolinas. Deverá ser observado que as duas tirinhas de seda dos eletroscópios abaixam-se. Caso o estudante consiga carregá-los com a mesma quantidade de carga, notará que as duas tirinhas de seda dos eletroscópios abaixarão completamente.

15º experimento

Este experimento tem por finalidade observar o efeito de eletrização por indução utilizando dois eletroscópios descarregados.

Primeiramente os estudantes irão colocar os dois eletroscópios descarregados em contato um com o outro, encostando suas cartolinas. Ou seja, os eletroscópios ficarão um ao lado do outro, com as bordas laterais de suas cartolinas estando em contato. Em seguida, irão atritar a régua no guardanapo e a aproximarão da borda lateral de um dos eletroscópios e verificarão se as duas tirinhas de seda dos dois eletroscópios se levantaram. Caso isso não aconteça, a régua precisará ser mais atritada no guardanapo.

Após as duas tirinhas de seda estarem levantadas, os estudantes irão afastar⁴⁷ o eletroscópio que está mais longe da régua, se possível levando-o para outra carteira. Em seguida, a régua também deverá ser afastada do eletroscópio que está mais perto dela.

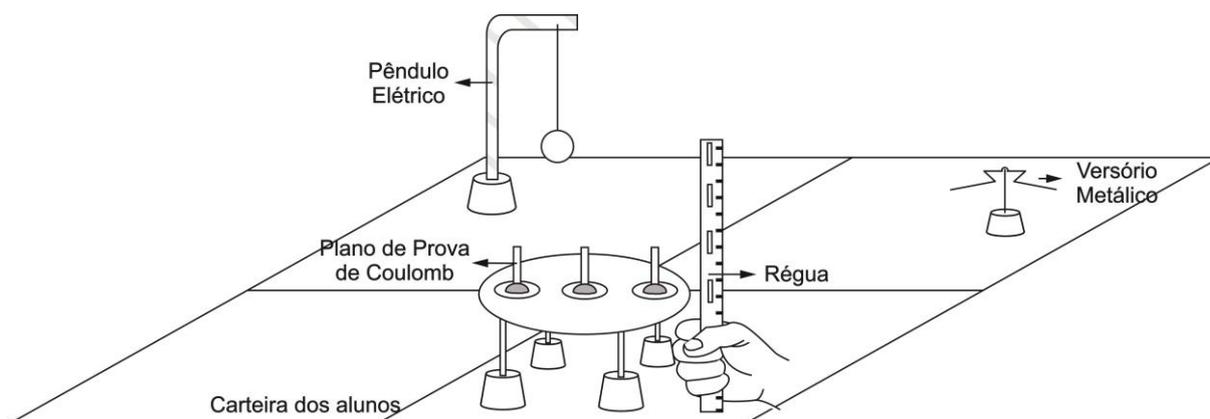
Deverá ser observado que a tirinha de seda do eletroscópio que foi afastado continua levantada, mesmo longe da régua carregada. E deverá ser observado também que a tirinha de seda do eletroscópio que estava perto da régua também ficará levantada após a régua ser afastada. Contudo, as cargas de cada eletroscópio terão sinais opostos. O eletroscópio que estava inicialmente longe da régua eletrizada ficará eletrizado com carga de sinal igual à carga da régua. Já o eletroscópio que estava inicialmente ao lado da régua eletrizada ficará eletrizado com carga de sinal oposto à carga da régua. Este é o fenômeno chamado de eletrização por indução.

⁴⁷ Sempre segurando pelo canudo de plástico onde a cartolina está colada com fita adesiva, evitando de tocar na cartolina do eletroscópio para não descarregá-lo.

16º experimento

Para investigar a polarização de condutores, será usado o Plano de Prova de Coulomb⁴⁸ juntamente com o Versório Metálico⁴⁹ e o Pêndulo Elétrico⁵⁰. A montagem desses instrumentos em cima da carteira deve ser de tal forma que eles fiquem o mais afastado possível entre si, como demonstrado na Figura 65 abaixo.

Figura 65. Montagem do experimento.



Fonte: Acervo Pessoal.

Um estudante do grupo deverá atritar a régua no guardanapo e aproximá-la de um lado do círculo grande horizontal sobre o qual estão os 3 Planos de Prova de Coulomb. Em seguida, outro estudante do grupo testará, um por vez, cada plano de prova de Coulomb utilizando o versório metálico para verificar se eles estão carregados. Caso o versório metálico não se mova horizontalmente em direção ao Plano de Prova de Coulomb que se está testando, o estudante deverá colocá-lo no seu lugar em cima da base de cartolina e a régua precisará ser novamente atritada no guardanapo.

Quando o estudante aproximar o Plano de Prova de Coulomb do versório metálico e este reagir à presença do plano de prova, significa que este plano está carregado. Sendo assim, o Plano de Prova de Coulomb deverá ser aproximado do pêndulo elétrico previamente carregado com a régua atritada no guardanapo. Caso

⁴⁸ Conferir montagem descrita na subseção 4.2.6, capítulo 4 (p. 41).

⁴⁹ Conferir montagem descrita na subseção 4.2.4, capítulo 4 (p. 38).

⁵⁰ Conferir montagem descrita na subseção 4.2.3, capítulo 4 (p. 37).

o círculo de papel do pêndulo elétrico se aproxime do Plano de Prova, esta atração significará que este Plano de Prova e o pêndulo elétrico têm cargas de sinais diferentes. Por outro lado, caso haja uma repulsão entre o Plano de Prova e o pêndulo elétrico, ambos terão cargas de mesmo sinal. Sabendo o sinal da carga do pêndulo elétrico (ou seja, negativa caso tenha sido eletrizado por um canudo atritado no cabelo), poderemos descobrir desta maneira o sinal da carga de cada Plano de Prova de Coulomb.

Percebe-se que o Plano de Prova de Coulomb que está na borda da base de cartolina próxima à régua fica carregado com carga de sinal contrário à carga da régua. O Plano de Prova de Coulomb que está no centro da base de cartolina não possui carga resultante. Já o Plano de Prova de Coulomb que está na outra borda da base de cartolina fica carregado com carga de mesmo sinal que a régua. Esta distribuição de cargas do disco horizontal indica uma polarização do disco horizontal feito de cartolina, que é um material condutor. Esta polarização do disco horizontal foi ocasionada pela presença da régua eletrizada que foi colocada próximo de uma das bordas deste disco de cartolina.

17º experimento

Com este experimento, reproduziremos de forma análoga, uma observação experimental feita originalmente por Otto von Guericke. Ele utilizou uma esfera de enxofre eletrizada que repelia uma penugem após o contato entre eles. No nosso caso utilizaremos uma régua de plástico e uma semente de dente-de-leão⁵¹.

Primeiramente atrita-se muito bem a régua de plástico no guardanapo. Em seguida, mantendo a régua de plástico na horizontal, solta-se a semente de dente-de-leão um pouco acima da régua. A semente é atraída pela régua e fica grudada nela. Caso a régua esteja muito carregada, a semente é repelida assim que toca a régua. Em algumas situações é necessário que se dê leves batidas na régua de plástico para que a semente de dente-de-leão se solte e fique flutuando em cima da régua, podendo ser carregada pela sala de aula.

Esta experiência ilustra mais uma vez o mecanismo ACR, ou seja, atração, contato e repulsão. A régua plástica ficou eletrizada negativamente ao ser atritada no guardanapo de papel. A semente de dente de leão estava inicialmente

⁵¹ A semente de dente-de-leão foi escolhida devido ao seu formato de paraquedas. Ela pode ser substituída por alguns fiapos de algodão.

neutra. Ela é atraída pela régua eletrizada, toca nela e passa a adquirir uma carga elétrica de mesmo sinal que a régua. Ela passa então a ser repelida pela régua eletrizada, flutuando acima dela.