



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA

LUCAS SILVEIRA ROCHA

**“LABORATÓRIO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE
FÍSICA”**

FORTALEZA

2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA

LUCAS SILVEIRA ROCHA

“LABORATÓRIO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE
FÍSICA”

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

Orientador: Humberto de Andrade Carmona

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R5741 Rocha, Lucas Silveira.
Laboratório experimental de baixo custo para o ensino de física / Lucas Silveira Rocha. – 2021.
77 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Humberto de Andrade Carmona.
1. Abordagem experimental. 2. Experimentos de baixo-custo. 3. Aulas de Física. 4. Laboratório de Ciências. I. Título.

CDD 530.07

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as minhas conquistas até o momento.

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

Agradeço a meus pais que me apoiaram durante toda a minha graduação.

A meu Orientador, Professor Humberto de Andrade Carmona, que aceitou me orientar nesse trabalho, disponibilizando seu tempo para sanar as minhas dúvidas.

A meus colegas de curso, que me ajudaram a superar as dificuldades encontradas durante a jornada.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física que proporcionaram o Curso de Mestrado.

A todos os professores que com os quais eu tive a oportunidade de aprender cada vez.

A Pricila Acácio Rodrigues e Luana Silveira Rocha que me ajudaram na montagem dos experimentos.

A todos os funcionários do Departamento de Física, que colaboram para a manutenção e preservação das dependências físicas da Universidade.

À direção e aos alunos do Colégio Dr. Bezerra de Menezes onde apliquei dois dos experimentos abordados nesse trabalho.

RESUMO

O ensino de Física é muito focado numa abordagem teórica e matemática, onde os alunos leem sobre os fenômenos e resolvem exercícios aplicando fórmulas e equações. Esse tipo de abordagem afasta o aluno e dificulta a aprendizagem, pois o aluno não consegue enxergar a utilidade desse conhecimento no seu dia-a-dia. Segundo teóricos da educação, como Ausubel e Piaget, uma abordagem mais concreta, como a demonstração de fenômenos físicos através de experimentos, facilita o processo de aprendizagem do aluno. Porém a realidade em várias escolas, principalmente da rede pública, não permite essa abordagem, pois, mesmo que exista o espaço para o laboratório, muitas vezes os professores não estão preparados para usá-los, como também existe a falta de tempo para a montagem do experimento e preparação da aula de forma satisfatória. Este trabalho tem como objetivo equipar um laboratório com experimentos de baixo custo e montagem rápida para que o professor possa utilizar e suprir a necessidade em tais situações e ajudar os alunos a terem uma compreensão melhor dos assuntos estudados em sala de aula. Para isso os experimentos foram montados e aplicados em uma escola. Além disto, é demonstrado, através de um questionário, o interesse do aluno em realizar experimentos em laboratório.

Palavras-chaves: Abordagem experimental. Experimentos de baixo-custo. Aulas de Física. Laboratório de Ciências.

ABSTRACT

Physics teaching is very focused on a theoretical and mathematical approach, in which students read about the phenomena and solve exercises using formulas and equations. This type of approach alienates the students and makes learning more difficult, as the students cannot see the usefulness of this knowledge in his daily life. According to education theorists, such as Ausubel and Piaget, a more concrete approach, such as the demonstration of physical phenomena through experiments facilitates the student's learning process. However, the reality in several schools, mainly in the public schools, does not allow this approach, because, even if there is space for the laboratory, teachers are often not prepared to use them, as there is also a lack of time to set up the experiment and prepare the class satisfactorily. This paper aims to equip a laboratory with low-cost experiments and quick assembly so that the teacher can use and supply the need in such situations and help students to have a better understanding of the subjects studied in the classroom. For that, the experiments were assembled and applied in a school. In addition, it is demonstrated, through a questionnaire, the student's interest in carrying out experiments in the laboratory.

Key-words: Experimental approach. Low-cost experiments. Physics classes. Science lab.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1	TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	3
2.2	PRINCÍPIOS DA APRENDIZAGEM DE CARL ROGERS.....	4
2.3	TEORIA DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE PIAGET.....	5
2.4	O USO DE UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL.....	6
3	CONCEITOS FÍSICOS.....	9
3.1	HIDROSTÁTICA.....	9
3.2	ÓPTICA.....	14
3.2.1	LENTE CONVERGENTE.....	14
3.2.2	LENTE DIVERGENTE.....	18
3.3	ELETROMAGNETISMO.....	20
4	DESCRIÇÃO DO PRODUTO EXPERIMENTAL.....	35
4.1	ESTRATÉGIA DIDÁTICA.....	35
4.2	EXPERIMENTOS.....	36
4.2.1	ARCO-ÍRIS NO COPO.....	38
4.2.2	FONTE DE HERON.....	41
4.2.3	ELEVADOR HIDRÁULICO.....	45
4.2.4	PROJETOR DE CELULAR.....	47
4.2.5	PÊNDULO ELÉTRICO.....	49
4.2.6	GAIOLA DE CELULAR.....	52
4.2.7	BATERIA CASEIRA.....	55
4.2.8	LÂMPADA DE GRAFITE.....	58
4.2.9	FIO ATRAI FIO.....	60
4.2.10	MOTOR ELÉTRICO.....	63
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	66
5.1	Experimento 1 – Bateria Caseira.....	66
5.2	Experimento 2 – Lâmpada de Grafite.....	68
6	RESULTADOS.....	70
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
	APÊNDICE.....	77

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de Física é muito importante para conhecer e compreender o mundo e os fenômenos que cercam o aluno, contudo os alunos não conseguem enxergar a importância desta disciplina, pois, muitas vezes, a falta de demonstrações experimentais dificulta o relacionamento entre os conceitos vistos em aula e os fenômenos vistos no cotidiano do aluno (GRASSELLI; GARDELLI, 2014 apud PAULO NETO; PARENTE, 2018).

É necessário que o aluno veja que compreender os fenômenos físicos vai muito além de resolver equações com grandezas físicas. Observar tais fenômenos acontecendo através de experimentos e procurar tais fenômenos no seu cotidiano, ajudam o aluno a ter verdadeira noção do que realmente é a Física e facilitam seu processo de aprendizagem.

No entanto, a realidade em várias escolas não permite que esse processo de aprendizagem experimental aconteça, dentre muitos fatores, o principal motivo é a falta de um laboratório de ciências, ou quando este existe, a falta de material para montar os experimentos, falta de manutenção, a falta de tempo para preparar uma aula experimental ou a falta de preparo do professor em utilizar o laboratório, quando este existe (BORGES, 2002).

Um laboratório de baixo custo ajudará o professor que não tem acesso a um laboratório na escola. Assim esse trabalho pretende ajudar o professor com demonstrações e experimentos de fácil realização e que não demandam muito tempo de aula. Da mesma forma, também supre a necessidade do aluno de enxergar e compreender os fenômenos físicos estudados e desprender dos cálculos e fórmulas vistos na sala de aula, fazendo com que o aluno possa se interessar mais e participar ativamente do processo de aprendizagem.

Este trabalho tem como objetivo geral preparar uma lista de experimentos de baixo custo para equipar um laboratório de baixo custo para as escolas que poderá ser utilizado durante o ano letivo e o passo-a-passo para confecção dos experimentos, dando a oportunidade de aulas mais atrativas aos alunos e fazê-los participar mais ativamente no processo de aprendizagem. Os objetivos específicos foram: planejar os experimentos a serem utilizados no laboratório de baixo custo; produzir os experimentos e aplicá-los na escola; analisar os resultados e impressões dos alunos, através de questionário.

Este trabalho possui uma abordagem qualitativa, caracterizado por uma observação mais sensível dos fatos, pessoas e locais que são objetos de pesquisa para o trabalho, com o objetivo de compreender o problema no ponto de vista desse grupo.

O trabalho foi realizado em quatro etapas. A primeira etapa foi selecionar os experimentos a serem utilizados no trabalho. A segunda etapa foi a elaboração do manual de experimentos de baixo custo. A terceira etapa foi a aplicação dos experimentos na escola. A quarta etapa foi a coleta de opiniões e impressões dos alunos sobre os experimentos e se estes ajudaram a melhor compreender os fenômenos físicos.

Este trabalho foi dividido em seis capítulos, além da Introdução. No segundo capítulo tratamos da Fundamentação Teórica, como Teorias da Aprendizagem e trabalhos que sustentam o uso de uma abordagem experimental. No terceiro capítulo debatemos os conceitos físicos de que trata este trabalho. No quarto capítulo expomos a descrição do Produto Educacional, como também dos experimentos de baixo-custo que podem ser encontrados no Manual que compõe o Produto Educacional, juntamente com uma sugestão de estratégia didática para ser utilizada com os experimentos. No quinto capítulo é mostrado como dois dos experimentos foram aplicados em uma sala de aula. No sexto capítulo temos os resultados da aplicação. No sétimo capítulo temos as Considerações Finais deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel diz que a aprendizagem é um processo que ocorre quando uma nova informação é associada a um conhecimento específico do aluno, o qual Ausubel denomina de *conceito subsunçor*, um facilitador existente na estrutura cognitiva para o novo conhecimento a ser adquirido pelo aluno. Uma informação nova é armazenada de forma organizada, formando uma hierarquia conceitual, de forma que os conceitos mais específicos são ligados e armazenados a conceitos mais amplos e inclusivos (MOREIRA, 1999).

Para Ausubel a aprendizagem precisa ter significado para aluno, saber que o novo conhecimento será útil em seu cotidiano, em suas vivências no dia-a-dia, e essa experiência cotidiana servirá de conceito subsunçor para o aluno, e a medida que a aprendizagem ocorre o conceito subsunçor se modifica e se expande, sendo mais inclusivo e elaborado, servindo de subsunçor para novas informações correlatas.

Para que o processo de aprendizagem significativa ocorra são necessárias duas condições. A primeira condição é que o material a ser aprendido seja relacionável à estrutura cognitiva de maneira não-arbitrária e não literal, um material que satisfaz essa condição é chamado de *potencialmente significativo*. A segunda condição é que o aprendiz tenha disposição de relacionar o material potencialmente significativo à sua estrutura cognitiva. (MOREIRA, 1999).

A aprendizagem significativa de Ausubel é distinguida em três tipos: *representacional*, *de conceitos*, e *proposicional*.

A aprendizagem representacional é a mais básica e da qual depende as outras. Esse tipo de aprendizagem envolve atribuir significados aos símbolos, como palavras e objetos, ou seja, é identificar estes símbolos com suas referências.

A aprendizagem de conceitos pode ser entendida como uma aprendizagem representacional, pois conceitos são uma forma de símbolos, porém mais genéricos e abstratos, representam regularidades em eventos e objetos.

A aprendizagem proposicional é aprender o significado de ideias em forma de proposição, ideias expressas verbalmente por meio de conceitos, ou seja, é aprender o significado que está além da soma dos significados das palavras e conceitos que formam a proposição.

Uma evidência de que a aprendizagem significativa ocorreu de forma genuína é que o aprendiz tenha compreendido os significados claros e precisos dos conceitos e proposições. Uma forma de testar essa compreensão é formular questões e problemas de uma maneira nova e não familiar, requerendo uma transformação máxima do conhecimento adquirido.

Ausubel considera a linguagem um importante facilitador, ela clarifica os significados, no entanto, o significado emerge quando é feita a relação entre a entidade e o signo verbal que o representa, assim, é necessário evidenciar tais entidades aos alunos.

2.2 PRINCÍPIOS DA APRENDIZAGEM DE CARL ROGERS

Carl Rogers não apresenta uma “teoria da aprendizagem”, mas propõe “princípios da aprendizagem” que são extrapolações de princípios da terapia centrados no cliente. Em resumo os princípios são:

1. Os seres humanos são curiosos e são propensos a aprender, contudo, muitas vezes, essa curiosidade é neutralizada pelo sistema educacional. Esse primeiro princípio reflete a característica básica da educação rogeriana: o aluno possui um desejo natural de aprender e essa é uma tendência na qual se pode confiar.

2. Aprendizagem significativa ocorre quando o aluno percebe a relevância e a importância do conteúdo para atingir seus próprios objetivos, dessa forma a aprendizagem é mais rápida e concreta. O professor tem um papel decisivo para que ocorra essa percepção.

3. A aprendizagem que gera uma mudança na percepção de si mesmo é ameaçadora e pode causar resistência, isso ocorre pois, para a maioria das pessoas, quanto mais os *outros* estão certos mais *elas* estão erradas.

4. Aprendizagens ameaçadoras são mais facilmente assimiladas quando as ameaças são reduzidas ao mínimo. Quando o aluno possui um ambiente de compreensão e apoio e é estimulado a uma autoavaliação as ameaças são reduzidas, permitindo que o aluno progrida na aprendizagem.

5. A aprendizagem significativa é adquirida por meio de atos, colocando o aluno em confronto experiencial diretamente com problemas práticos e com problemas de pesquisa.

6. A aprendizagem é facilitada quando o aluno toma parte ativa e responsabilmente no processo de aprendizagem, escolhendo suas próprias direções e seus

próprios recursos, vivendo as consequências dessas escolhas, dessa forma a aprendizagem é maximizada.

7. A aprendizagem autoiniciada é mais abrangente e duradoura. Essa aprendizagem é a mais eficaz, onde a pessoa se envolve por completo, envolvendo tanto o aspecto cognitivo como o afetivo.

8. A independência, criatividade e autoconfiança são facilitadas quando a avaliação de outrem é de importância secundária. Um ambiente de liberdade permite que o aluno desenvolva não apenas a independência e a criatividade, como também a autocrítica e a autoavaliação, que são fundamentais para uma aprendizagem significativa.

9. A aprendizagem socialmente mais útil é o próprio processo de aprendizagem, ou seja, é aprender a aprender. O processo de aprendizagem é necessário para viver em um mundo em constante mudança, ou seja, é necessário estar aberto às novas experiências e buscar conhecimentos continuamente.

Uma abordagem rogeriana implica em um ensino centrado no aluno, confiar que este tem o potencial para aprender criando condições favoráveis para o crescimento do aluno.

2.3 TEORIA DO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO DE JEAN PIAGET

A teoria de Piaget não é uma teoria de aprendizagem propriamente dita, mas uma teoria de desenvolvimento mental. No entanto, podemos aplicar tais conceitos na aprendizagem, ou como o próprio Piaget prefere falar, aumento de conhecimento.

O aumento de conhecimento ocorre por meio da interação do sujeito com o objeto. O sujeito constrói o próprio conhecimento através, do que ele chama, da *assimilação* e *acomodação*. A assimilação ocorre quando o aluno incorpora, aceita, um novo conhecimento e o associa a um esquema. Já a acomodação ocorre quando o aluno modifica sua mente e cria novos esquemas de assimilação, ampliando e desenvolvendo seus conceitos através do objeto de estudo (MOREIRA, 1999).

A aprendizagem ocorre quando há acomodação, isto é, uma reestruturação dos esquemas de assimilação existentes do indivíduo, resultando em novos esquemas de assimilação.

A mente do indivíduo funciona em equilíbrio, aumentando seu grau de organização interna e adaptação ao meio. No entanto, quando o indivíduo se depara com uma experiência não-assimilável, esse equilíbrio é rompido e a mente passa por uma

reestruturação para atingir um novo estado de equilíbrio, esse processo é chamado de *equilíbrio maiorante* e é um fator dominante na evolução, no desenvolvimento mental e no aumento de conhecimento da criança.

Dessa forma ensinar é provocar um desequilíbrio na mente da criança para que ela procure um reequilíbrio, reestruturando-se cognitivamente e aprendendo. Porém esse desequilíbrio deve ser compatível com o nível de desenvolvimento mental da criança, do contrário a reestruturação cognitiva não ocorre de forma adequada e a aprendizagem não ocorre.

Piaget argumenta que as aptidões dos “bons alunos” em Física ou Matemática ocorrem na facilidade de adaptação ao tipo de ensino que é fornecido, e os “maus alunos” nessas disciplinas, mas que são bem-sucedidos em outras, podem dominar essas matérias desde que sejam oferecidos outros caminhos. Piaget ainda fala que o insucesso escolar vem de uma passagem muito rápida da estrutura qualitativa dos problemas (raciocínios lógicos) para uma esquematização quantitativa ou matemática (equações já elaboradas). Essa passagem rápida provoca um desequilíbrio tal que não leva a uma equilibrarção maiorante.

2.4 O USO DE UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL

Os alunos crescem com a crença de que a Matemática é uma disciplina difícil, devido a fatores como a memorização cansativa de termos e nomenclaturas. Essa crença dificulta a aprendizagem da Matemática (RODRIGUES, 2017). Ao começar a estudar Física, o aluno pode encontrar aulas repletas de fórmulas e equações que lembram a Matemática e se distanciar do conteúdo a ser estudado. Apesar do conhecimento matemático ser importante, este não deve ser o foco, no primeiro momento, das aulas de física, visto que a esta é uma ciência que descreve os fenômenos da natureza e não somente um conjunto de fórmulas a serem usadas. Após uma melhor compreensão dos fenômenos físicos, as equações podem ser introduzidas, de forma a provar matematicamente o conteúdo estudado.

No entanto não é fácil quebrar essa realidade, fatores como a distância da disciplina à realidade dos alunos, falta de recursos e equipamentos para laboratórios, livros didáticos elaborados sem o cuidado necessário e a falta de tempo adequado para planejar aulas criativas e má remuneração que desestimulam os professores contribuem

para a má qualidade do ensino de física e ciências em geral (MARINHO; SIMÕES, 1993, apud BRITO, 2009).

Este problema pode ser amenizado com o uso de recursos didáticos para atrair os alunos e fazê-los participarem das aulas. Vários são os recursos didáticos que podem ser utilizados, vídeos, filmes, simulações que ajudam a descrever os fenômenos da natureza, mas sempre que possível, é fundamental que o aluno possa testemunhar os fenômenos de perto, com o uso de experimentos capazes de instigar a curiosidade e lado científico do aluno. No entanto, é importante destacar que os recursos didáticos devem estar diretamente ligados aos assuntos de forma adequada, para completar e colaborar com a aula em sala (PCN, 1997).

O uso de experimentos no ensino de Física não é algo novo, seu potencial para uma aprendizagem significativa é essencial, podendo assumir diferentes contextos e aspectos (ARAÚJO; ABIB, 2003). Porém atividades experimentais não são tão comumente utilizadas como recursos pedagógicos para o ensino. Diversos são os motivos apresentados, como falta de material de qualidade, falta de tempo para preparar e montar uma aula experimental, falta de um laboratório ou espaço adequado, que fazem com que o professor opte por dar uma aula tradicional, que muitas vezes é cansativa para o aluno e não apresenta um significado real, o que faz o aluno desistir de aprender (Laburú et al., 2007).

O estudo realizado por Barbosa et al. (1999) demonstrou que o uso de atividades experimentais possui maior eficiência em relação ao método tradicional. Nesse estudo, alunos da Escola Técnica Federal do Mato Grosso foram divididos em duas turmas, em uma turma foram aplicadas aulas tradicionais enquanto na outra foram aplicadas aulas experimentais, seguindo o mesmo conteúdo em ambas as turmas, foi percebido, após a realização de um questionário, que os alunos que assistiram as aulas experimentais tiveram melhores resultados.

Contudo, deve-se tomar cuidado ao utilizar o método experimental, este deve ter relação direta com o conteúdo estudado em sala de aula para uma melhor compreensão do aluno. Também deve-se tomar cuidado quanto ao método em si, experiências onde o aluno segue apenas um passo-a-passo determinado pelo professor não instigam a curiosidade do aluno, limitando o processo de aprendizagem (ARAÚJO; ABIB, 2003).

A ideia de um laboratório está relacionada ao espaço físico, uma sala com bancadas onde os alunos podem realizar vários experimentos, mas mais importante que o espaço é o conteúdo. Não são necessários equipamentos caros para poder realizar

experimentos que atraíam os alunos para as aulas. É possível realizar experimentos com materiais de baixo custo, ou até mesmo recicláveis, facilitando o acesso e a realização de uma aula diferente nas escolas que não possuem um laboratório físico (BORGES, 2002).

3 CONCEITOS FÍSICOS

Os experimentos propostos abordam conceitos presentes em diferentes áreas da Física, como hidrostática, óptica e eletromagnetismo. Neste capítulo serão trabalhados os conceitos necessários para uma melhor compreensão dos experimentos propostos e dos fenômenos físicos vistos nestes experimentos. Para este capítulo foram utilizados os livros Halliday e Resnick (2016), Nussenzveig (1997) e Young e Freedman (2015)

3.1 HIDROSTÁTICA

Um fluido é qualquer substância que deforma quando se aplica sobre ele uma força de cisalhamento - quando uma parte do fluido é forçada em uma direção enquanto outra parte é forçada na direção oposta. Essa característica faz com que o fluido escoe e altere a sua forma de acordo com a forma do recipiente que ocupa. Um fluido é um estado da matéria, podendo se referir a líquidos, gases ou plasma. Sob certas circunstâncias, a matéria granulada (como a areia seca) pode se comportar como um fluido. Coloquialmente, o termo fluido se refere a líquidos.

Na Física, quando falamos de fluidos, uma das grandezas mais importantes é a massa específica, conhecida no Ensino Fundamental e Médio como densidade. A densidade é a relação entre a massa e o volume do fluido, assim para um elemento suficientemente pequeno do líquido, temos que:

$$\rho = \frac{dm}{dV}, \quad (1)$$

onde ρ é a densidade, dm é a massa do ponto do fluido onde a densidade está sendo calculada, e dV é o volume do ponto do fluido que está sendo considerado.

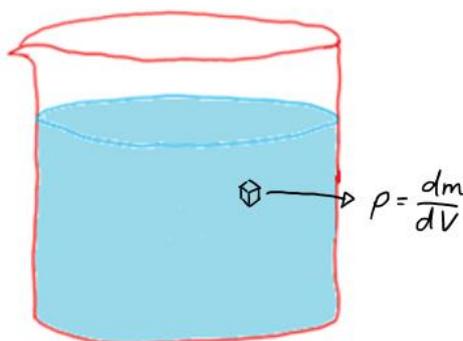


Figura 1 - Densidade de uma parte limitada do líquido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, para uma mistura homogênea, onde a densidade é a mesma em todos os pontos do fluido, a densidade pode ser calculada pela equação 2:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

onde ρ é a densidade, m é a massa total do fluido e V é o volume total do fluido.

Um fluido com uma densidade menor flutua em fluidos com densidades maiores. Isso pode ser explicado pelo Princípio de Arquimedes que diz que quando um objeto está submerso, ou parcialmente submerso, em um fluido sofre a ação de uma força vertical para cima, de módulo igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo objeto, chamada de empuxo.

Ao colocar um objeto em uma balança calibrada para medir pesos, a leitura da balança será o peso da pedra, no entanto, ao repetir esse procedimento dentro de um fluido a leitura da balança será menor devido à força de empuxo, a essa nova leitura dá-se o nome de peso aparente, de forma que:

$$E = P_r - P_a, \quad (3)$$

onde E é a força de empuxo, P_r é o peso real do objeto e P_a é o peso aparente medido dentro do fluido.

Essa diferença é igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo objeto, logo:

$$E = m_L g, \quad (4)$$

onde m_L é a massa do líquido deslocado e g é a gravidade, assim unido as equações 1 e 4, achamos que:

$$E = \rho_L V_s g, \quad (5)$$

onde E é a força de empuxo, ρ_L é a densidade do fluido, V_s é o volume do fluido deslocado, ou seja, o volume da parte submersa do objeto no fluido, e g é a gravidade. Assim um fluido com densidade maior terá uma força de empuxo maior, sustentando os demais fluidos, logo ficando no fundo, enquanto os fluidos de menor densidade flutuam em cima dos fluidos de maior densidade.

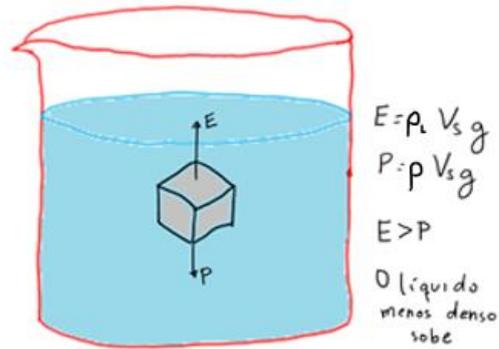


Figura 2 - Empuxo sobre um corpo imerso em um fluido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um fluido exerce uma força perpendicular sobre as superfícies que estão em contato com ele, como as paredes do recipiente que o contem ou um corpo imerso sobre ele. Consideramos uma superfície imaginária dentro deste fluido que possui uma área dA (figura 3), o fluido irá exercer forças perpendiculares dF iguais e contrárias nos dois lados dessa superfície, ainda que o fluido como um todo esteja em repouso, as moléculas que o constituem estão em movimento, essas forças dF vêm das colisões moleculares com as superfícies vizinhas. Definimos como pressão P como a força perpendicular em um ponto por unidade de área, assim temos:

$$P = \frac{dF}{dA}. \quad (6)$$

A unidade de pressão é o **pascal**:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2.$$

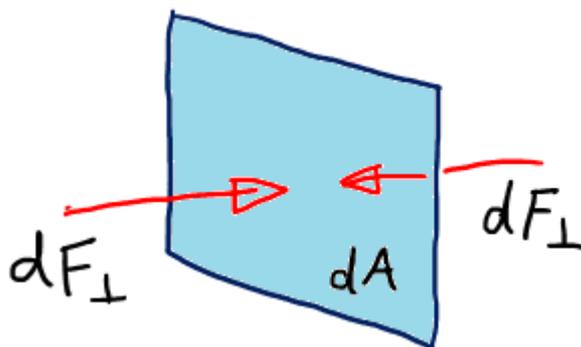


Figura 3 - Forças atuando em uma pequena superfície de fluido em repouso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Se a força F for uniforme em toda uma área plana A , então podemos reescrever a equação 6 da forma:

$$P = \frac{F}{A}, \quad (7)$$

Em um sistema de dois cilindros, de áreas transversais diferentes, comunicados através de um tubo, fechados por êmbolos móveis de áreas iguais às áreas transversais de seus respectivos cilindros, onde o sistema está cheio de um fluido incompressível, óleo, ao aplicar uma pressão por meio de uma força perpendicular em um dos êmbolos, essa pressão é distribuída igualmente em todos os pontos do fluido, fazendo com que o segundo êmbolo seja levantado. Como a pressão é a mesma nos dois lados, a força aplicada no êmbolo de área menor é multiplicada no êmbolo de área maior, seguindo a relação mostrada na equação 8, fazendo com que seja possível levantar objetos muito pesados posicionados no êmbolo maior ao aplicar uma força menor no êmbolo menor. Esse fenômeno é conhecido como Princípio de Pascal.

$$P_1 = P_2 \longrightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}, \quad (8)$$

onde P_1 é a pressão aplicada no tubo de entrada, P_2 é a pressão aplicada no tubo de saída, F_1 é a força de entrada, aplicada perpendicularmente em A_1 , a área de entrada e F_2 é a força de saída, aplicada perpendicularmente em A_2 , a área de saída.

Esse fenômeno é o mesmo que acontece nos elevadores hidráulicos utilizados para levantar objetos pesados, como carros e outros.

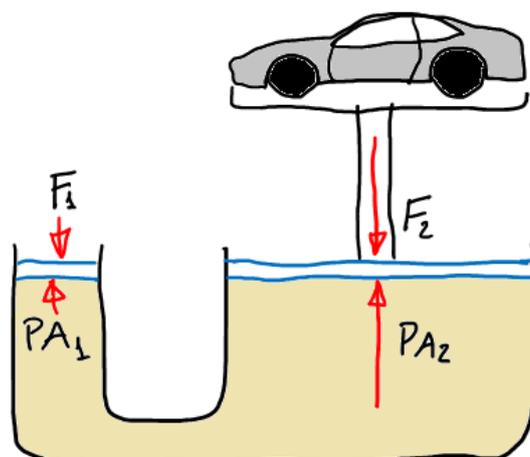


Figura 4 - Elevador hidráulico, uma aplicação do Princípio de Pascal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É de conhecimento comum que a pressão do ar em grandes altitudes é menor que a pressão do ar na altura do nível do mar e que a pressão a água aumenta com a profundidade. Em um fluido em equilíbrio todos os pontos que estão na mesma altura estão sujeitos a mesma pressão, chamada de pressão hidrostática.

Podemos deduzir uma expressão para calcular a pressão hidrostática em um ponto de um fluido em repouso, considerando que o fluido tem densidade uniforme e a gravidade é constante em todos os pontos do fluido. Quando o fluido está em equilíbrio, podemos considerar um elemento fino do fluido, de espessura dy , também está em equilíbrio. As superfícies desse elemento do fluido possuem áreas iguais A e estão nas alturas y e $y + dy$ acima de um referencial. Dessa forma podemos determinar as seguintes grandezas em relação a esse elemento:

- ❖ volume: $dV = A dy$;
- ❖ massa: $dm = \rho dV = \rho A dy$;
- ❖ peso: $dP = dm g = \rho A g dy$;
- ❖ força na superfície inferior: PA ;
- ❖ força na superfície superior: $(P + dP)A$.

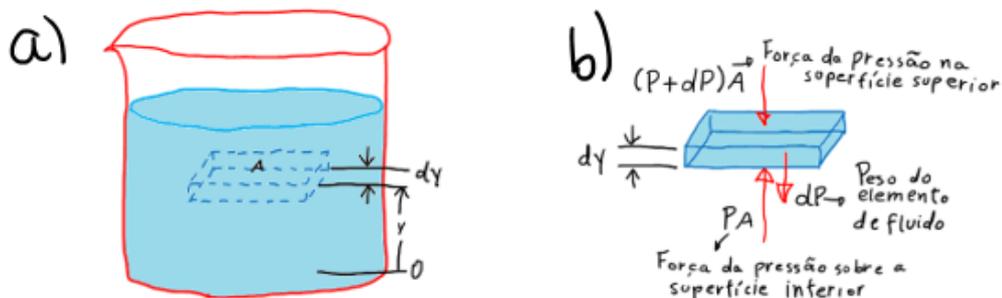


Figura 5 - (a) Elemento de fluido em equilíbrio e (b) Forças que atuam sobre o elemento de fluido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como o elemento do fluido está em equilíbrio, o somatório das forças deve ser igual a zero:

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow PA - (P + dP)A - \rho A g dy = 0$$

Dividindo a equação por A e reagrupando os termos, temos:

$$dP = -\rho g dy,$$

se aplicarmos integral nos dois lados da função, teremos:

$$\int_{P_1}^{P_2} dP = \int_{y_1}^{y_2} -\rho Ag dy \longrightarrow P_2 - P_1 = -\rho Ag(y_2 - y_1), \quad (9)$$

a equação 9 é mais comumente expressada em termos da profundidade de um fluido, em y_2 é menor que y_1 , e a diferença entre os dois é chamada de h , e P_1 é a pressão atmosférica, assim podemos finalmente escrever a equação 9 como:

$$P = P_0 + \rho gh, \quad (10)$$

onde P é a pressão do ponto em que se quer medir, P_0 é a pressão atmosférica, ρ é a densidade do fluido, g é a gravidade do local e h é a profundidade do ponto.

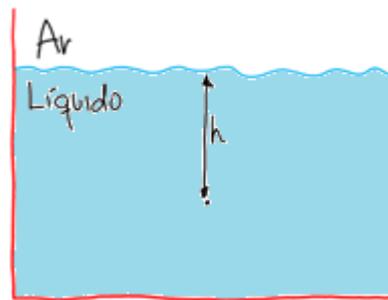


Figura 6 - Pressão hidrostática em um ponto do fluido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 ÓPTICA

O segundo instrumento óptico mais conhecido e usado, depois do espelho plano, é a lente. A lente mais simples é formada por duas superfícies refratoras, normalmente esféricas, próximas o suficiente para desprezar a distância entre elas, a essa lente damos o nome de **lentes delgadas**.

As lentes delgadas podem ser divididas em *lentes convergentes* e *lentes divergentes*, cada uma com suas características e propriedades que são explanadas abaixo:

3.2.1 LENTE CONVERGENTE

A principal característica de uma lente convergente é que ela aproxima os raios luminosos que passam por ela. Nesse tipo lente, um feixe de luz paralelo, ao passar pela lente, converge a um único ponto F_2 , formando uma imagem real nesse ponto. De maneira semelhante se raios de luz partem do ponto em comum F_1 , ao passar pela lente, eles

formam um feixe de luz paralelo. O ponto F_1 é chamado de *primeiro foco* e o ponto F_2 é chamado de *segundo foco*, ambos estão a uma mesma distância da lente, medida a partir do centro da lente, e essa distância é denominada *distância focal*. Outro caso importante é se um raio de luz passar pelo centro óptico da lente, nesse caso o raio de luz não sofrerá desvio, ou seja, o ângulo de incidência será igual ao ângulo de refração.

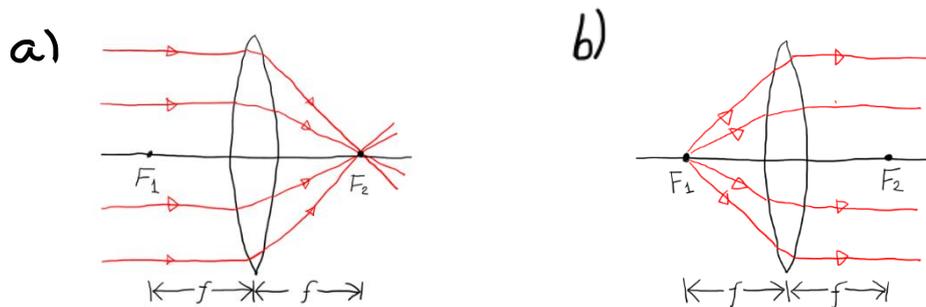


Figura 7 - (a) Feixes paralelos convergem para o foco F_2 e (b) Raios que passam pelo foco F_1 saem paralelos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A lente convergente é capaz de formar uma imagem de um objeto extenso, tem diferentes características, a depender da distância do objeto até a lente. Podemos representar a formação dessas imagens de forma geométrica, utilizando as propriedades das lentes convergentes em relação aos raios luminosos. Uma imagem pode ser caracterizada quanto a sua natureza: *real* se formada pelos raios de luz que passam pela lente ou *virtual* se formada pela extensão dos raios de luz que passam pela lente; quanto ao seu tamanho: *maior* que o objeto, *menor* que o objeto ou *igual* ao objeto; e quanto a sua posição em relação ao eixo óptico: *direita* ou *invertida*.

PRIMEIRO CASO - OBJETO POSICIONADO ANTES DO PONTO ANTIPRINCIPAL.

O ponto antiprincipal é ponto que a tem a distância igual ao dobro da distância focal da lente, quando o objeto está em uma posição anterior ao ponto antiprincipal, a imagem do objeto formada pela lente é *real*, *invertida* e *menor* que o objeto.

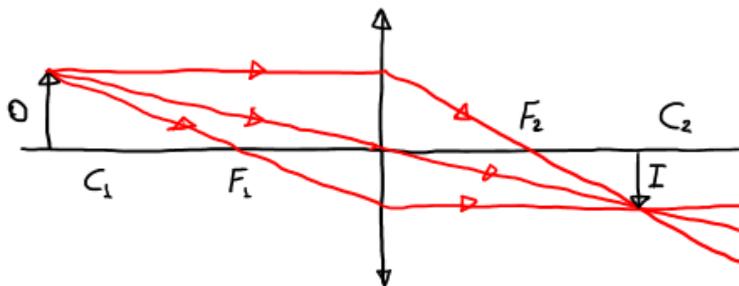


Figura 8 - Formação da imagem de objeto posicionado antes do ponto antiprincipal C .

Fonte: Elaborado pelo autor.

SEGUNDO CASO - OBJETO POSICIONADO EM CIMA DO PONTO ANTIPRINCIPAL.

Quando o objeto está posicionado em cima do ponto antiprincipal, ou seja, está a uma distância igual ao dobro da distância focal, a imagem formada pela lente é *real*, *invertida* e *igual* ao objeto.

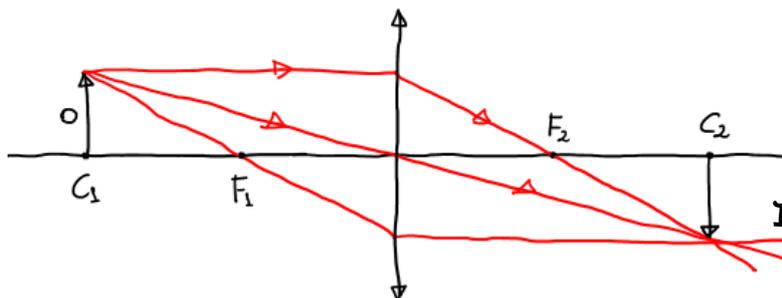


Figura 9 - Formação da imagem de um objeto posicionado em cima do ponto antiprincipal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

TERCEIRO CASO - OBJETO POSICINADO ENTRE O PONTO ANTIPRINCIPAL E O FOCO.

Quando o objeto está entre o ponto antiprincipal e o foco, a imagem formada pela lente é *real*, *invertida* e *maior* que o objeto.

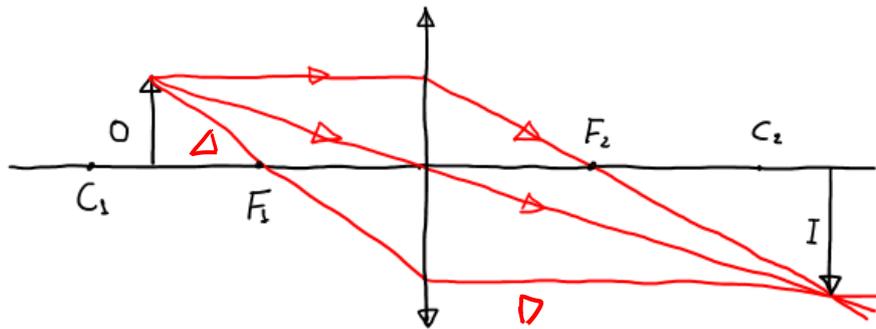


Figura 10 - Formação da imagem de um objeto posicionado entre o ponto antiprincipal e o foco.

Fonte: Elaborado pelo autor.

QUARTO CASO - OBJETO POSICIONADO EM CIMA DO FOCO.

Quando o objeto está posicionado em cima do foco, ou seja, a uma distância igual à distância focal, a lente não formará imagem, pois os raios luminosos que passam pela lente são paralelos, logo eles não se encontram.

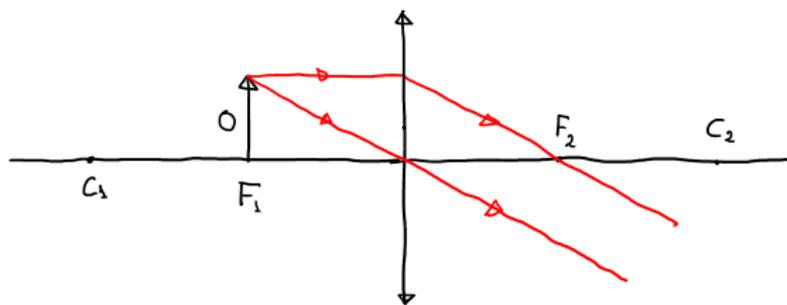


Figura 11 - Objeto sobre o foco não forma imagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

QUINTO CASO - OBJETO POSICIONADO ENTRE O FOCO E ALENTE.

Quando um objeto está posicionado entre o foco e a lente, a lente formará uma imagem *virtual, direita e maior* que o objeto.

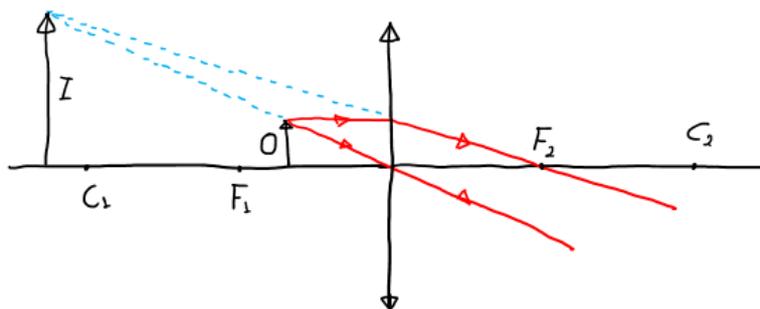


Figura 12 - Formação da imagem de um objeto posicionado entre o foco e a lente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 LENTE DIVERGENTE

Ao contrário da lente convergente, a lente divergente separa os raios luminosos que passam por ela, e as posições dos focos são invertidas em relação às posições dos focos da lente convergente.

Um feixe paralelo que passa pela lente divergente parece começar a divergir a partir do ponto F_2 , ou seja, se prolongarmos os raios de luz refratados pela lente, eles se encontram no ponto F_2 . De forma semelhante, se raios luminosos convergem para o ponto F_1 de uma lente divergente, eles refratam em um feixe paralelo. Semelhante à lente convergente, um raio de luz que passa pelo centro óptico da lente divergente não sofre desvio ao refratar.

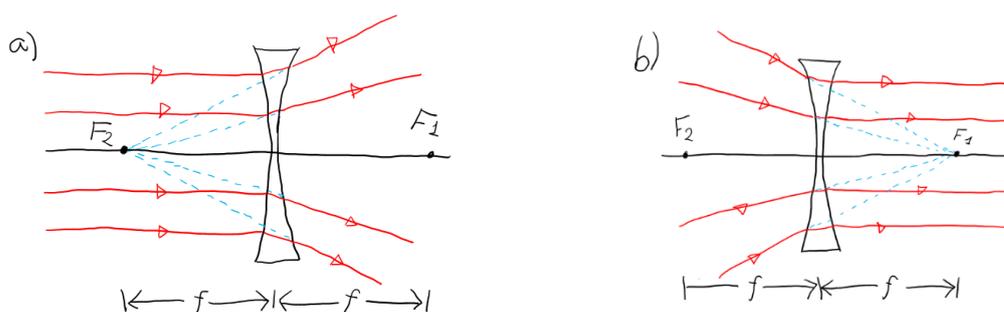


Figura 13 - (a) Feixes paralelos parecem divergir a partir do foco F_2 após passar pela lente e (b) Raios que passam pelo foco F_1 saem paralelos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como a lente convergente, a lente divergente é capaz de formar imagens de um objeto extenso, contudo, as características da imagem mantêm-se inalteradas,

independentemente da distância do objeto à lente. Uma imagem formada por uma lente divergente sempre será *virtual, direita e menor* que o objeto.

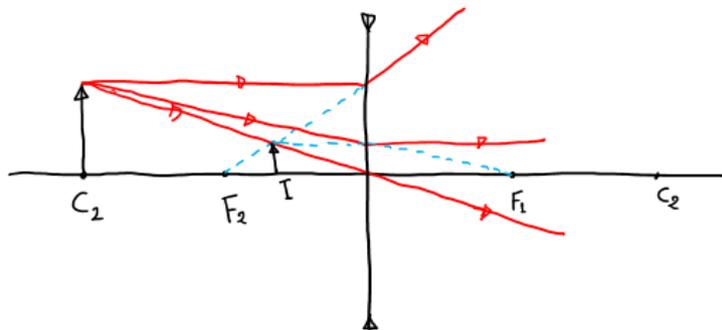


Figura 14 - Formação da imagem de um objeto por uma lente divergente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível calcular a distância da imagem à lente utilizando a conhecida equação dos pontos conjugados de Gauss.

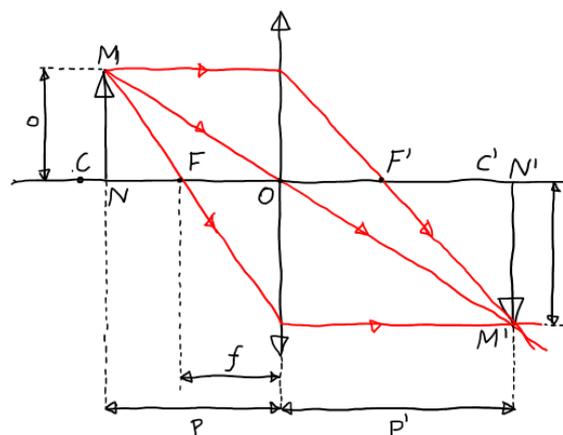


Figura 15 - Determinação da equação dos pontos conjugados de Gauss para lentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para chegar a essa equação utilizaremos a semelhança de triângulos existente na Figura 15, dessa forma temos:

$$\frac{\overline{MN}}{\overline{NF}} = \frac{\overline{SO}}{\overline{OF}} \rightarrow \frac{o}{p-f} = \frac{-i}{f} \rightarrow \frac{f}{p-f} = \frac{-i}{o}, \quad (11)$$

também por semelhança de triângulos temos que:

$$\frac{\overline{M'N'}}{\overline{MN}} = \frac{\overline{NO}}{\overline{N'O}} \rightarrow \frac{-i}{o} = \frac{p'}{p}. \quad (12)$$

Juntando as equações 11 e 12, temos:

$$\frac{p'}{p} = \frac{f}{p-f} \longrightarrow pp' - p'f = pf \longrightarrow pp' = pf + p'f, \quad (13)$$

e ao multiplicar a equação 13 por

$$\frac{1}{pp'f}$$

obtemos:

$$\frac{pp'}{pp'f} = \frac{pf}{pp'f} + \frac{p'f}{pp'f} \longrightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p}, \quad (14)$$

onde f é a distância focal da lente, p é a distância do objeto até a lente e p' é a distância da imagem até a lente. A equação 14 é a equação dos pontos conjugados de Gauss.

3.3 ELETROMAGNETISMO

Carga elétrica é um atributo tão fundamental dos objetos quanto a massa, contudo, diferentemente dessa, a carga elétrica pode se manifestar de duas formas diferentes, convencionadas como *positiva* ou *negativa*. Chamamos de corpo eletricamente neutro, aquele que possui cargas positivas e negativas em quantidades iguais, e chamamos de corpo eletricamente carregado aquele que possui um maior número de um tipo de carga, ou positiva, ou negativa. Assim como objetos com massa sofrem interações de forças gravitacionais, objetos com eletricamente carregados sofrem interações de forças elétricas.

O cientista Charles Augustin de Coulomb, em 1784, estudou as forças de interação entre partículas carregadas e concluiu que para corpos carregados com dimensões muito menores do que a distância que os separam, chamados de cargas puntiformes, a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa os corpos, verificou também que essa força é diretamente proporcional às cargas elétricas dos corpos. Desse modo foi estabelecida o que hoje é chamada de lei de Coulomb: **o módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.** Essa lei pode ser traduzida na equação:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{d^2} \hat{r}, \quad (15)$$

onde F é a força elétrica, q_1 e q_2 são os módulos das cargas elétricas, d é a distância entre as cargas, ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo ($\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$) e \hat{r} é o vetor unitário que tem a mesma direção que a reta que passa pelas cargas.

A direção da força elétrica que uma carga exerce sobre a outra é sempre ao longo da linha reta que passa pelas cargas, já o sentido depende das cargas observadas, se as cargas possuírem o mesmo sinal, ou ambas são positivas ou ambas são negativas, a força é repulsiva, se possuírem sinais diferentes, uma positiva e outra negativa, a força é atrativa.

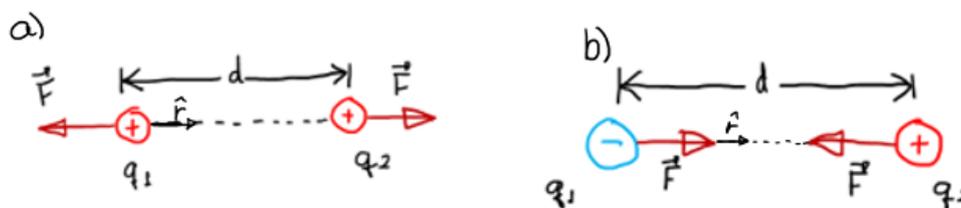


Figura 16 - (a) Forças repulsivas entre cargas de mesmo sinal e (b) Forças atrativas entre cargas de sinais opostos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Eletrização é o processo de transformar um corpo eletricamente neutro, em um corpo eletrizado, uma maneira eletrizar um corpo neutro é através da eletrização por contato.

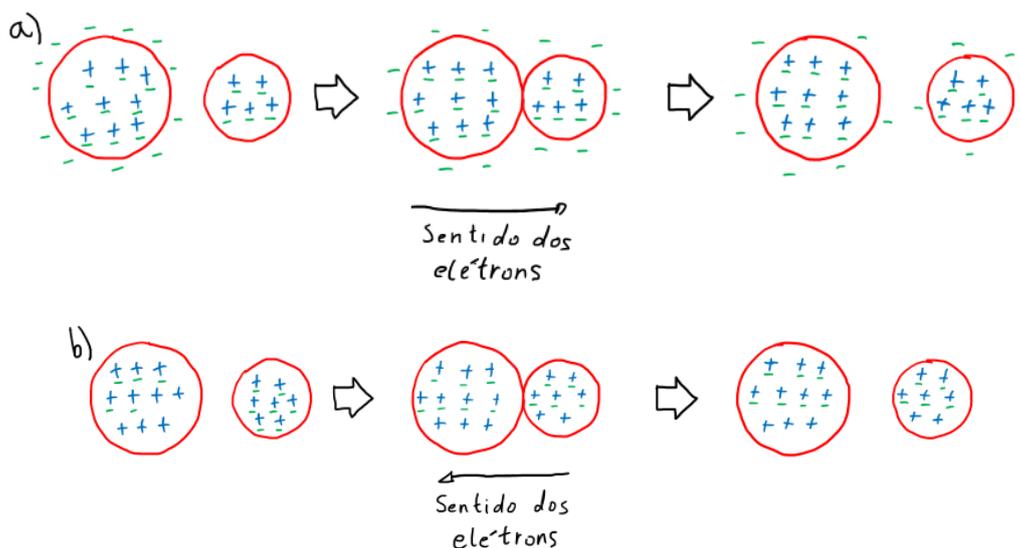


Figura 17 - Processo de Eletrização por contato quando (a) há excesso de cargas negativas e (b) excesso e cargas positivas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A eletrização por contato ocorre quando dois corpos metálicos, onde um está inicialmente neutro e outro está previamente carregado, entram em contato direto. Por metais serem materiais condutores de eletricidade, os elétrons (cargas negativas) possuem facilidade em se locomover dentro do material e procuram um estado de maior equilíbrio afastando-se umas das outras, utilizando o corpo inicialmente neutro para esse fim, assim no final do processo de eletrização, ambos os corpos ficam eletrizados com o mesmo tipo de carga (JUBILUI, 2019).

Um corpo eletricamente carregado, devido a sua carga, modifica as propriedades do espaço ao redor dele, pois esse corpo produz um campo elétrico que pode ser sentido por outro corpo carregado, a resposta desse segundo corpo carregado é uma força elétrica. Um campo elétrico produzido por uma carga só pode ser sentido por outras cargas elétricas e nunca pela própria carga que produz o campo.

Para verificar a existência de um campo elétrico no espaço, em um determinado ponto, é necessário colocar um corpo carregado, chamado de carga de teste ou carga de prova q_0 , no referido ponto. Se a carga de prova sofrer a interação de uma força elétrica, então há um campo elétrico no espaço, gerado por outra carga elétrica. Campo elétrico é definido como a força elétrica que atua sobre uma carga de prova, dividido pelo valor da carga de prova, assim:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \quad (16)$$

onde E é o campo elétrico, F é a força elétrica e q_0 é o valor da carga de prova. A unidade do campo elétrico é o N/C . Unindo as equações 15 e 16, temos:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{d^2} \hat{r}, \quad (17)$$

onde Q é a carga geradora do campo elétrico e E é o módulo do campo elétrico. A direção do campo está na reta que passa pela carga que gera o campo e a o ponto onde se quer medir o campo, já o sentido do campo elétrico depende da carga que o gera, se a carga for positiva, o campo elétrico aponta para fora da carga, se for negativa, o campo elétrico aponta para dentro da carga.

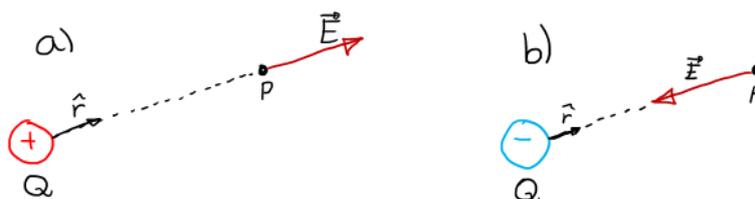


Figura 18 - Campos Elétricos gerados por (a) uma carga positiva e (b) uma carga negativa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em um material condutor, os elétrons (cargas negativas) possuem liberdade de movimento, ao serem expostos a um campo elétrico, esses elétrons adquirem uma aceleração devido à força elétrica causada pelo campo. Ao se moverem no sentido contrário ao campo elétrico os elétrons se concentram em uma extremidade do material condutor, deixando um excesso de prótons na extremidade oposta, polarizando as cargas no condutor. Essa polarização cria um campo elétrico interno induzido contrário ao campo elétrico externo, de tal forma que o campo total no interior do condutor é zero.

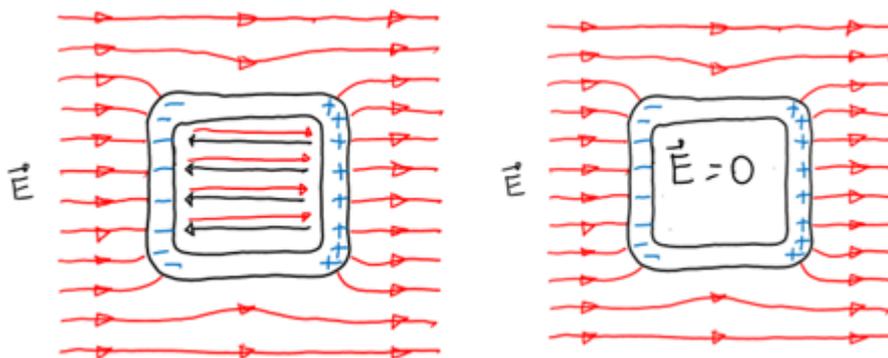


Figura 19 - Campo Elétrico dentro de condutor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A corrente elétrica é o movimento ordenado de partículas carregadas, que se movem ao longo de um fio, quanto maior o movimento das cargas por unidade de tempo, maior a corrente. Esse movimento ordenado é causado por uma diferença de potencial V que cria um campo elétrico dentro do condutor acelerando os elétrons do material. O movimento dos elétrons dentro do fio condutor é acelerado, contudo os elétrons colidem constantemente com os átomos e íons do próprio fio, causando recuos e

desacelerações em seu movimento, de forma que vista de uma forma geral o movimento líquido é constante, criando assim uma corrente elétrica contínua e constante.

Podemos definir a corrente elétrica que passa pela seção transversal de um fio como a quantidade de carga elétrica que atravessa essa seção por unidade de tempo:

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (18)$$

onde i é a intensidade da corrente elétrica e sua unidade no SI é o *ampère*. Por razões históricas, o sentido da corrente convencional foi definido como o sentido das cargas positivas, ou seja, é contrário ao sentido do movimento das cargas negativas, que são as cargas que realmente se movem.

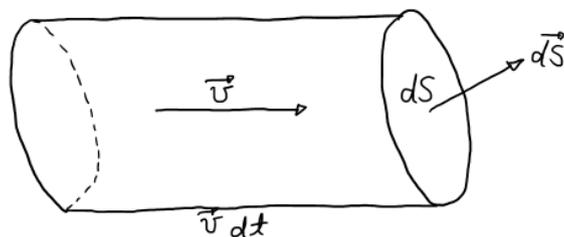


Figura 20 - Cilindro representando um fio condutor.

Fonte: Elaborado pelo autor

Se considerarmos um elemento de área dS que fez parte da seção transversal do fio podemos definir uma densidade de corrente j da forma:

$$di = \vec{j} \cdot \vec{dS}, \quad (19)$$

onde j tem direção e sentido iguais ao da corrente e sua unidade é A/m^2 .

Se considerarmos o fio como um cilindro de base dS e geratriz $v dt$, logo o volume desse fio será:

$$dV = \vec{v} dt \cdot \vec{dS}, \quad (20)$$

se chamarmos ρ de densidade volumétrica de carga, a carga total contida no volume do nesse cilindro, e sua contribuição à corrente são:

$$dq = \rho dV \rightarrow dq = \rho \vec{v} dt \cdot \vec{dS} \rightarrow di = \rho \vec{v} \cdot \vec{dS}. \quad (21)$$

Comparando as equações 19 e 21, temos que:

$$\vec{j} = \rho \vec{v}, \quad (22)$$

se existe uma quantidade n de partículas de carga q , a densidade de carga é:

$$\rho = nq, \quad (23)$$

assim temos que:

$$\vec{j} = nq\vec{v}. \quad (24)$$

A densidade de corrente \vec{j} de um condutor depende do campo elétrico \vec{E} , ao qual o condutor está exposto, e das propriedades do material. Essa dependência, em geral, é bastante complexa, contudo, para alguns materiais, como metais, em determinadas temperaturas, essa dependência é quase diretamente proporcional, da forma:

$$\vec{j} = \sigma\vec{E}, \quad (25)$$

onde σ é a condutividade do material.

Resistência elétrica, como o próprio nome sugere, é a dificuldade de elétrons atravessarem um circuito elétrico, ou seja, é a dificuldade de passar corrente elétrica em um circuito. Para os chamados resistores ôhmicos a resistência é constante e segue a relação:

$$R = \frac{V}{i}, \quad (26)$$

onde R é o valor da resistência, V é o valor da diferença de potencial e i é o valor da intensidade da corrente elétrica, ou seja, quando maior a diferença de potencial, maior a corrente elétrica que passa pelo fio.

Se considerarmos um trecho que um fio condutor de comprimento dl e área transversal A por onde passa uma corrente de densidade j constante e homogênea, assim como o campo elétrico E ao qual o fio está exposto, a diferença de potencial dV entre a seção inicial a e a seção final b é:

$$V_a - V_b = V = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} = EL, \quad (27)$$

pois o campo elétrico é uniforme e paralelo a dl .

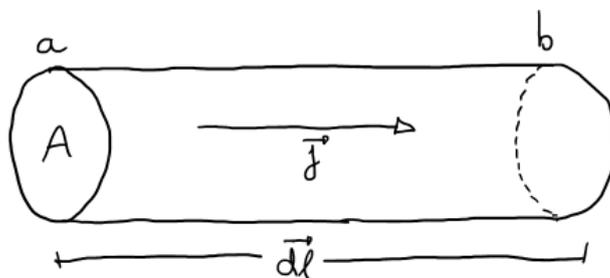


Figura 21 - Trecho de um fio condutor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A intensidade da corrente elétrica nesse trecho é:

$$i = \int \vec{j} \cdot \vec{dS} = \sigma EA, \quad (28)$$

logo, juntando as equações 27 e 28, temos:

$$V = i \frac{L}{\sigma A}, \quad (29)$$

e juntando as equações 26 e 29, temos:

$$R = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A}, \quad (30)$$

onde R é resistência do fio, L é o comprimento do fio, A é a área da seção transversal do fio, σ é a condutividade do fio e ρ é a resistividade do fio, ou seja, a propriedade inversa à condutividade. A unidade de medida da resistência se chama *ohm* e é representada pelo símbolo Ω .

Para transportar uma carga dq através de uma diferença de potencial V é necessário fornecer uma energia igual a:

$$dW = dq V = i dt V, \quad (31)$$

no entanto é mais comum medir a potência, ou seja, a energia por unidade de tempo:

$$\frac{dW}{dt} = P = iV, \quad (32)$$

onde P é a potência e sua unidade é o *watt* (W).

Em uma corrente elétrica que passa pelo trecho dl de um condutor de seção transversal A , onde há uma queda de potencial dV , temos:

$$dP = i \frac{dV}{dl} dl = i dl E = j S dl \cdot E = \vec{j} \cdot \vec{E} dv, \quad (33)$$

onde $dv = S dl$ é o elemento de volume do condutor considerado, como \vec{j} é paralelo a \vec{E} , temos a densidade volumétrica de potência:

$$\frac{dP}{dv} = jE = \sigma E^2 = \frac{j^2}{\sigma}. \quad (34)$$

Essa é a potência dissipada sob a forma de calor em um condutor, essa potência também pode produzir uma radiação térmica visível. Essa conversão de energia elétrica em energia térmica é conhecida como *efeito Joule*, em homenagem ao cientista que a descobriu.

Em termos da resistência R , temos:

$$P = i^2 R = \frac{V^2}{R}. \quad (35)$$

Magnetismo é a área da Física que estuda os fenômenos relacionados às propriedades dos ímãs. Um ímã possui um *polo norte* e um *polo sul*, e é fácil constatar que polos de mesmo nome se repelem, enquanto os polos de nomes contrários se atraem, semelhante ao que acontece com as cargas elétricas positivas e negativas, contudo, diferente das cargas elétricas, onde elas podem existir separadamente, até hoje não foi encontrado um *monopólio magnético*, ou seja, um ímã sempre terá os dois polos, e mesmo que o ímã seja partido em dois, cada parte terá os polos norte e sul.

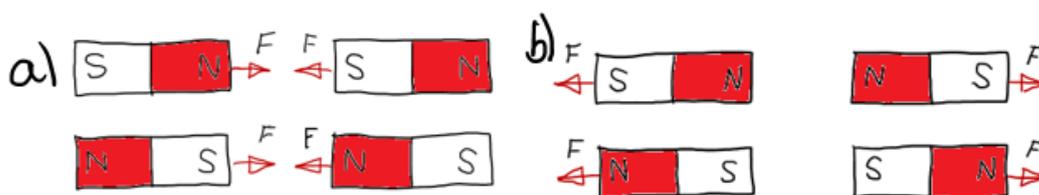


Figura 22 - (a) Atração e (b) repulsão dos polos de um ímã.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como cargas elétricas produzem um campo elétrico, um ímã também produz um campo magnético, que pode afetar outros ímãs, mas também afeta cargas elétricas, desde que essas estejam em movimento, exercendo sobre elas uma força magnética perpendicular ao movimento da carga, que é proporcional à carga e à sua velocidade, essa força magnética é dada por:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad (36)$$

onde F é a força magnética, q é carga elétrica, v é a velocidade da carga e B é o campo magnético que exerce força sobre a carga em movimento, no SI a unidade de B é o *tesla* (T).

Podemos representar um campo magnético por *linhas de campo magnético*, onde o vetor campo magnético é tangente a essas linhas de campo, no espaço onde essas linhas estão mais agrupadas maior é o módulo do campo magnético. Outra característica das linhas de campo magnético é que elas apontam para fora do polo norte ao mesmo tempo que apontam para dentro do polo sul.

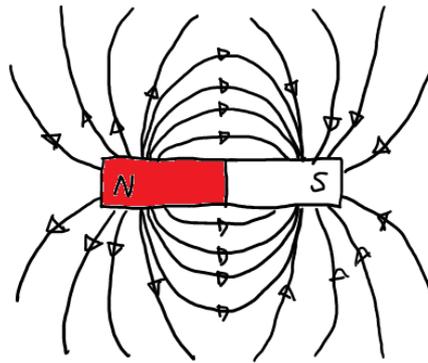


Figura 23 - Linhas de Campo Magnético.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como já foi citado, cargas em movimento são afetadas por um campo magnético, logo uma corrente elétrica, que é uma sucessão de cargas elétricas em movimento, também é afetada se estiver presente em uma região do espaço onde existe um campo magnético.

Supondo que em um trecho infinitésimo dl de um fio metálico condutor de área de seção transversal A percorre uma corrente elétrica de densidade j (como visto na Figura 21) onde essa corrente é formada por elétrons livres, temos:

$$\vec{j} = -ne\vec{v}, \quad (37)$$

onde n é o número de elétrons que por unidade de volume, e é a carga do elétron, v é a velocidade média dos elétrons associados à corrente e o sinal negativo indica que a densidade de corrente tem sentido contrário ao movimento dos elétrons.

Em um campo magnético B a densidade de força por unidade de volume (f) exercida pelo campo será:

$$\vec{f} = -ne\vec{v} \times \vec{B} = \vec{j} \times \vec{B}, \quad (38)$$

assim a força total dF que o campo exerce nos elétrons que estão no volume Adl do condutor é:

$$\vec{dF} = \vec{f}Adl = \vec{j}Adl \times \vec{B} = i\vec{dl} \times \vec{B}, \quad (39)$$

onde $i\vec{dl}$ é chamado de “elemento de corrente”. A força resultante sobre um circuito fechado por onde passa uma corrente estacionária é:

$$\vec{F} = i \int \vec{dl} \times \vec{B}, \quad (40)$$

para um fio retilíneo de comprimento L perpendicular ao campo, a equação 40 pode ser escrita da forma:

$$F = iLB, \quad (41)$$

Como já foi visto uma carga elétrica produz um campo elétrico, se essa carga adquirir uma velocidade e entrar em movimento ela também produzirá um campo magnético.

Através de um experimento, concluiu-se que um campo magnético gerado por uma carga q que possui velocidade constante v em um ponto P é diretamente proporcional ao módulo da carga e inversamente proporcional à distância r que separa a carga ao ponto, semelhante ao campo elétrico, mas também é proporcional ao módulo da velocidade da carga e ao seno do ângulo ϕ entre o vetor velocidade e a reta que passa pela carga e pelo ponto P onde se quer medir o campo, assim temos que o campo magnético gerado por uma carga em movimento é:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \phi}{r^2}, \quad (42)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo ($\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ H/m). Podemos incorporar o módulo, direção e sentido utilizando uma equação vetorial:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}, \quad (43)$$

onde \hat{r} é o vetor unitário que liga a carga ao ponto onde o campo magnético está sendo medido.

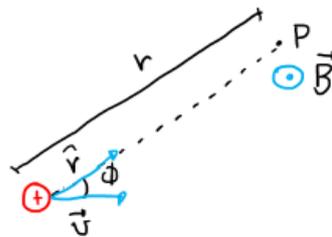


Figura 24 - Campo magnético gerado por uma carga em movimento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Se considerarmos que um trecho infinitésimo dl de um fio condutor de área da seção transversal A por onde passa uma corrente, logo existe um número n de partículas por unidade de volume com carga q , então a carga total dQ que passa por esse trecho é:

$$dQ = nqA dl. \quad (44)$$

A carga total dQ possui uma velocidade v , gerando um campo magnético resultante dB dado por:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dQv \sin \phi}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{nqvA dl \sin \phi}{r^2}, \quad (45)$$

porém, pelas equações 19 e 24, podemos dizer que:

$$i = nqvA, \quad (46)$$

assim a equação 45 fica:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{idl \sin \phi}{r^2}, \quad (47)$$

e podemos colocá-la sob uma forma vetorial:

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i \vec{dl} \times \hat{r}}{r^2}. \quad (48)$$

As equações 47 e 48 são formas equivalentes da **lei de Biot-Savart** que pode ser utilizada para calcular o campo magnético produzido em qualquer ponto do espaço por uma corrente que flui em um circuito completo. Para tal, basta integrar a equação 48 em todos os trechos dl que conduzem a corrente:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i \vec{dl} \times \hat{r}}{r^2}. \quad (49)$$

Uma aplicação importante da lei de Biot-Savart é determinar o campo magnético produzido por uma corrente elétrica em fio condutor retilíneo. Consideramos um fio retilíneo de comprimento $2a$ por onde passa uma corrente i , vamos calcular o campo magnético B em um ponto sobre a reta perpendicular que divide o fio condutor em duas metades, situado a uma distância R do fio.

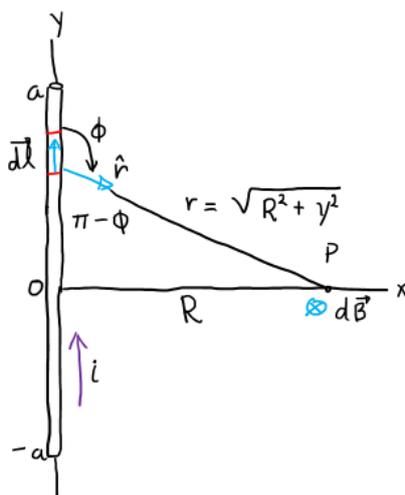


Figura 25 - Campo magnético gerado por um fio retilíneo de comprimento $2a$ por onde passa uma corrente i .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos os elementos de corrente dão uma contribuição dB na mesma direção e sentido no ponto P , de forma que basta somar essas contribuições, em outras palavras, podemos integrar a equação 45. Pela Figura 25 observamos que:

$$dl = dy ; r = \sqrt{R^2 + y^2} ; \sin \phi = \sin(\pi - \phi) = \frac{R}{\sqrt{R^2 + y^2}},$$

fazendo essas substituições na equação 45 e integrando, temos:

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_{-a}^a \frac{R dy}{(R^2 + y^2)^{3/2}}, \quad (50)$$

utilizando o resultado:

$$\int \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{1}{a^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}}, \quad (51)$$

o resultado da equação 50 é:

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{2a}{R\sqrt{R^2 + a^2}}. \quad (52)$$

Quando o comprimento do fio é muito maior do que a distância R podemos dizer que o fio tem comprimento infinito, e nesse limite a equação 52 é reduzida a:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}. \quad (53)$$

Consideramos agora dois fios condutores, fio a e fio b , paralelos entre si e separados por uma distância d , por onde passam as correntes estacionárias i_a e i_b , respectivamente, de mesmo sentido. O campo magnético gerado por i_a no fio b , segundo a equação 53, é dado por:

$$B_a = \frac{\mu_0 i_a}{2\pi d}, \quad (54)$$

esse campo exerce uma força magnética no fio b , segundo a equação 41, da forma:

$$F_{ab} = i_b L B_a = \frac{\mu_0 L i_a i_b}{2\pi d}, \quad (55)$$

onde F_{ab} é a força magnética entre os fios, μ_0 é a permeabilidade do vácuo, i_a e i_b são, respectivamente as correntes elétricas do fio a e do fio b , e d é a distância entre os fios. Como consideramos que as correntes estão no mesmo sentido a força magnética F_{ab} é uma força atrativa, se as correntes estiverem em sentidos opostos a força magnética F_{ab} seria uma força repulsiva.

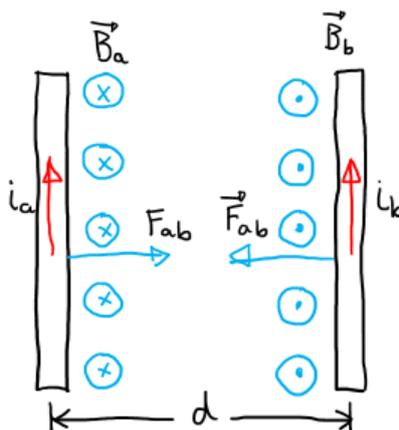


Figura 26 - Força magnética entre dois fios paralelos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Se considerarmos uma espira circular de raio a por onde passa uma corrente I , que entra e sai por dois fios retilíneos longos (Figura 27), pode-se usar a lei de Biot-Savart (equação 48) para encontrar o campo magnético no ponto P sobre o eixo da espira, com uma distância x do centro.

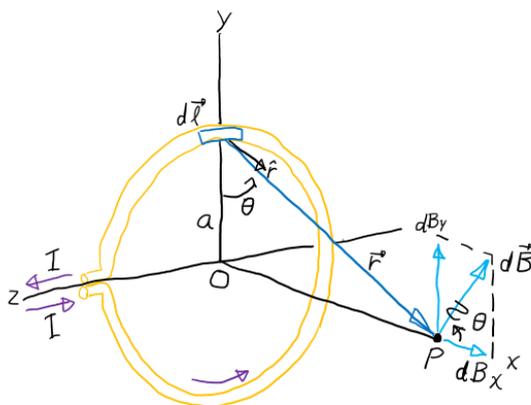


Figura 27 – Campo magnético gerado por uma espira de raio a em um ponto P .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela Figura 27, $d\vec{l}$ e \hat{r} são perpendiculares, e a direção do campo $d\vec{B}$ está sobre o plano xy , logo podemos dizer que o campo magnético produzido pelo elemento $d\vec{l}$ é:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{(x^2 + a^2)}. \quad (56)$$

O campo total no ponto P possui apenas a componente x , pois para cada elemento $d\vec{l}$ existe um correspondente no lado oposto da espira, onde esses elementos opostos fornecem contribuições iguais e em sentidos opostos no eixo y , fazendo com que a

componente do campo nesse eixo seja zero. Por outro lado, as contribuições desses elementos na direção x são somadas. A contribuição do elemento $d\vec{l}$ no eixo x é dado por:

$$dB_x = dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{(x^2 + a^2)} \frac{a}{(x^2 + a^2)^{1/2}}. \quad (57)$$

Ao integrar a equação 57, temos o campo magnético total no ponto P , dessa forma somamos as contribuições de todos os elementos $d\vec{l}$ da espira. Todas as grandezas da equação são constantes, com exceção de $d\vec{l}$, assim podemos integrar a equação, conseguindo:

$$B_x = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a dl}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \int dl, \quad (58)$$

onde a integral de dl dada pelo comprimento da circunferência, conseguindo assim:

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}. \quad (59)$$

Porém, se em vez de apenas uma espira tenhamos uma bobina formada por N espiras de mesmo raio a , podemos multiplicar a equação 59 pelo número de espiras, obtendo assim o campo magnético formado pela bobina:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}, \quad (60)$$

No centro da bobina, onde x é igual a zero, a equação 60 pode ser reduzida a:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I}{2a}, \quad (61)$$

onde, nesse caso, é o campo magnético máximo gerado pela bobina.

Quando uma espira, por onde passa uma corrente, é colocada em uma região onde existe um campo magnético \vec{B} , sofre a ação de forças magnéticas, como mostrados na Figura 28:

A força resultante é sobre a espira é nula, porém o torque resultante é, geralmente, diferente de zero. De acordo com a regra da mão direita, as forças elétricas \vec{F} e $-\vec{F}$ fornecem, cada uma, um torque na mesma direção e sentido. O braço de força de cada uma das forças é $b/2$, assim o módulo do torque total é:

$$\tau = 2F \left(\frac{b}{2} \right) \sin \varphi = Fb \sin \varphi, \quad (62)$$

onde podemos utilizar a equação 41 para substituir F , conseguindo a equação:

$$\tau = (IBa)(b \sin \varphi) = IBA \sin \varphi, \quad (63)$$

onde A é a área da espira ($A = ab$).

O produto IA é denominado **momento de dipolo magnético** ou somente **momento magnético** da espira, representado pela letra grega μ . Assim:

$$\tau = \mu B \sin \varphi. \quad (64)$$

Por fim, podemos colocar a equação 64 na sua forma vetorial, obtendo:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}. \quad (65)$$

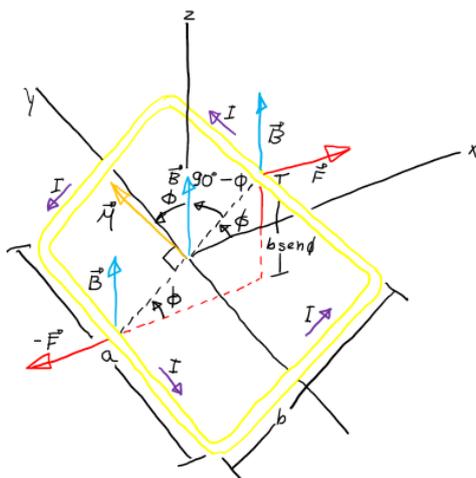


Figura 28 – Forças magnéticas em uma espira.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional desenvolvido é um Manual de Experimentos de Baixo-Custo que pode ser utilizado pelo professor e ajudá-lo a preparar aulas com uma abordagem experimental e diferenciá-las das aulas tradicionais. No entanto, o professor deve estar atento que o experimento por si só não é o suficiente, é necessário haver um planejamento de como abordar os experimentos em sala, ou seja, ter uma estratégia didática.

Uma forma de utilizar uma abordagem experimental é associá-la à uma abordagem P.O.E. (Predizer, Observar e Explicar), explanada mais à frente, permitindo que o aluno tenha autonomia no próprio processo de aprendizagem.

Esta é apenas uma amostra dos diversos experimentos possíveis de confeccionar e realizar com materiais de baixo-custo, um ponto de partida para o professor que quer diferenciá-la sua aula, sendo possível alterar e acrescentar experimentos de acordo com as necessidades de cada professor e a sua relação com seus alunos.

4.1 ESTRATÉGIA DIDÁTICA

Ao utilizar uma abordagem experimental, o professor deve tomar o cuidado para que não seja uma atividade mecânica, onde os alunos seguem um roteiro, sendo apenas uma coleta de dados e não dando a oportunidade para o aluno pensar por si só.

Uma proposta de estratégia didática para aplicar os experimentos em sala é o método P.O.E. (Predizer, Observar e Explicar). Proposto por Nedelsky (1961) e White e Gunstone (1992), como o próprio nome sugere, esse método é aplicado em três etapas (FIDELIS et al., 2019):

1. Predizer: na primeira etapa, os alunos são apresentados ao experimento, mas sem que ocorra a demonstração do experimento de fato, e, em grupo ou individualmente, os alunos devem tentar predizer o que irá ocorrer, recorrendo aos seus conhecimentos prévios adquiridos no seu cotidiano. É interessante fazer com que os alunos realizem um breve debate defendendo suas previsões.

2. Observar: nesta etapa, os alunos observam o que de fato acontece na realização do experimento, mas além de apenas observar, é importante que o aluno interaja com o experimento, e tente realizar diferentes possibilidades na realização do experimento. Nesse momento os alunos devem descrever as suas observações e comparar com suas previsões anteriores, podendo ocorrer um conflito cognitivo no esquema de assimilação dos alunos.

3. Explicar: na última etapa, os alunos devem explicar as diferenças e as similaridades entre as previsões feitas na primeira etapa e as observações feitas na segunda etapa. É nessa etapa que ocorre o reequilíbrio e a aprendizagem do saber científico acontece (SCHWAHN et al., 2007).

O papel do professor é fundamental em todas as etapas, ele deve guiar os alunos para que eles não saiam do caminho correto, mas tomando o cuidado de que sua interferência altere os resultados dos alunos (MESQUITA, 2017).

A eficácia do método P.O.E foi demonstrada por Balen e Netz (2005) ao usar modelagens e simulações, junto com o método P.O.E., para explicar conceitos fundamentais para o estudo dos gases aos alunos recém-matriculados em cursos universitários das áreas de Ciências e Tecnologias. Os alunos foram divididos em dois grupos, o grupo A, onde a metodologia foi aplicada, e o grupo B, onde não houve a aplicação desse método. No final desse estudo foi constatado uma melhor compreensão do grupo A.

Para que essa abordagem seja feita de forma adequada ela deve ocorrer antes que qualquer explicação do conteúdo de física, para que os alunos possam fazer suas previsões com base apenas em suas experiências do cotidiano e criar as próprias explicações para o fenômeno visto na etapa de observação, aproximando o conhecimento adquirido com o saber científico.

4.2 EXPERIMENTOS

Nessa seção, aborda-se os experimentos de baixo-custo escolhidos no Manual com o objetivo de formar um laboratório onde os alunos possam observar, experimentar e discutir os fenômenos demonstrados. Os experimentos tiveram como referências

diversos vídeos do canal “Manual do Mundo”, “Com Ciência Tranquila” e “Física PIBID”

Para melhor compreensão dos experimentos, este capítulo apresenta os materiais necessários, o passo a passo e uma breve explicação do fenômeno apresentado.

Tabela 1 - Lista dos Experimentos abordados neste capítulo

Área da Física	Experimentos	Conceitos estudados	Aplicações
Fluidos	Arco Íris no Copo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Densidade, Massa e Volume 	Navio flutuando Adulteração de Combustível
	Fonte de Héron	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pressão Atmosférica ➤ Lei de Stevin 	Mecanismos de distribuição de água
	Elevador Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Princípio de Pascal ➤ Distribuição uniforme da Pressão 	Elevador hidráulico para carros
Óptica	Projetor de Celular	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Formação de Imagem Real ➤ Foco da Lente ➤ Pontos Conjugados de Gauss 	Projeção da imagem no cinema
Eletromagnetismo	Pêndulo Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eletrização por Contato ➤ Repulsão e Atração de Cargas Elétricas 	Funcionamento de máquinas copiadoras.
	Gaiola de Celular	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Campo Elétrico em Condutores ➤ Princípio da Gaiola de Faraday 	Blindagem eletromagnética de carros e aviões
	Bateria Caseira	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Corrente Elétrica ➤ Transformações de Energia 	Funcionamento das pilhas e baterias
	Lâmpada de Grafite	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Circuito Elétrico Simples ➤ Resistência ➤ Efeito Joule 	Circuitos elétricos das casas e aparelhos eletrodomésticos

	Fio atrai Fio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Campo Magnético formado por cargas em movimento ➤ Atração e Repulsão de Polos Magnéticos 	Transformadores e Geradores de corrente alternada.
	Motor Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Campo Magnético formado por cargas em movimento 	Funcionamento de motores elétricos.

Os experimentos e assuntos que compõem esse Manual foram escolhidos para dar uma maior visibilidade aos fenômenos físicos que não envolvam Cinética e Dinâmica, pois estes fenômenos são mais facilmente observados e identificados pelos alunos.

4.2.1 ARCO-ÍRIS NO COPO

Um fluido é qualquer substância que pode escoar e alterar sua forma de acordo com o recipiente que ele ocupa. O termo *fluido* pode se referir a líquidos e gases

Na Física, quando falamos de fluidos, uma das grandezas mais importantes é a massa específica, conhecida no Ensino Fundamental e Médio como densidade. A densidade é a relação entre a massa e o volume do fluido, assim para uma determinada massa de um fluido que possui um determinado volume, podemos calcular a densidade pela equação 66:

$$d = \frac{\Delta m}{\Delta V}, \quad (66)$$

onde d é a densidade, Δm é a massa da parte do fluido onde a densidade está sendo calculada, e ΔV é o volume correspondente à massa que está sendo considerada.

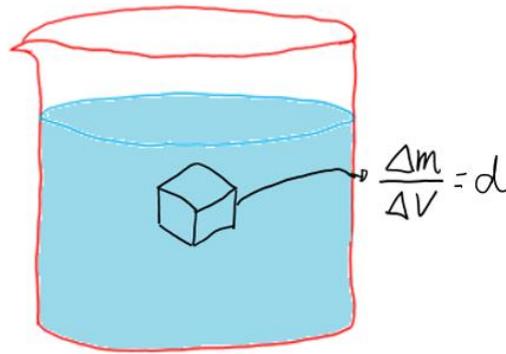


Figura 29 - Densidade de uma parte limitada do líquido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, para uma mistura homogênea, onde a densidade é a mesma em todos os pontos do fluido, a densidade pode ser calculada pela equação 67:

$$d = \frac{m}{V}, \quad (67)$$

onde d é a densidade, m é a massa total do fluido e V é o volume total do fluido.

Um fluido com uma densidade menor flutua em fluidos com densidades maiores. Isso pode ser explicado pelo Princípio de Arquimedes que diz que quando um objeto está submerso, ou parcialmente submerso, em um fluido sofre a ação de uma força vertical para cima, de módulo igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo objeto, chamada de empuxo. Esse princípio pode ser resumido pela equação 68:

$$E = d_L V_s g, \quad (68)$$

onde E é a força de empuxo, d_L é a densidade do fluido, V_s é o volume do fluido deslocado, ou seja, o volume da parte submersa do objeto no fluido, e g é a gravidade. Assim um fluido com densidade maior terá uma força de empuxo maior, sustentando os demais fluidos, logo ficando no fundo, enquanto os fluidos de menor densidade flutuam em cima dos fluidos de maior densidade.

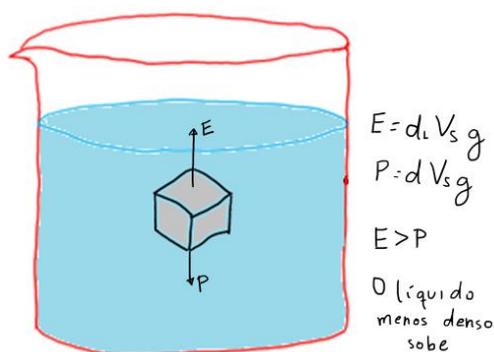


Figura 30 - Empuxo sobre um corpo imerso em um fluido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse fenômeno pode ser difícil de imaginar para o aluno, logo o experimento proposto é uma demonstração visual. Ao acrescentar diferentes quantidades de açúcar nos copos com água e usando corantes ou suco em pó de diferentes cores, temos líquidos com diferentes densidades e cores diferentes para diferenciá-los. Ao colocarmos os líquidos no mesmo copo, tomando o cuidado de não os misturar, obteremos faixas de líquidos de diferentes cores, onde há uma densidade correspondente a cada cor, de forma que o líquido com maior densidade ficará no fundo do copo. Como as soluções são feitas à base de água elas podem misturar-se com facilidade se não tomarmos cuidado. Se as soluções se misturarem obteremos uma solução homogênea, perdendo o efeito visual desejado no experimento.

Os conceitos de densidade e empuxo podem explicar, por exemplo, o porquê de um navio não afundar, ou porque *icebergs* flutuam na água, pois apesar de serem objetos de grande tamanho e massa, as suas densidades são menores que a água.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) 7 copos de vidro;
- b) 5 saquinhos de pó de gelatina, ou de suco, de cores diferentes (utilizadas nesse experimento foram: uva, morango, abacaxi, goiaba e limão);
- c) açúcar;
- d) conta-gotas.

Passo a passo:

Em cinco copos diferentes coloque 200 ml de água em cada e em cada copo coloque duas colheres de cada suco ou gelatina em pó, obtendo colorações diferentes. Coloque uma colher de açúcar no segundo copo, duas colheres no terceiro, três colheres no quarto e quatro colheres no quinto, deixando o primeiro copo sem açúcar. Com a ajuda do conta-gotas, coloque os líquidos no sexto copo, começando com o líquido com mais açúcar e tomando o cuidado para os líquidos não se misturarem, para isso, o líquido terá que escorregar pela parede do copo. Utilizando uma balança podemos calcular a densidade dos líquidos, conhecendo o volume de água utilizado e as massas dos copos, podemos calcular as massas das soluções e utilizar a equação 55 para calcular as diferentes densidades.



Figura 31 - Experimento Arco-Íris no Copo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31. (a) Líquidos de diferentes densidades, representadas por diferentes cores. A densidade é crescente da esquerda para a direita. (b) Líquidos de diferentes densidades “empilhados”, com o de maior densidade no fundo e o de menor densidade em cima.

4.2.2 FONTE DE HERON

Considere um êmbolo de área plana ΔA que se desliza em um pequeno cilindro graduado que repousa em uma mola calibrada, esse conjunto forma um medidor de força que é afundado em um fluido. Ao ser afundado, a mola sofre um deslocamento que é registrado pelo cilindro graduado, indicando o módulo de uma força normal ΔF que age sobre o êmbolo. Definimos como pressão P a razão da força sofrida pelo êmbolo e a área desse êmbolo, da seguinte forma:

$$P = \frac{\Delta F}{\Delta A}. \quad (69)$$

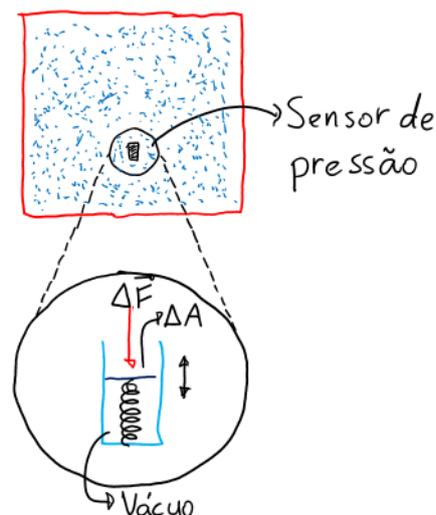


Figura 32 - Sensor de Pressão dentro de um fluido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Se a força F for uniforme em toda uma área plana A , então podemos reescrever a equação 69 da forma:

$$P = \frac{F}{A}. \quad (70)$$

Em um fluido em equilíbrio todos os pontos que estão na mesma altura estão sujeitos a mesma pressão, chamada de pressão hidrostática, ela depende não só da altura a ser medida, mas também da gravidade e da densidade do fluido.

$$P = P_0 + dgh, \quad (71)$$

onde P é a pressão do ponto a ser medido, P_0 é a pressão atmosférica, g é a aceleração da gravidade, d é a densidade do fluido e h é a altura da coluna formada pelo fluido, ou seja, a profundidade do ponto a ser medido. A equação 71 também é conhecida como Lei de Stevin.

Mesmo sem perceber, o ar que nos cerca exerce uma pressão em nossos corpos, a chamada pressão atmosférica, e conseqüente mente uma força. A lei de Stevin explica porque em grandes altitudes essa pressão atmosférica é menor do que no nível do mar, sendo necessário que um avião, por exemplo, tenha uma cabine pressurizada, ou porque em grandes profundidades do mar a pressão é muito maior, sendo necessário equipamentos adequados para explorar os mares e oceanos.

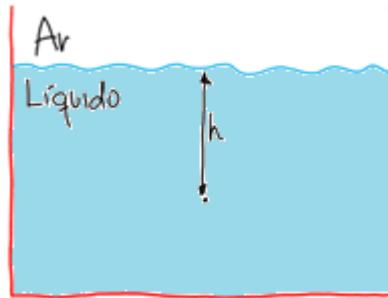


Figura 33 - Pressão hidrostática em um ponto do fluido.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Fonte de Heron é uma máquina hidráulica inventada por Heron de Alexandria. A fonte consiste em fazer com que a água jorre acima do seu nível sem utilizar bombas hidráulicas. Para iniciar a fonte, devemos colocar água na garrafa superior, a água introduzida irá descer para a garrafa inferior através da mangueira de silicone 1 (Figura 34). Pelo fato de dois corpos não ocuparem o mesmo espaço ao mesmo tempo, o ar que estava na garrafa inferior, que é um corpo, apesar de gasoso e invisível, irá subir para a garrafa do meio através do tubo de PVC, e da mesma forma irá fazer a água que estava na garrafa do meio suba pela mangueira de silicone 2 e jorre acima da garrafa superior. Isso ocorre porque a altura da mangueira 1 é maior que a altura da mangueira 2, assim a diferença de pressão que a água sofre ao passar pela mangueira 1 é maior que a diferença de pressão sofrida pela água quando passa pela mangueira 2, como visto na equação 67, e como pressão está relacionado à força, pela equação 66, a força que a água exerce ao descer pela mangueira 1 é maior do que a força necessária para fazer a água subir pela mangueira 2, fazendo com que a água jorre como uma fonte.

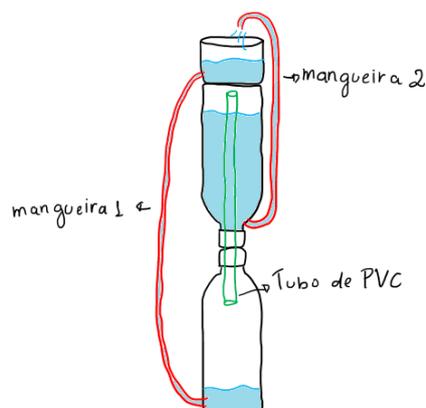


Figura 34 - Esquema da Fonte de Heron.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) 3 garrafas PET de 1 litro;
- b) tesoura;
- c) estilete;
- d) água;
- e) cola quente;
- f) tubo de PVC ou alumínio de diâmetro inferior à boca da garrafa;
- g) solda quente ou pedaço de metal quente;
- h) mangueira de silicone ou equipo gravitacional para a infusão de soro.

Passo a passo:

Una duas tampinhas com cola quente, pela parte plana e faça um furo no meio, usando a solda ou um pedaço de metal quente, passando pelas duas tampas. Atravesse o furo com o tubo de alumínio ou PVC, o tubo deve ter o comprimento de 6cm a mais que a garrafa. Feche as duas garrafas com as tampas coladas, unindo-as. Corte a parte de baixo da terceira garrafa, e cole na parte de baixo da garrafa que possui o tubo. Utilizando a solda, faça um furo na parte inferior da garrafa do topo e um furo na parte inferior na primeira garrafa de baixo para cima, e ligue esses furos com a mangueira ou equipo, fixando bem com a cola quente, da mesma maneira, faça um furo na parte inferior da garrafa do meio (com o tubo), e ligue esse furo com a parte superior da garrafa no topo, utilizando a mangueira ou o equipo. Para fazer a fonte funcionar, primeiramente encha a garrafa inferior com água, utilizando a mangueira que liga ela com a garrafa superior. Depois de enchê-la completamente, vire a fonte de cabeça para baixo, para toda essa água passar para a garrafa do meio através do tubo, e retorne a fonte para a posição inicial. Com toda a água na garrafa do meio, coloque um pouco de água na garrafa superior para fazer a fonte funcionar.



Figura 35 - Experimento Fonte de Heron.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35. (a) Materiais para o experimento. (b) Tubo de PVC atravessando as tampas de garrafas. (c) Garrafas conectadas pelo tubo de PVC. (d) Fonte de Heron montada. (e) Fonte de Heron em funcionamento.

4.2.3 ELEVADOR HIDRÁULICO

Observando a Figura 36 temos um sistema de dois cilindros, de áreas transversais diferentes, comunicados através de um tubo, fechados por êmbolos móveis de áreas iguais às áreas transversais de seus respectivos cilindros. O sistema está cheio de um fluido incompressível, óleo. Ao aplicar uma pressão por meio de uma força perpendicular em um dos êmbolos, essa pressão é distribuída igualmente em todos os pontos do fluido, fazendo com que o segundo êmbolo seja levantado. Como a pressão é a mesma nos dois lados, a força aplicada no êmbolo de área menor é multiplicada no êmbolo de área maior, seguindo a relação mostrada na equação 72, fazendo com que seja possível levantar objetos muito pesados posicionados no êmbolo maior ao aplicar uma força menor no êmbolo menor. Esse fenômeno é conhecido como Princípio de Pascal.

$$\frac{F_e}{A_e} = \frac{F_s}{A_s}, \quad (72)$$

onde F_e é a força de entrada, aplicada perpendicularmente em A_e , a área de entrada e F_s é a força de saída, aplicada perpendicularmente em A_s , a área de saída.

Esse fenômeno é o mesmo que acontece nos elevadores hidráulicos utilizados para levantar objetos pesados, como carros e outros, e também está presente na direção hidráulica dos carros.

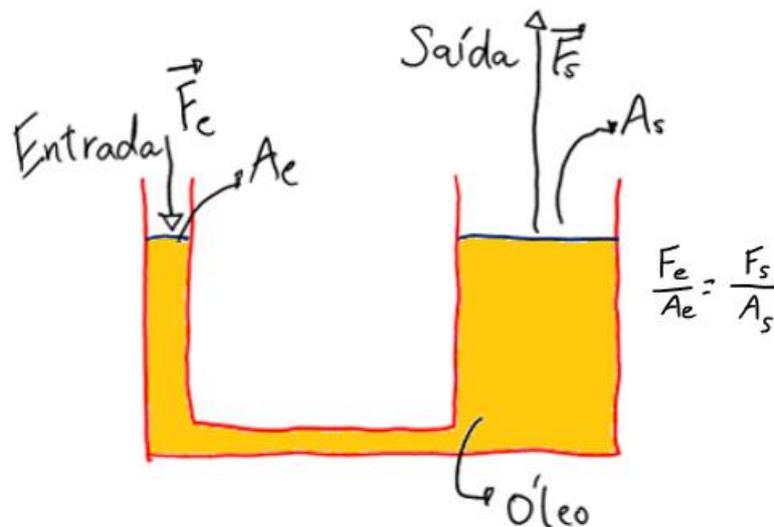


Figura 36 - Representação do Princípio de pascal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Materiais necessários para montar o experimento:

- uma placa de madeira;
- duas seringas de diâmetros diferentes;
- mangueira de silicone ou equipo gravitacional para a infusão de soro;
- cola quente;
- água;
- objetos de massas diferentes.

Passo a passo:

Coloque um pouco de água em uma das seringas, puxando o êmbolo e conecte-as pela mangueira de silicone. Cole as seringas na placa de madeira de forma que elas fiquem um

pouco separadas, e que a parte móvel fique totalmente a cima da placa, para poder movimentá-las livremente. Pode-se também colar suportes em cima dos êmbolos, como tampas de potes, para poder colocar as diferentes massas.

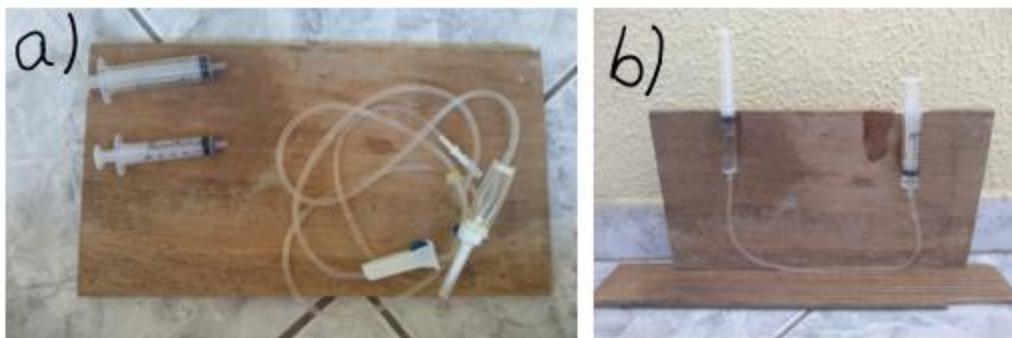


Figura 37 - Experimento Elevador Hidráulico

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37. (a) Materiais para o experimento. (b) Experimento Elevador Hidráulico em funcionamento.

4.2.4 PROJETOR DE CELULAR

Na Óptica, chamamos de imagem a reprodução de um objeto por meio da luz, e pode ser obtida através de instrumentos ópticos como espelhos e lentes esféricas. A imagem pode ser classificada como real ou virtual.

A imagem real, observando a Figura 38a, é aquela formada pelos raios de luz que partem do objeto, já a imagem virtual, observando a Figura 38b, é aquela formada pela prolongação dos raios de luz que partem do objeto. O reflexo que vemos no espelho é um exemplo de imagem virtual, já um exemplo de imagem real é a projeção utilizada nos cinemas.

Devido à natureza da lente, a luz vinda do objeto projeta uma imagem real, invertida e maior no anteparo. O conceito de imagem real pode ser desafiador para alguns alunos, já que em sua maioria, conhecem apenas imagens virtuais. Dessa forma os alunos poderão compreender a diferença entre uma imagem virtual e uma imagem real.

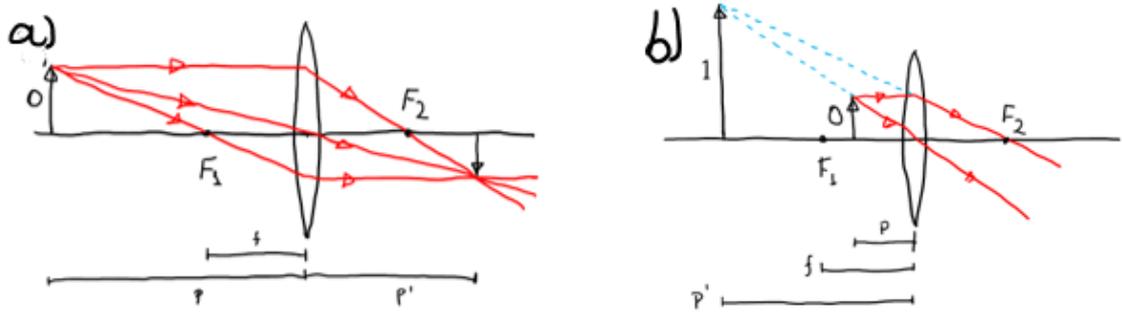


Figura 38 - Representação de uma Imagem Real (a) e Imagem Virtual (b) em lentes esféricas.

Fonte: Elaborado pelo autor

Também é possível verificar a equação de Gauss, ou equação dos pontos conjugados, para lentes esféricas dada pela equação 73, medindo a distância do objeto até a lente e a distância da imagem até a lente, essa deve ser medida quando a imagem está bem focada, e verificando a distância focal encontrada com a distância focal da lente.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p} \quad (73)$$

onde f é a distância focal da lente, p é a distância do objeto até a lente e i é a distância da imagem formada até a lente.

Ao alterar a distância do celular até a lente, podemos alterar o foco da imagem projetada na parede, dessa forma a imagem estará “formada” quando estiver bem focada.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) isopor;
- b) caixa de sapato;
- c) lupa;
- d) cola de isopor;
- e) celular;
- f) estilete ou tesoura;
- g) fita adesiva;
- h) tinta preta e pincel (opcional).

Passo a passo:

Com o isopor, a cola de isopor e o estilete, faça um suporte de celular, para deixa-lo em pé dentro da caixa de sapato. Corte uma das frentes da caixa de sapato para encaixar a lupa, e fixe a lupa com fita adesiva (dependendo do tamanho da lupa escolhida, será necessário unir duas caixas de sapato para poder ajustar o foco). Pinte toda a parte interna da caixa e da tampa com tinta preta, para melhorar a imagem da projeção. Coloque o celular no suporte, com a imagem virada de cabeça para baixo, e coloque o suporte na caixa com a lupa, ajuste o foco da imagem projetada na parede alterando a distância entre o celular e a lupa. Feche a tampa e projete a imagem numa sala escura para enxergar a imagem.



Figura 39 - Experimento Projetor de Celular

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39. (a) Suporte para o celular feito de isopor. (b) Lupa encaixada na lateral da caixa cm fita. (c) Experimento Projetor de Celular montado.

4.2.5 PÊNDBULO ELÉTRICO

Carga elétrica é um atributo intrínseco de um objeto assim como a massa, porém a carga elétrica pode ser *positiva* ou *negativa*, todo objeto possui esses dois tipos de carga, normalmente elas estão em iguais quantidades, tornando o objeto eletricamente neutro. As cargas exercem forças umas sobre as outras, e essas forças podem atrativas, se as cargas tiverem sinais diferentes, ou repulsivas, se as cargas tiverem cargas de mesmo sinal.

A eletrização é o processo de transformar um corpo eletricamente neutro, ou seja, com quantidades iguais de cargas positivas e negativas (prótons e elétrons, respectivamente), em um corpo eletrizado, ou eletricamente carregado, ou seja, com excesso em um dos tipos de cargas.

A eletrização por contato ocorre quando dois corpos metálicos, onde um está inicialmente neutro e outro está previamente carregado, entram em contato direto. Por metais serem materiais condutores de eletricidade, os elétrons (cargas negativas) possuem facilidade em se locomover dentro do material e procuram um estado de maior equilíbrio afastando-se umas das outras, utilizando o corpo inicialmente neutro para esse fim, assim no final do processo de eletrização, ambos os corpos ficam eletrizados com o mesmo tipo de carga.

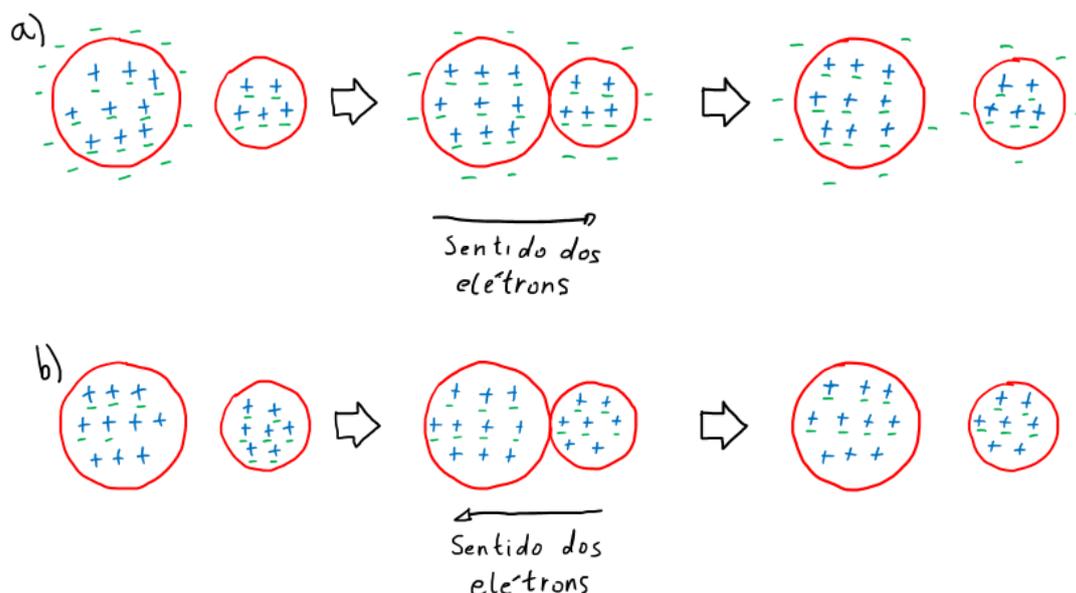


Figura 40 - Processo de Eletrização por contato quando (a) há excesso de cargas negativas e (b) excesso e cargas positivas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para fins pedagógicos, é comum desenhar as cargas positivas locomovendo-se e afastando-se, mas é importante lembrar que estas cargas estão presas ao núcleo dos átomos, logo elas não se movem dentro dos corpos condutores, o que de fato acontece é que são os elétrons, cargas negativas, e apenas eles que se locomovem procurando o estado de maior equilíbrio.

No mundo atual, as forças elétricas estão presentes no nosso cotidiano, o simples fato de ligar um eletrodoméstico na tomada causa uma interação entre cargas, ou seja, forças elétricas.

Neste experimento, ao ligar as latinhas na raquete, elas funcionam como os terminais da raquete, ao ligarmos a raquete uma latinha fica carregada com cargas positivas e a outra, com cargas negativas, assim a bolinha de papel alumínio, inicialmente neutra, deve entrar em contato com uma das latinhas, sendo o alumínio um material condutor, ocorre o processo de eletrização por contato, e ambos ficam carregados com cargas do mesmo tipo e a bolinha será repelida por esta lata, já que possuem cargas de mesmo sinal, e cargas com o mesmo sinal se repelem, ao mesmo tempo que é atraída para a outra lata, já que possuem cargas opostas e cargas com sinais opostos se atraem. Ao encostar na segunda lata o processo de eletrização por contato se repete, assim como os efeitos de atração e repulsão, fazendo o efeito pêndulo na bolinha de papel alumínio.

Dessa forma é possível explicar as leis de atração e repulsão entre cargas elétricas e também o processo de eletrização por contato, trazendo uma abordagem visual e atrativa para os alunos.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) raquete elétrica;
- b) chave de fenda;
- c) papel alumínio;
- d) duas latinhas de metal;
- e) lápis;
- f) linha;
- g) fios de cobre;
- h) tesoura.

Passo a passo:

Com a chave de fenda, abra a raquete, tomando o cuidado de deixá-la descarregada antes. Descasque uma parte dos fios das raquetes, sem cortá-los, e enrole os fios soltos na parte descascada. Ligue as outras pontas de cada fio nas latinhas de metal. Amarre um pedaço de linha no lápis e coloque uma bolinha de papel alumínio na ponta solta. Apoie o lápis

nas duas latinhas de forma que a bolinha de papel alumínio fique entre as latas e ligue a raquete elétrica e faça a bolinha encostar em uma das latinhas.



Figura 41 - Experimento Pêndulo Elétrico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41. (a) Materiais para o experimento. (b) Fios da raquete elétrica conectados a fios condutores. (c) Pêndulo feito com papel alumínio sustentado por um lápis. (d) Experimento Pêndulo Elétrico montado.

4.2.6 GAIOLA DE CELULAR

Blindagem eletrostática é um fenômeno físico onde um objeto, um instrumento eletrônico por exemplo, fica imune à ação de campos elétricos ao estar completamente envolto por um material condutor. Os elétrons dentro de um material condutor possuem liberdade de movimento, ao serem expostos a um campo elétrico, esses elétrons adquirem uma aceleração devido à força elétrica causada pelo campo:

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad (74)$$

onde F é a força elétrica, q é a carga e E é o campo elétrico.

Ao se moverem no sentido contrário ao campo elétrico os elétrons se concentram em uma extremidade do material condutor, deixando um excesso de prótons na extremidade oposta, polarizando as cargas no condutor. Essa polarização cria um campo

elétrico interno induzido contrário ao campo elétrico externo, de tal forma que o campo total no interior do condutor é zero.

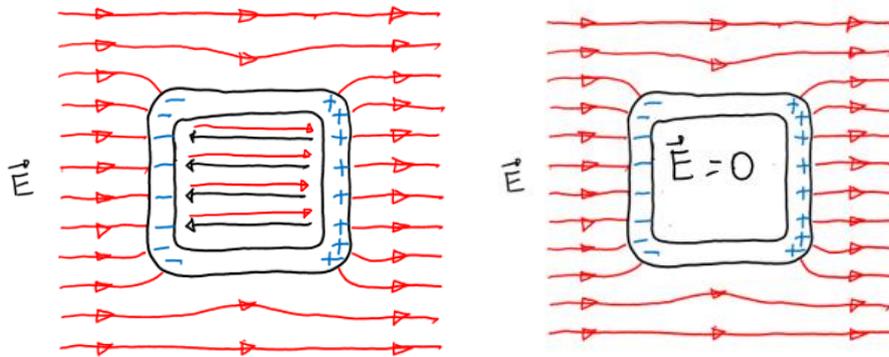


Figura 42 - Campo elétrico em um material condutor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sinal emitido por um celular é formado por ondas eletromagnéticas, que são ondas formadas pela união de campo elétrico e um campo magnético que se sustentam mutuamente, essas ondas viajam com a velocidade da luz (aproximadamente 3×10^8 m/s) e não precisam de um meio material para se propagarem, podendo se propagarem no vácuo.

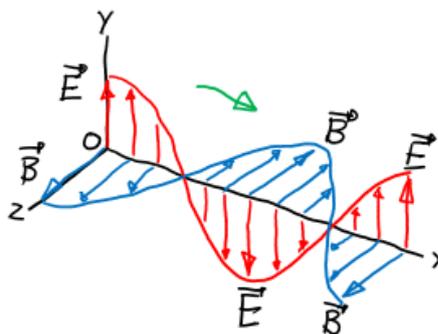


Figura 43 - Representação de uma Onda Eletromagnética.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao enrolamos um dos celulares no papel alumínio, criamos uma blindagem eletrostática, impedindo que a propagação da onda eletromagnética para dentro do condutor, fazendo com que o celular que está dentro do papel alumínio não receba a chamada.

É importante lembrar que as ondas eletromagnéticas emitidas pelo telefone celular estão na faixa das micro-ondas (entre 10^{-1} m e 10^{-3} m), assim elas podem passar por brechas maiores, é por este motivo que um telefone celular ainda funciona num elevador, por exemplo, que não é completamente blindado eletrostaticamente.

Esse experimento também é chamado de Gaiola de Faraday, e pode ser usado para explicar, por exemplo, por que as pessoas dentro de um avião não sofrem danos elétricos se o avião for atingido por um raio durante uma tempestade.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) dois celulares;
- b) papel alumínio.

Passo a passo:

No primeiro momento ligue de um celular para o outro, verificando o sinal dos celulares. No segundo momento, enrole um dos celulares no papel alumínio e tente ligar para este celular com o celular livre, e observe que a chamada não se completa.



Figura 44 - Experimento Gaiola de Celular.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44. Experimento Gaiola de Celular. O celular enrolado do papel alumínio não recebe ligação.

4.2.7 BATERIA CASEIRA

A corrente elétrica é o movimento ordenado de partículas carregadas, que se movem ao longo de um fio, quanto maior o movimento das cargas, maior a corrente. Podemos expressar a corrente por meio da equação 75:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \quad (75)$$

onde i é a intensidade da corrente elétrica, Δq é a carga elétrica e Δt é o intervalo de tempo considerado.

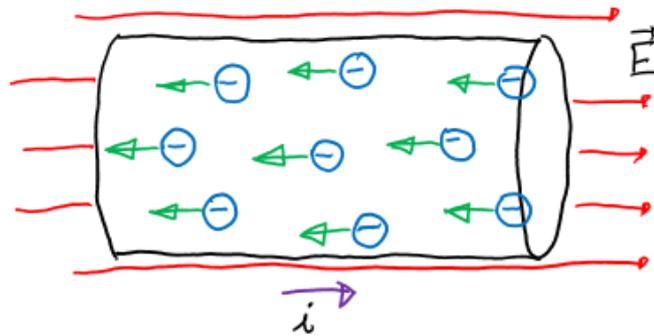


Figura 45 - Movimento das cargas negativas (elétrons) gerando corrente elétrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em um circuito fechado onde há somente um fio condutor, todas as cargas do fio estão no mesmo potencial elétrico, contudo ao colocar uma bateria no circuito, esta cria campos elétricos dentro do fio condutor, causando uma diferença de potencial (ddp), é essa ddp que faz com que os elétrons se movimentem de forma ordenada.

Apesar de ser uma grandeza escalar, quando falamos de corrente elétrica atribuímos um sentido indicado pelas setas desenhadas, apesar de serem somente os elétrons que se movem dentro do fio condutor o sentido adotado para a corrente elétrica é contrário ao sentido do movimento real dos elétrons.

O movimento dos elétrons dentro do fio condutor é acelerado, contudo os elétrons colidem constantemente com os átomos e íons do próprio fio, causando recuos e desacelerações em seu movimento, de forma que vista de uma forma geral o movimento líquido é constante, criando assim uma corrente elétrica contínua e constante.

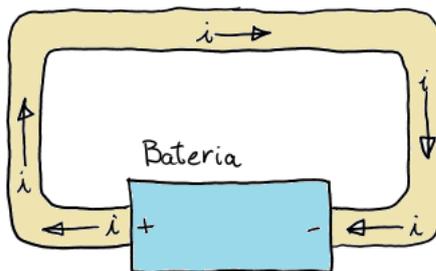


Figura 46 - corrente em um circuito elétrico fechado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com este experimento os alunos compreenderão o conceito de corrente elétrica e a sua importância para o dia-a-dia, presente nas nossas casas permitindo o uso dos eletrodomésticos. Com o circuito fechado, ocorre uma reação de oxirredução entre a cobertura de zinco dos parafusos e o cobre, essa reação cria uma diferença de potencial, fazendo que o zinco libere elétrons gerando uma corrente elétrica que passam pela lâmpada LED, fazendo-a acender. Ocorre então transformação de energia química e energia elétrica. A água com sal serve como condutor para a corrente, devido aos íons gerados pela decomposição do sal na água (Fogaça, 2014).

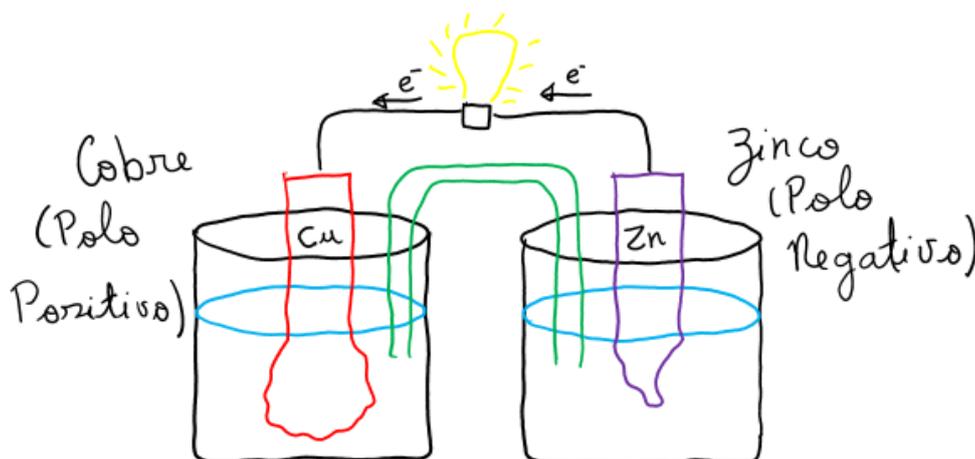


Figura 47 - Processo de Oxirredução entre o zinco e o cobre.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) forma de gelo;
- b) parafusos galvanizados;

- c) fios de cobre;
- d) água;
- e) sal;
- f) lâmpada LED.

Passo a passo:

Primeiramente desencape os fios de cobre e corte-os em pedaços medindo o dobro do comprimento do parafuso. enrole os fios de cobre em uma das pontas de cada parafuso, formando um “V”. Coloque uma colher pequena de sal em cada nicho da forma de gelo e complete com água, tomando cuidado para não vazar água entre os nichos. Coloque os conjuntos formados pelos parafusos e fios de cobre na forma de gelos, de modo que as extremidades de cada conjunto fiquem em nichos diferentes, mas que cada nicho tenha uma extremidade de cobre e outra do parafuso, e sem deixar as extremidades se encostarem e sem fechar o circuito. Feche o circuito com a lâmpada LED.

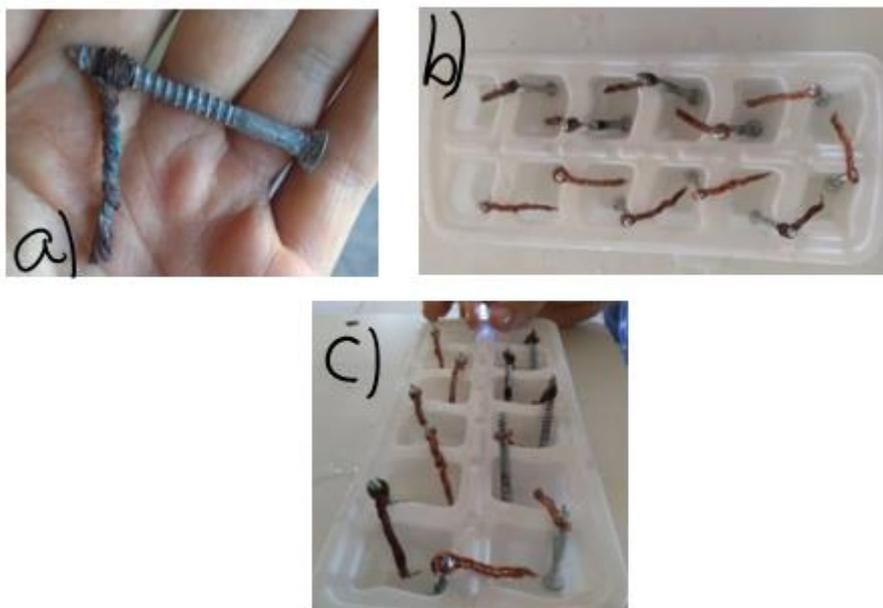


Figura 48 - Experimento Bateria Caseira.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 48. (a) Conjunto de fio de cobre e parafuso galvanizado em forma de “V”. (b) Vários conjuntos em “V” na forma de gelo com água e sal formando um circuito aberto. (c) Circuito fechado com uma lâmpada LED.

4.2.8 LÂMPADA DE GRAFITE

Resistência elétrica, como o próprio nome sugere, é a dificuldade de elétrons atravessarem um circuito elétrico, ou seja, é a dificuldade de passar corrente elétrica em um circuito. A resistência entre dois pontos pode ser calculada pela equação 76:

$$R = \frac{V}{i}, \quad (76)$$

onde R é o valor da resistência, V é o valor da diferença de potencial e i é o valor da intensidade da corrente elétrica. Como pode ser visto na equação 76, quanto maior a Resistência, menor é a corrente elétrica. Essa relação é conhecida como lei de Ohm.

Todo condutor possui resistência, mas, em um circuito, aquele que tem como função em especial são chamados de resistores. A resistência que um resistor oferece depende do seu material e de suas dimensões. Para certos intervalos de temperaturas podemos considerar a resistividade do material constante, assim podemos utilizar a equação 77 para calcular a resistência de um resistor:

$$R = \rho \frac{L}{A}, \quad (77)$$

onde ρ é a resistividade do material, L é o comprimento do resistor e A é a área da seção transversal do resistor.

Tabela 1 - Valores da resistividade em temperatura ambiente (20°C)

Material	ρ (Ωm)	Material	ρ (Ωm)
Prata	$1,47 \times 10^{-8}$	Âmbar	5×10^{14}
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$	Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
Ouro	$2,44 \times 10^{-8}$	Lucita	$> 10^{13}$
Alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$	Mica	$10^{11} - 10^{15}$
Tungstênio	$5,25 \times 10^{-8}$	Quartzo	75×10^{16}
Aço	20×10^{-8}	Enxofre	10^{15}
Chumbo	22×10^{-8}	Teflon ®	$> 10^{13}$
Mercúrio	95×10^{-8}	Madeira	$10^8 - 10^{11}$

Fonte: Sears & Zemansky Vol. 3, 14ª Edição.

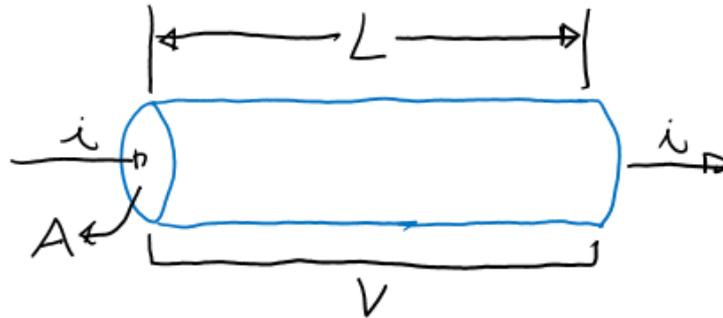


Figura 49 - Corrente atravessando m resistor cilíndrico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resistores funcionam para limitar a quantidade de corrente que passa em um circuito elétrico, evitando que ocorra um curto-circuito. Podemos perceber o efeito Joule ao contatar que eletrodomésticos ficam quente se permanecerem muito tempo ligados, o efeito Joule também é utilizado para esquentar a água de um chuveiro elétrico, por exemplo.

Neste experimento, ao colocarmos um grafite 0.5mm no circuito elétrico, este funcionará como um resistor elétrico, oferecendo resistência à corrente elétrica. Devido a essa resistência o grafite passa a esquentar e a ficar luminoso devido ao fenômeno da incandescência, como uma lâmpada de tungstênio, antigamente usadas nas residências. Após certo tempo o grafite irá queimar e partir, cessando a passagem de corrente e o efeito luminoso. O aumento da temperatura do grafite se dá devido ao efeito Joule, ou seja, parte da energia do circuito é transformada em energia térmica, o calor, e luz devido aos diversos choques que ocorrem entre os elétrons que formam a corrente elétrica e os átomos do grafite. A taxa em que essa energia é transformada em luz e calor é chamada de potência dissipada, e pode ser calculada pela equação 78:

$$P = i^2 R, \quad (78)$$

onde P é a potência dissipada pelo resistor na forma de luz e calor, i é a corrente que passa pelo resistor e R é a resistência do resistor.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) grafite 0.5mm;
- b) 8 pilhas tipo D;
- c) fita isolante;

d) fios de cobre com garra de jacaré.

Passo a passo:

Ligue as pilhas em série, conectando o polo positivo de uma pilha no polo negativo da outra, e enrole as pilhas com fita isolante nas ligações para deixar o conjunto firme. Conecte os fios de cobres nas pontas sobressalentes. Com muito cuidado, coloque o grafite nas garras de jacaré, fechando o circuito.

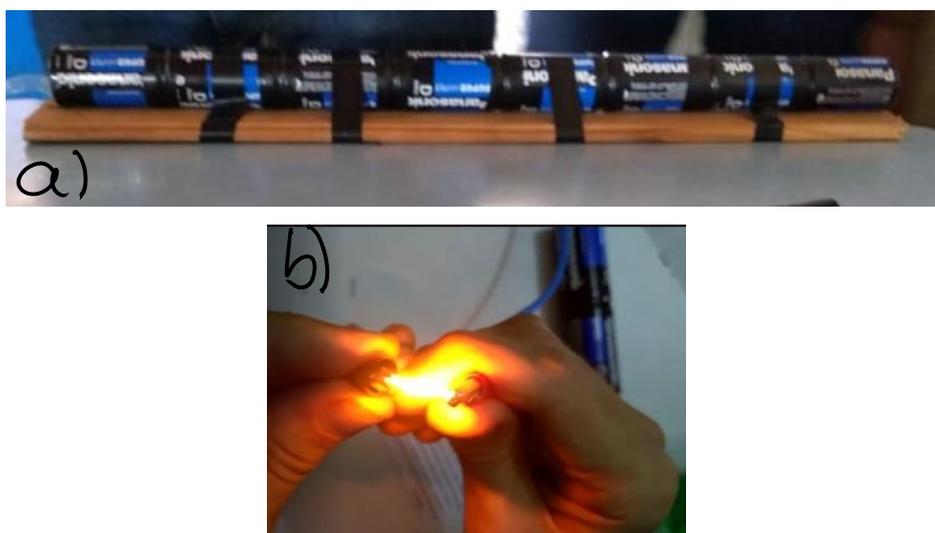


Figura 50 - Experimento Lâmpada de Grafite.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 50. (a) Pilhas tipo D associadas em série. (b) Grafite incandescente pela passagem de corrente elétrica.

4.2.9 FIO ATRAI FIO

Uma carga elétrica em movimento produz um campo magnético, assim uma corrente elétrica, que é sucessão de cargas elétricas em movimento, gera um campo magnético. O campo magnético produzido pela corrente em um fio longo e retilíneo é dado pela equação 79:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}, \quad (79)$$

onde B é o campo magnético, μ_0 é a permeabilidade do vácuo ($\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ H/m) e R é a distância do ponto ao fio.

As linhas de campo magnético formam um círculo em torno do fio e o vetor campo magnético é tangente a essas linhas de campo. Quando mais longe do fio, mais as linhas de campo ficam afastadas indicando a queda da intensidade do campo com o aumento da distância.

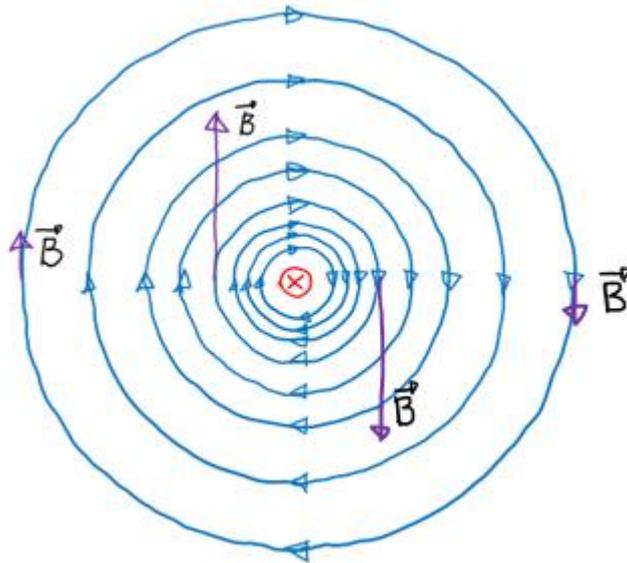


Figura 51 - Linhas de Campo Magnético de um Fio com uma corrente para dentro do papel.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando cargas elétricas estão em movimento na presença de um campo magnético, elas sofrem uma força magnética que faz com que elas mudem a direção do movimento. Como uma corrente elétrica é formada por uma sucessão de cargas elétricas, se colocarmos um fio por onde passa uma corrente elétrica em meio a um campo magnético, o fio sofrerá uma deflexão devido a uma força magnética que pode ser calculada pela equação 80:

$$F_B = iLB, \quad (80)$$

onde F_B é a força magnética, i é a intensidade da corrente elétrica, L é o comprimento do fio e B é o campo magnético.

Ao colocarmos dois fios paralelos, onde neles passam correntes elétricas de mesmo sentido, as cargas em movimento do fio a , a corrente elétrica, irá gerar um campo magnético, que por sua vez irá gerar uma força magnética no fio b . Juntando as equações 79 e 80, teremos uma equação para a força magnética entre os dois fios:

$$F_{ab} = \frac{\mu_0 L i_a i_b}{2\pi d}, \quad (81)$$

onde F_{ab} é a força magnética entre os fios, μ_0 é a permeabilidade do vácuo, i_a e i_b são, respectivamente as correntes elétricas do fio a e do fio b , e d é a distância entre os fios.

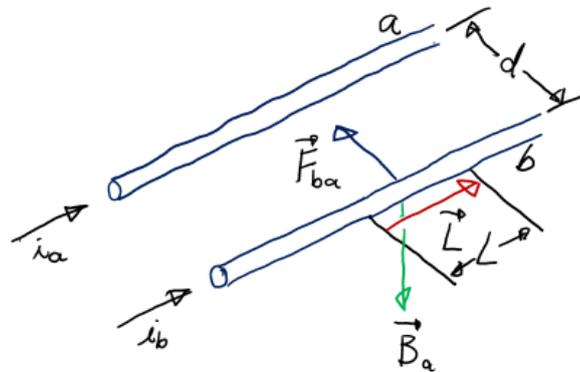


Figura 52 - Força Magnética entre duas correntes paralelas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Se as correntes tiverem sentidos opostos, os fios irão se repelir. Podemos verificar a natureza magnética da atração, com uma bússola. Assim é possível mostrar aos alunos a relação intrínseca entre eletricidade e magnetismo e como os campos elétricos e magnéticos afetam um ao outro.

Campos e forças magnéticas estão presentes em diversos lugares no cotidiano, o exemplo mais próximo são os motores elétricos presentes nos eletrodomésticos, já que a variação dos campos magnéticos gerados pelas bobinas presentes nesses motores faz com que o motor tenha um giro regular e contínuo. Outro exemplo é o aparelho de ressonância magnética, que utiliza os campos magnéticos gerados por ele para alinhar os núcleos dos átomos de hidrogênio presentes nas moléculas de água em nosso corpo para criar imagens e dar diagnósticos clínicos.

Materiais necessários para montar o experimento:

- a) fone de ouvido;
- b) suporte de madeira;
- c) fios elétricos;
- d) pregos;
- e) 8 pilhas tipo D;
- f) fita isolante.

Passo a passo:

Corte a extremidade do fone de ouvido de forma a ter dois pedaços de fios. Desencape as extremidades dos fios e enrole, deixando os fios paralelos entre si. Em um suporte de madeira, coloque dois pregos separados a uma distância um pouco menor que o comprimento dos fios e lacre as extremidades nos pregos com os fios do fone de ouvido. Conecte as pilhas tipo D em série, e enrole em fita isolante para fixar, e ligue as extremidades da associação às extremidades dos fios de fone com pedaços e fios de cobre, fechando o circuito.



Figura 53 - Experimento Fio atrai Fio.

Elaborado pelo autor.

Figura 53. Fios paralelos enrolados nos pregos, conectados à associação de pilhas em série.

4.2.10 MOTOR ELÉTRICO

Atualmente os motores elétricos estão presentes no nosso dia a dia. É graças a eles que vários eletrodomésticos, como ventiladores e liquidificadores, funcionam. O motor funciona devido ao torque magnético que atua sobre um condutor, transformando a energia elétrica em energia mecânica.

O motor é composto por uma parte móvel, chamada *rotor*, que é uma extensão de fio formada por uma espira que gira em torno de um eixo. As extremidades dos fios do rotor são ligadas em um *comutador*, formado por dois segmentos condutores. Cada segmento é ligado a um circuito elétrico externo por um terminal, chamado *escova*. Isso faz com que uma corrente entre por um lado do rotor e saia pelo outro, logo rotor possui

um momento magnético $\vec{\mu}$. O rotor é colocado nos polos opostos de um ímã que gera um campo magnético \vec{B} que exerce um torque $\vec{\tau}$, da forma:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}. \quad (82)$$

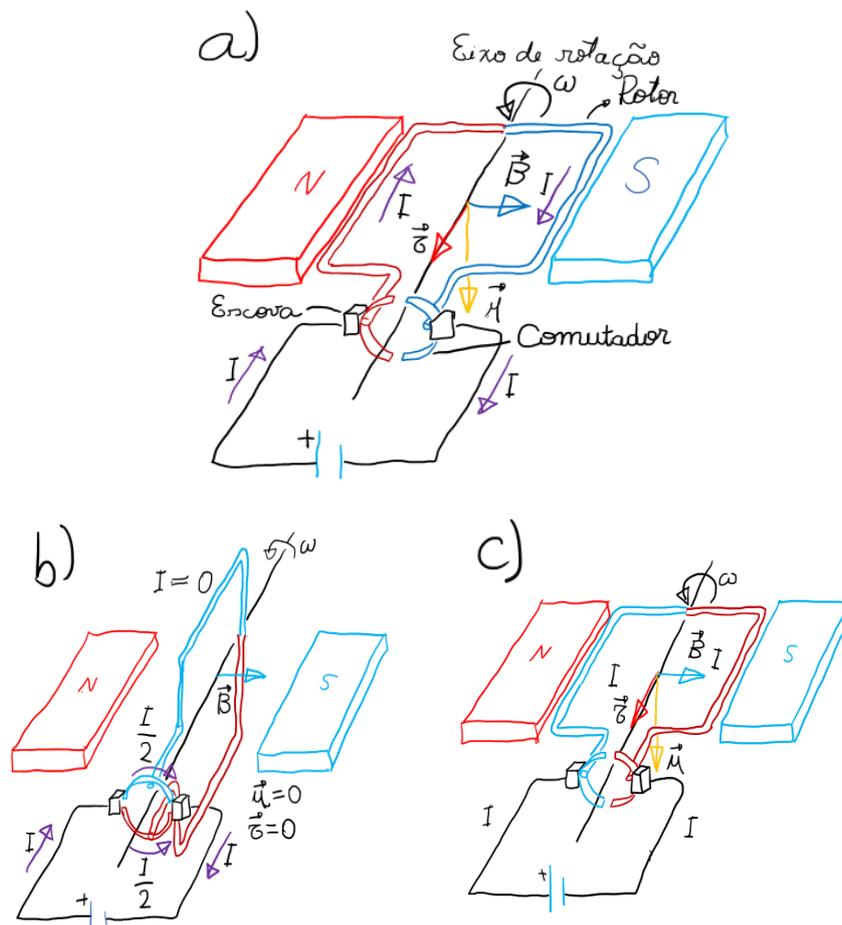


Figura 54 – Motor elétrico na (a) posição inicial, (b) após girar 90° e (c) após girar 180°.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Materiais necessários para montar o experimento:

- pilha tipo D;
- ímã;
- 2 alfinetes de segurança;
- 2 elásticos (opcional);
- bexiga de festa;

- f) fio de cobre com cobertura de verniz;
- g) tesoura.

Passo a passo:

Enrole o fio de cobre em volta da pilha, criando uma bobina, deixando um espaço de 5cm da ponta do fio, após 10 voltas (ou mais), corte o fio deixando novamente uma sobre de 5cm. Enrole as pontas soltas no próprio fio de cobre, de forma que as pontas fiquem em lados opostos da bobina (Figura 55b). Corte as pontas soltas, deixando 2cm de cada lado. Utilizando a tesoura, raspe a cobertura de verniz completamente em uma das pontas, e na outra ponta, raspe somente o lado de cima. Corte uma argola de bexiga com 2cm de largura e passe essa argola pela pilha, cobrindo os polos da pilha. Prenda a argola na pilha utilizando os elásticos. Prenda os alfinetes nos polos das pilhas e coloque o ímã na pilha. Encaixe as pontas da bobina nos buraquinhos dos alfinetes e dê um pequeno toque para o motor começar a funcionar. Ao ligar a bobina na pilha, essa gera um campo magnético induzido e passar a funcionar como um ímã, sendo atraída pelo ímã abaixo, começando a girar. Ao girar, a bobina perde contato com a pilha, através dos alfinetes, devido a capa de verniz que não foi completamente raspada em um dos lados, fazendo com que ela perca seu campo magnético, logo não sendo mais atraída pelo ímã, mas pela inércia seu giro continua, reconectando a bobina novamente ao entrar em contato com a parte do fio sem a capa de verniz, religando seu campo magnético. Esse ciclo se repete, fazendo com que a bobina permaneça girando como um pequeno motor.

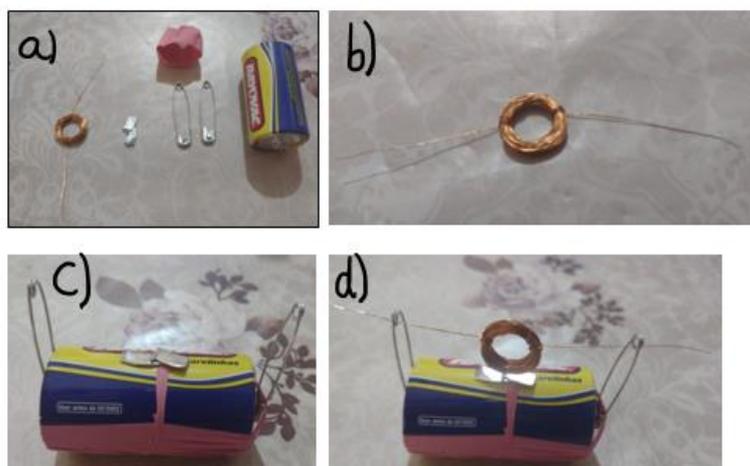


Figura 55 – Experimento Motor Elétrico.

Elaborad pelo autor.

Figura 55. (a) Materiais. (b) Bobina de cobre. (c) Suporte so motor. (d) Motor elétrico montado.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional foi aplicado em duas turmas do 9º Ano do Ensino Fundamental, Manhã e Tarde, do Colégio Dr. Bezerra de Menezes. A primeira com 21 alunos e a última com 19 alunos. Foram escolhidos dois dos experimentos abordados no Manual, “Bateria Caseira” e “Lâmpada de Grafite”, cada experimento realizado em uma aula de 50 minutos para cada turma. Esses experimentos foram escolhidos devido ao conteúdo de Eletricidade que seria ministrado nas próximas aulas, podendo assim, facilitar a compreensão dos alunos nas aulas seguintes, outros motivos que levaram a escolha desses experimentos foram a facilidade de montagem em sala de aula, o efeito atrativo aos alunos, e a fácil associação aos circuitos elétricos existentes em suas casas, aproximando a física ao seu cotidiano.

5.1 Experimento 1 – Bateria Caseira

Utilizando o método P.O.E., inicialmente os alunos foram divididos em três grupos e apresentados ao experimento, foram mostrados os materiais e dito como o experimento seria realizado, porém sem a realização de fato do experimento. Nesse primeiro momento, os alunos, debatendo em grupos e fazendo anotações, tentaram fazer previsões do resultado do experimento. Após todos os grupos terminarem suas previsões, um aluno de cada grupo expôs a previsão do grupo para o restante da turma.

No segundo momento houve a observação do experimento pelos alunos, onde eles puderam também interagir com o experimento e tentar outras possibilidades na realização do mesmo, como tentar utilizar somente água da torneira sem sal, ou trocar as posições dos conjuntos de prego/fio de cobre e conferir os resultados com suas previsões.

As principais previsões feitas pelos alunos foram:

- *“A lâmpada não vai acender, pois não tem energia elétrica no sistema.”*
- *“A lâmpada vai acender, mas não sabemos explicar o motivo.”*
- *“A lâmpada vai acender, pois água conduz eletricidade.”*



Figura 56 – Bateria Caseira (Circuito Aberto).

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 56 têm-se um circuito aberto, logo não haverá corrente e a lâmpada LED não acenderá.



Figura 57 – Bateria Caseira (Circuito Fechado).

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 57 têm-se um circuito fechado, onde passa corrente elétrica, acendendo a lâmpada LED.

No terceiro momento, os alunos voltaram aos seus grupos e novamente realizando debates e anotações tentaram explicar seus erros e acertos, utilizando os conhecimentos adquiridos no seu cotidiano.

As principais explicações feitas pelos alunos foram:

- *“Os conjuntos de parafuso/fio de cobre funcionam como pilhas, e mudarmos a posição de um conjunto a lâmpada não acende, da mesma forma como ocorre se mudarmos a posição de uma pilha.”*
- *“Se usar a água da torneira, sem sal, a lâmpada não acende, pois a água com sal tem propriedades diferentes da água sem sal.”*

Nesse experimento os alunos puderam ver em prática o conceito de corrente elétrica, como também o professor pode usar interdisciplinaridade ao falar da reação de oxirredução que ocorre durante o experimento.

5.2 Experimento 2 – Lâmpada de Grafite

Novamente utilizando o método P.O.E., os alunos foram divididos em três grupos e apresentados ao experimento, sem a realização do mesmo. Em grupo, os alunos fizeram suas previsões, observações e explicações desse segundo experimento.

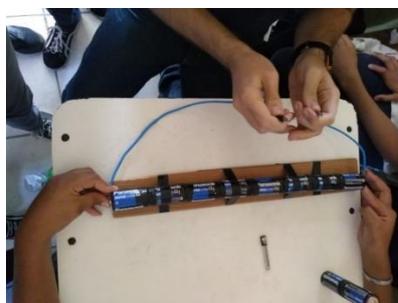


Figura 58 – Lâmpada de Grafite (Montagem).

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 58 têm-se a preparação do experimento, conectando os fios de cobre nas extremidades das pilhas.



Figura 59 – Lâmpada de Grafite (Montagem).

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 59 têm-se uma aluna conectando uma peça de grafite ao circuito pelas garras de jacaré ligadas aos fios.



Figura 60 – Lâmpada de Grafite (Grafite incandescente).

Fonte: elaborado pelo autor

Na figura 60 têm-se o grafite incandescente devido ao efeito Joule causado pela passagem de corrente elétrica.

Esse experimento foi mais simples, não permitindo tantas alterações possíveis, assim as previsões e explicações feitas pelos alunos foram parecidas. As previsões feitas pelos alunos podem ser resumidas em:

- “O grafite vai ‘acender’, mas não sabemos o motivo.”

Da mesma forma as explicações podem ser resumidas em:

- “A energia das pilhas esquentou o grafite, fazendo ele ‘acender’.”

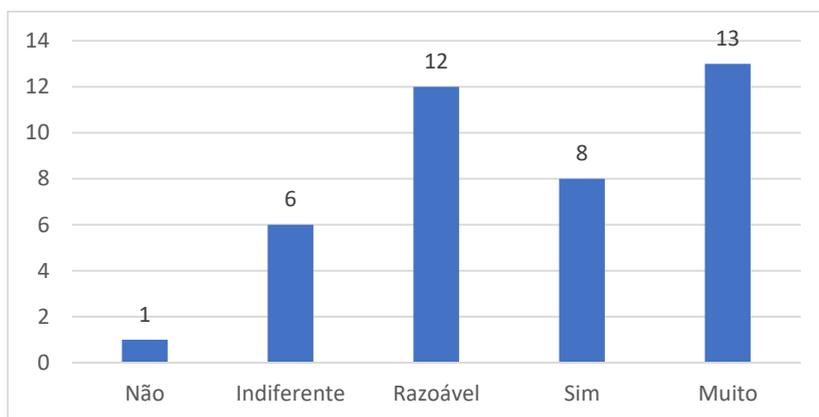
Nesse experimento os alunos puderam ver os conceitos de resistência, efeito Joule e potência dissipada.

Após a realização e a explicação dos experimentos foi aplicado um questionário (segue em anexo) de quatro questões, sobre as aulas de Ciências, cada questão possuía cinco opções: “Não”; “Indiferente”; “Razoável”; “Sim” e “Muito”. Os resultados foram analisados estatisticamente através de gráficos de barra. As perguntas foram pensadas para avaliar o interesse dos alunos nas aulas de Ciências com experimentos e sem experimentos, e se os experimentos realmente ajudam os alunos a compreenderem melhor os fenômenos estudados em sala e os observados no dia-a-dia.

6 RESULTADOS

A seguir têm-se os gráficos que mostram como foram distribuídas as respostas dos alunos às perguntas feitas no questionário, apresentadas no Anexo

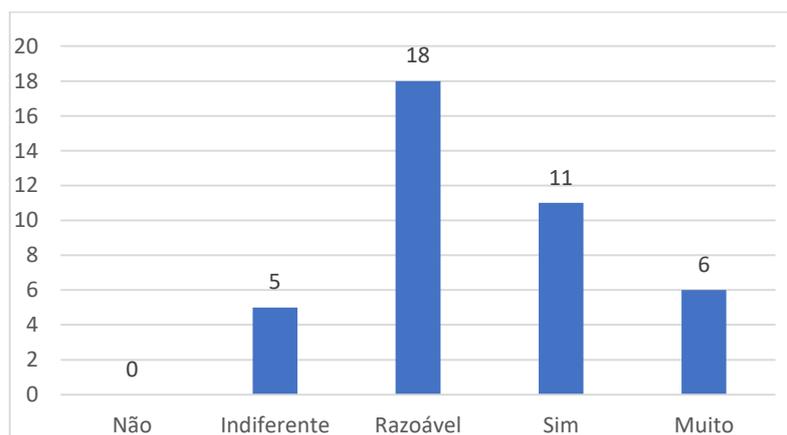
Gráfico 1 – Você gosta das aulas de Ciências?



Fonte: elaborado pelo autor.

No Gráfico 1 tem-se as respostas referentes à pergunta 1 do questionário, que tem como objetivo mostrar que os alunos são curiosos e tem pré-disposição para aprender, como diz Carl Rogers.

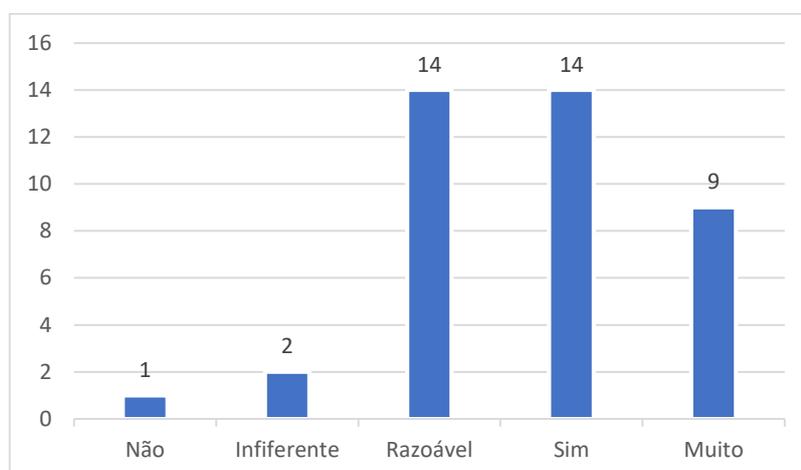
Gráfico 2 – Você consegue perceber os conceitos de estudados no seu dia a dia?



Fonte: elaborado pelo autor.

No Gráfico 2 pode-se concluir que poucos alunos conseguem, de forma concreta, perceber os fenômenos estudados na disciplina em seu cotidiano, isso mostra que há uma falha na aprendizagem real do aluno, ou seja, há uma falha em conectar a nova aprendizagem a algo que o aluno conhece, o conceito subsunçor de Ausubel.

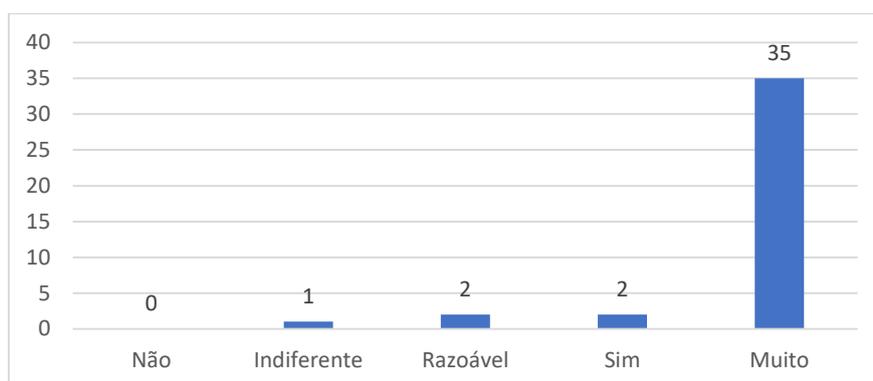
Gráfico 3 – Após a observação dos experimentos, você teve uma melhor compreensão do conteúdo?



Fonte: elaborado pelo autor.

No Gráfico 3 pode-se perceber que após uma breve demonstração dos experimentos, houve uma melhoria na compreensão dos alunos quanto aos temas dos experimentos demonstrados. Ocorre a interação entre o sujeito e o objeto que proporciona a aprendizagem, como explica Piaget. Aqui também é possível perceber que além do experimento é necessário também a atuação do professor, na montagem e explicação, tirando as dúvidas dos alunos.

Gráfico 4 – Você gostaria de mais Atividades Experimentais nas aulas, ou de um laboratório de Ciências?



Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, no Gráfico 4 pode-se perceber que a grande maioria dos alunos gostaria de um laboratório e aulas experimentais, para quebrar a rotina de aulas conteudistas, e

fazendo-os participarem do processo de aprendizagem. Os alunos são curiosos e querem aprender coisas novas, mas precisam ser instigados de forma correta.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já foi comentado, a metodologia utilizada por grande parte das escolas no ensino de Física é bastante focada nas fórmulas e equações, reprimindo a curiosidade que o aluno possui em aprender coisas novas. É necessário instigar o aluno a buscar o conhecimento, a partir de novas metodologias que permitam que o estudante tenha uma participação maior, dando mais responsabilidade à sua própria aprendizagem.

Pode-se perceber, analisando os gráficos do capítulo Resultados, que os alunos são atraídos por algo mais concreto, que possam tocar e experimentar, permitindo uma maior compreensão do que apenas uma ideia abstrata.

A utilização dos experimentos com o método P.O.E. teve o efeito desejado de permitir que o aluno construa o próprio conhecimento ao prever e explicar por conta própria os fenômenos demonstrados pelos experimentos. Apesar de ser mostrado apenas com dois experimentos, o método P.O.E pode ser utilizado em conjunto com os demais experimentos abordados nesse trabalho, como também com outros experimentos que o professor possa querer utilizar em sala e outros diversos recursos que o professor pode escolher.

É necessário que o professor entenda a necessidade de sempre estar inovando e trazendo novas metodologias para seus alunos, de forma que nem professor e alunos fiquem acomodados e indiferentes ao processo de ensino-aprendizagem. O uso de um laboratório de baixo custo, junto com uma estratégia didática adequada, pode suprir essa necessidade de uma abordagem mais concreta, sendo acessível a alunos e escolas que não possuam recursos para um laboratório mais sofisticado.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABI, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 25, n. 2, p.176-194, jun. 2003. Disponível em:
https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1184188393171_95545275_8927/Atividades%20Experimentais.pdf. Acesso em: 09 set. 2019.
- BALEN, O.; NETZ, P.A. Aplicação da modelagem e simulação no ensino de modelos de sistemas gasosos. Acta Scientiae, v. 7, n.2, pp. 29-39, 2005.
- BARBOSA, J.O; PAULO, S.R; RINALDI, C. Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no Ensino Médio. Cad. Cat. Ens.Fís., v. 16, n. 1: p. 105-122, abr. 1999.
- BORGES, A. Tarciso. NOVOS RUMOS PARA O LABORATÓRIO ESCOLAR DE CIÊNCIAS. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p.291-313, nov. 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros curriculares nacionais: matemática. Brasília: MEC, 1997.
- BRITO, Daniel Azevedo de. Aplicando as tecnologias digitais no ensino de ciências e matemática. Rio de Janeiro: Cbje, 2009. 114 p.
- Fidelis, P. N.; Bomfim, M. M.; Buffon, L. O.; Andrade, M. E. de; "Uma aplicação do Método POE: utilizando Simulações para o Estudo de Densidade e Empuxo no Ensino Médio", p. 11-14 . In: Anais do X Encontro Científico de Física Aplicada. São Paulo: Blucher, 2019. ISSN 2358-2359, DOI 10.5151/ecfa2019-04
- FOGAÇA, Jennifer R.V. REDE OMNIA, Manual da Química, 2014. Disponível em:
<https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/pilha-daniell.htm>. Acesso em: 11 de jul. de 2020
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Fundamentos de Física, Vol. 2. 10ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Fundamentos de Física, Vol. 3. 10ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. Fundamentos de Física, Vol. 4. 10ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- JUBILUI, Paulo. Blog Biologia Total, 2019. Disponível em
<https://blog.biologiatotal.com.br/processos-de-eletrizacao/>. Acesso em: 11 de jul, de 2020.
- LABURÚ, C.; BARROS, M.; KANBACH, B. A relação com o saber profissional do

professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.12, n.3, p.305-320, 2007.

LOPES, N. (2009). 1 Vídeo (4 min). *Experiência Fio Atrai Fio - Colégio Adventista de Sorocaba*. Fonte: Publicado pelo canal Nathalia Lopes:
<https://www.youtube.com/watch?v=jQJV6lhtuno>

MESQUITA, T. M. O. O efeito fotoelétrico em uma abordagem investigativa com uso de simulação computacional pelo método POE. 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias da Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. *Curso de Física Básica Vol.2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor*. 4. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2002.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. *Curso de Física Básica Vol. 3: Eletromagnetismo*. 1. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1997

PAULO NETO, J. Guimarães; PARENTE, Nóriá Nabuco. *UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS NAS AULAS DE FÍSICA DO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ANÁLISE DE SUAS CONTRIBUIÇÕES E PREFERÊNCIAS DISCENTES*. Recife: Editora Realize, 2018. Disponível em:
https://editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV117_MD1_SA16_ID9426_06092018102715.pdf. Acesso em: 18 out. 2019.

PARENTE, W.; DUTRA, G. (26 de mar de 2017). 1 Vídeo (4min). *Experimento das seringas - Princípio de Pascal*. Fonte: Publicado pelo canal Física PIBID:
<https://www.youtube.com/watch?v=wDRa1v7x7bs>

RODRIGUES, Pricila Acacio. *O USO DO MULTIPLANO COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O ENSINO DOS CONCEITOS DE PERÍMETRO, ÁREA E VOLUME PARA ALUNOS DEFICIENTES VISUAIS*. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Matemática, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

SCHWAHN, M. C. A. ; SILVA, J. ; MARTINS, T. L. C. A abordagem POE (Predizer, Observar e Explicar): uma estratégia didática na formação inicial de professores de Química. In: VI ENPEC- Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. *Atas do VI ENPEC- Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2007.

THENÓRIO, I. (17 de nov de 2015). 1 Vídeo (12 min). *Beba um arco-íris - EXPERIMENTOS de FÍSICA*. Fonte: Publicado pelo canal Manual do Mundo:
<https://www.youtube.com/watch?v=4bJaerF-TRg&t=524s>

THENÓRIO, I. (28 de out de 2014). 1 Vídeo (4:32 min). *A bateria mais simples do mundo: bateria de forminha de gelo*. Fonte: Publicado pelo canal Manual do Mundo.:
https://www.youtube.com/watch?v=19YS4KuiK_w&feature=emb_title

THENÓRIO, I. (11 de fev de 2014). 1 Vídeo (5 min). A terrível gaiola de CELULAR (EXPERIÊNCIA de FÍSICA). Fonte: Publicado pelo canal Manual do Mundo: <https://www.youtube.com/watch?v=CKk0yDRrpDA>

THENÓRIO, I. (22 de out de 2013). 1 Vídeo (5 min). Como fazer uma LÂMPADA CASEIRA (EXPERIÊNCIA de elétrica). Fonte: Publicado pelo canal Manual do Mundo: https://www.youtube.com/watch?v=n4qbPLCiZCc&feature=emb_title

THENÓRIO, I. (7 de mai de 2013). 1 Vídeo (7 min). Como fazer um PROJETOR DE CELULAR caseiro passo a passo. Fonte: Publicado pelo canal Manual do Mundo: <https://www.youtube.com/watch?v=eVhLQBPZqUI>

THENÓRIO, I. (23 de out de 2012). 1 Vídeo (7 min). Pêndulo fantasma elétrico (EXPERIÊNCIA de FÍSICA). Fonte: Publicado pelo canal Manual do Mundo: <https://www.youtube.com/watch?v=LyUJVJYxOEs>

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger. Física III: Eletromagnetismo. 14ª Edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015

1 Vídeo (11 min). Fonte de Água Desafiando a Gravidade? - Water Fountain Challenging Gravity? (16 de jul de 2017). Fonte: Publicado pelo canal Com Ciência Tranquila: <https://www.youtube.com/watch?v=1KTks9dSSug>

APÊNDICE

1. Você gosta das aulas de Ciências?

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

2. Você consegue perceber os conceitos estudados no seu dia a dia?

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

3. Após a observação dos experimentos, você teve uma melhor compreensão do conteúdo?

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

4. Você gostaria de mais Atividades Experimentais nas aulas, ou de um laboratório de Ciências?

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

Legenda

1 - Não

2 - Indiferente

3 - Razoável

4- Sim

5 - Muito