



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

PEDRO RODRIGO DE SOUSA SANTOS

**O USO DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO COMO INSTRUMENTO PARA O
ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO BÁSICO.**

FORTALEZA - CE

2022

PEDRO RODRIGO DE SOUSA SANTOS

O USO DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO COMO INSTRUMENTO PARA O
ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO BÁSICO.

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

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias

FORTALEZA - CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

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

S237u Santos, Pedro Rodrigo de Sousa.

O uso de experimentos de baixo custo como instrumento para o ensino de Física no ensino básico. / Pedro Rodrigo de Sousa Santos. – 2022.

101 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Física, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

1. Física Experimental. 2. Experimentos de baixo custo. 3. Ensino de Física. I. Título.

CDD 530

PEDRO RODRIGO DE SOUSA SANTOS

O USO DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO COMO INSTRUMENTO PARA O
ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO BÁSICO.

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

Aprovada em: 27/10/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Eduardo de Sousa Filho
Universidade Regional do Cariri (URCA)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me agraciado com inteligência e saúde, sem isso eu não poderia conquistar nada.

À minha mãe Terezinha por sua dedicação à família, e todo o apoio que me deu durante toda minha vida. Aos meus irmãos Wellington, Samuel e Ester, por terem sido meus primeiros exemplos.

À Roberta Cauanne que chegou na minha vida a tão pouco tempo e já me deu apoio e inspiração para continuar melhorando como ser humano.

Aos meus bons amigos Hermilano, Junior, Georgianne, Luiza, Wellen, Elany pela motivação e fé no meu potencial, às vezes, esquecido por mim.

Ao meu orientador Prof. Nildo Loiola pelo apoio, e principalmente, por não desistir de mim. Como todo bom professor dando suporte e apoio ao seu aluno.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do polo da UFC, que aceitaram esta tarefa de dar continuidade a formação de professores de Física, por pura bondade.

Aos amigos que fiz no MNPEF, em especial, ao Lucas Silveira pela companhia nos estudos desde a graduação até esta dissertação.

À direção e aos alunos do Colégio Cássia Ramos onde apliquei dois dos experimentos abordados neste trabalho.

Aos professores do colégio Romeu de Castro, em especial, à Dryelen Hermínio por me emprestar um livro importante, ao Robson Slater por ajudar com alguns experimentos e ao Francisco José pelo incentivo na finalização do trabalho.

Por fim, à Sociedade Brasileira de Física (SBF), instituição proponente deste curso de mestrado profissional, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES 001), pelo apoio financeiro que permite a existência do MNPEF.

RESUMO

Esta dissertação tem por finalidade investigar a eficácia do uso de experimentos de baixo custo para o ensino de Física no ensino básico. A física, de modo geral, não é popular entre os alunos. Muitos alunos têm dificuldades em entender as teorias e principalmente em compreender os cálculos. Como alternativa ao ensino tradicional de Física este trabalho propõe o uso da metodologia da física experimental, a partir de um roteiro de experimentos de baixo custo. Para corroborar com o uso desta metodologia, nos apoiamos na teoria do construtivismo de Jean Piaget, que defende uma abordagem mais concreta (como o uso de experimentos para demonstrar fenômenos físicos), e na teoria do socioconstrutivismo de Lev Vygotsky, que defende que o conhecimento se dá a partir da interação social (como a interação entre alunos que trabalham juntos em uma prática). O uso de experimentos de baixo custo é também uma solução para o problema da falta de um laboratório didático na escola. Para este trabalho foram selecionados experimentos de baixo custo e rápida montagem, que foram montados e aplicados na escola. Além disso, foi mostrado, através de um questionário, o interesse do aluno em aulas com esta abordagem.

Palavras-chaves: física experimental; experimentos de baixo custo; ensino de física.

ABSTRACT

This dissertation aims to teach research for low-cost use in basic education. Physics in general is not popular with students. Most of the students have difficulties in understanding theories, specially calculation. As an alternative to the traditional physics scheme, this work uses the methodology of experimental physics, based on a script of low-cost experiments. To corroborate this methodology, we rely on Jean Piaget's theory of constructivism, which defends a more concrete approach (such as the use of experiments to demonstrate physical phenomena), and on Lev Vygotsky's theory of socioconstructivism, which defends that knowledge is given to from social interaction (such as the interaction between students working together in a practice). The use of low-cost experiments is also a solution to the problem of the lack of a teaching laboratory in the school. For this work, were selecter low-cost and fast-assembly experiments which were set up and applied in the school. In addition, it was proved, through a questionnaire, that students were more interested in classes with this approach.

Key-words: experimental physics; experiments of low-cost; physics teaching.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | – Experimento com o disco..... | 25 |
| Figura 2 | – O módulo da aceleração \vec{a} de um corpo é diretamente proporcional ao módulo da força resultante $\sum \vec{F}$ que atua sobre o corpo de massa m | 26 |
| Figura 3 | – Colisão entre dois discos com velocidades opostas..... | 28 |
| Figura 4 | – Colisão com um disco em repouso..... | 29 |
| Figura 5 | – Colisão com agregação..... | 29 |
| Figura 6 | – Terceira lei de Newton do movimento..... | 30 |
| Figura 7 | – Trabalho realizado por uma força constante que atua na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento..... | 32 |
| Figura 8 | – Trabalho realizado por uma força constante que forma um ângulo em relação ao deslocamento..... | 33 |
| Figura 9 | – A relação entre o trabalho total realizado sobre o corpo e a variação da velocidade escalar do corpo..... | 34 |
| Figura 10 | – Uma força resultante constante \vec{F} realiza um trabalho sobre o corpo em movimento..... | 34 |
| Figura 11 | – Cálculo do trabalho realizado por uma força variável F_x na direção de x , enquanto um corpo se move de x_1 para x_2 | 36 |
| Figura 12 | – A força necessária para esticar uma mola é diretamente proporcional ao seu alongamento: $F_x = kx$ | 36 |
| Figura 13 | – Cálculo do trabalho realizado para esticar uma mola em um alongamento X | 37 |
| Figura 14 | – Quando um corpo se move de uma altura inicial y_1 a uma altura final y_2 , a força gravitacional realiza um trabalho e a energia potencial gravitacional sofre variação..... | 38 |
| Figura 15 | – Cálculo do trabalho realizado por uma mola amarrada a um bloco sobre uma superfície horizontal..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 16 – Gráfico da energia potencial elástica em função do alongamento ou compressão x | 41 |
| Figura 17 – Sentido convencional da corrente elétrica..... | 42 |
| Figura 18 – A corrente I através da área com seção reta A é a taxa de variação com o tempo da carga transferida através de A | 43 |
| Figura 19 – Um condutor com seção reta uniforme..... | 45 |
| Figura 20 – Atração e repulsão dos polos de ímãs..... | 46 |
| Figura 21 – Linhas de campo magnético de um ímã permanente..... | 47 |
| Figura 22 – Campo magnético produzido por uma carga em movimento..... | 48 |
| Figura 23 – Campo magnético gerado por um fio retilíneo de comprimento $2a$, que conduz uma corrente..... | 49 |
| Figura 24 – Campo magnético produzido por uma espira de raio a num ponto P | 50 |
| Figura 25 – Exemplos de pares de forças de ação e reação..... | 56 |
| Figura 26 – Materiais usados no experimento “Carrinho movido a bexiga”..... | 57 |
| Figura 27 – Passo 1, criar o “Motor”..... | 57 |
| Figura 28 – Passo 2, construção dos eixos..... | 58 |
| Figura 29 – Passo 3, fixar os eixos no corpo do carrinho..... | 58 |
| Figura 30 – Passo 4, fixar o “Motor” no carrinho..... | 59 |
| Figura 31 – Carrinho movido a bexiga..... | 59 |
| Figura 32 – Materiais usados no experimento “Lata obediente”..... | 61 |
| Figura 33 – Lata obediente..... | 61 |
| Figura 34 – Materiais usados no experimento “Lâmpada de grafite”..... | 63 |
| Figura 35 – Lâmpada de grafite..... | 64 |
| Figura 36 – Exemplo de um eletroímã..... | 65 |
| Figura 37 – Materiais usados no experimento “Eletroímã”..... | 66 |
| Figura 38 – Eletroímã..... | 67 |

| | |
|--|----|
| Figura 39 – Experimento: Carrinho movido a bexiga..... | 69 |
| Figura 40 – Experimento: Eletroímã..... | 70 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---------------------------------------|----|
| Gráfico 1 – Resultados questão 1..... | 73 |
| Gráfico 2 – Resultados questão 2..... | 73 |
| Gráfico 3 – Resultados questão 3..... | 74 |
| Gráfico 4 – Resultados questão 4..... | 74 |
| Gráfico 5 – Resultados questão 5..... | 75 |
| Gráfico 6 – Resultados questão 6..... | 76 |
| Gráfico 7 – Resultados questão 7..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Lista dos Experimentos abordados neste capítulo..... | 55 |
| Tabela 2 – Valores da resistividade em temperatura ambiente (20°C)..... | 62 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| MNPEF | Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física |
| Pibid | Programa Institucional de bolsas de iniciação à docência. |
| PCN | Parâmetros curriculares nacionais. |
| POE | Predizer, observar e explicar. |
| SBF | Sociedade Brasileira de Física |
| UFC | Universidade Federal do Ceará |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 15 |
| 2.1 | Piaget - Construtivismo..... | 15 |
| 2.2 | Vygotsky - Sócio-construtivismo..... | 19 |
| 2.3 | Abordagem Experimental..... | 22 |
| 3 | CONCEITOS FÍSICOS..... | 24 |
| 3.1 | Mecânica..... | 24 |
| 3.1.1 | <i>Leis de Newton</i> | 24 |
| 3.1.2 | <i>Conservação da energia mecânica</i> | 31 |
| 3.2 | Eletromagnetismo..... | 42 |
| 3.2.1 | <i>Leis de Ohm</i> | 42 |
| 3.2.2 | <i>Lei de Biot-Savart</i> | 46 |
| 4 | ATIVIDADES EXPERIMENTAIS..... | 52 |
| 4.1 | Estratégia didática: a abordagem POE..... | 53 |
| 4.2 | Experimentos..... | 55 |
| 4.2.1 | <i>Carrinho movido a bexiga</i> | 56 |
| 4.2.2 | <i>Lata obediente</i> | 60 |
| 4.2.3 | <i>Lâmpada de grafite</i> | 62 |
| 4.2.4 | <i>Eletroímã</i> | 65 |
| 5 | APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL..... | 68 |
| 5.1 | Experimento 1 – Carrinho Movido a Bexiga..... | 68 |
| 5.2 | Experimento 2 – Eletroímã..... | 70 |
| 6 | RESULTADOS..... | 72 |
| 6.1 | Receptividade..... | 72 |
| 6.2 | Resultados de aprendizagem..... | 77 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 80 |
| | REFERÊNCIAS..... | 81 |
| | APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO..... | 83 |
| | APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL..... | 84 |

1 INTRODUÇÃO

Na minha graduação nos anos de 2014 e 2015, fiz parte do Programa Institucional de bolsas de iniciação à docência (Pibid). Essa experiência trouxe meu primeiro contato com o ensino básico, em especial com o ensino médio, onde pude vivenciar a rotina da escola e dos alunos. Ainda nessa época notei como o ensino de Física e de ciências de modo geral necessita de estratégias e abordagens que busquem trazer o aluno para perto desse conhecimento de maneira significativa.

Neste período em que estava no “Pibid” me chamou a atenção um projeto chamado “Física itinerante” onde nós bolsistas fabricamos experimentos de baixo custo e de fácil manuseio, já com estes em mãos levamos para a escola onde seriam usados para despertar o interesse dos alunos e explicar conceitos da Física de maneira simples e lúdica.

O ensino de Física no ensino básico enfrenta alguns obstáculos como a falta de interesse dos alunos, a falta de estrutura ou equipamentos das escolas, a falta de conhecimento matemático dos alunos para compreender algumas leis que o professor apresenta de maneira tradicional. O uso de experimentos de baixo custo pode ser uma solução para esses obstáculos citados, pois a demonstração de conceitos através dos experimentos poderá gerar o interesse do aluno, por ser de baixo custo será uma saída para escolas que não tem um laboratório de Física e por fim mesmo os alunos que não tem uma boa base matemática poderão compreender os fenômenos a partir da prática experimental.

Este trabalho tem como objetivo geral sugerir uma lista de experimentos de baixo custo que poderão ser usados em escolas que não dispõem de um laboratório e um roteiro contendo as etapas da confecção e da aplicação desses experimentos, servindo de suporte para professores que desejarem usar experimentos como ferramenta de ensino. Os objetivos específicos são: confeccionar experimentos de baixo custo; criar roteiros de aplicação destes; aplicá-los no ensino básico e analisar os resultados e impactos nos alunos, a partir de questionários qualitativos.

Esta dissertação não tem a intenção de ser um estudo rígido e quantitativo de índices e notas do ensino básico, e sim fazer um estudo qualitativo sobre os efeitos do uso de experimentos de baixo custo no ensino de Física/Ciências.

O trabalho foi dividido em quatro partes. A primeira parte foi selecionar os experimentos de baixo custo. A segunda parte foi a elaboração do roteiro de aplicação

dos experimentos. A terceira parte foi a aplicação dos experimentos na escola. A quarta e última etapa foi a análise das respostas dos questionários aplicados com o público alvo, com o intuito de saber sobre os efeitos do uso dos experimentos de baixo custo na visão dos discentes.

O presente trabalho conta com seis capítulos, além da Introdução. O primeiro traz a fundamentação teórica, que conta com teorias da aprendizagem e outras referências que embasam o uso da metodologia experimental no ensino de Física. O segundo capítulo aborda os conceitos físicos presentes nos experimentos escolhidos. O terceiro capítulo é composto pela descrição dos experimentos de baixo custo escolhidos e seus roteiros de aplicação, além de uma sugestão de metodologia didática para ser usada juntamente com os experimentos. O quarto capítulo trata da aplicação dos experimentos na escola, onde foram escolhidos dois experimentos de baixo custo descritos neste trabalho. No quinto capítulo trazemos os resultados coletados da aplicação do produto educacional na escola. O sexto capítulo são descritas as Considerações Finais desta dissertação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo discorre sobre as teorias e referências usadas para produzir este trabalho. Ele é dividido em quatro tópicos, os três primeiros tratam de teorias e pensadores de teorias de aprendizagem e o último trata de referências do uso e aplicação da abordagem experimental como método de ensino.

2.1 Piaget - Construtivismo

A ideia de que o conhecimento humano é uma construção do próprio homem é demasiada antiga, mas no século XX Piaget inovou em dar um enfoque construtivista à cognição humana. Sua contribuição para o construtivismo foi tão grande que muitos acabam por confundirem “teoria construtivista” como “teoria de Piaget”, embora existam outras visões construtivistas (MOREIRA, 2019).

Neste tópico, veremos sobre “os períodos de desenvolvimento mental” propostos por Piaget e alguns conceitos principais de sua teoria, a citar assimilação, acomodação e equilíbrio. É comum que a maioria das pessoas que não são especialistas no assunto, só conheçam Piaget pelos períodos de desenvolvimento mental, mas é nos conceitos citados anteriormente que está a estrutura central de seu construtivismo.

PERÍODOS DO DESENVOLVIMENTO MENTAL

A teoria de Piaget não é exatamente uma teoria de aprendizagem e sim uma teoria do desenvolvimento mental. Piaget divide o desenvolvimento cognitivo em quatro estágios ou períodos de desenvolvimento mental: sensório-motor, pré-operacional, operacional-concreto, operacional formal (MOREIRA, 2019).

O período sensório-motor se inicia no nascimento da criança e vai até cerca de dois anos de idade. No início deste período a criança apresenta alguns reflexos básicos, como sucção, preensão, choro e movimentos do corpo indiferenciados. Estes reflexos iniciais são uma estratégia biológica para a sobrevivência do ser. Ainda no começo deste período a criança tem o forte egocentrismo, pois tudo só existe em sua função, para ela os objetos em sua volta só existem quando vistos ou tocados pela criança.

A partir deste estágio inicial, a criança evolui cognitivamente, passando por outros estágios (dentro do período sensório-motor), até que, ao fim do período sensório-motor a criança começa a desenvolver o pensamento simbólico, ou seja, os objetos não deixam de existir quando ela não os vê, estes objetos agora, para ela, tem uma realidade cognitiva além da realidade física (MOREIRA, 2019).

O segundo período é o pré-operacional, que vai dos dois aos seis ou sete anos. A criança desenvolve de maneira mais acentuada seu pensamento simbólico. O maior destaque desse estágio é o uso da linguagem, os objetos são simbolizados por palavras. Dessa forma o pensamento fica mais organizado, mas ainda não é reversível, é animista (dá vida e sentimentos a seres inanimados) e é egocêntrico (não leva em conta os sentimentos dos outros ao se comunicar ou agir). A atenção do indivíduo volta-se para os aspectos mais atraentes dos eventos, levando-o a contradições.

Podemos exemplificar isto ao colocar o mesmo volume de água em dois recipientes um alto e fino e outro baixo e largo, a criança dirá que o primeiro tem mais água pois é maior ou dirá que há menos água por ser mais fino. O pensamento não reversível característico desse período, faz com que a criança saiba que $1 + 5 = 6$ mas não entenda que $6 - 1 = 5$.

O terceiro período é o operacional-concreto, que se inicia no intervalo de 7 a 8 anos e termina aos 11 ou 12 anos. A partir desse período se percebe uma progressiva descentração da perspectiva egocêntrica que era comum nos períodos anteriores, a criança agora entende que vive em um mundo de muitas perspectivas. Seu pensamento agora mais organizado tem uma lógica operacional reversível, podendo pensar nas partes e no todo de maneira simultânea.

Neste período a criança ganha capacidade de fazer comparações e ver diferenças, por exemplo, agora ela é capaz de predizer qual recipiente contém mais água. Embora seu pensamento não seja mais egocêntrico, seu pensamento está limitado ao concreto, ou seja, ao que é palpável e real. O indivíduo pode ir do objeto real para o ausente, mas não consegue fazer o caminho contrário como acontece no próximo período (MOREIRA, 2019).

O quarto e último período, se inicia por volta dos onze ou doze anos na adolescência e se estende até a idade adulta, é o período das operações formais. A grande marca desse período é a capacidade de o adolescente trabalhar com hipóteses verbais e não somente com objetos concretos. Nesse período o adolescente

pensa através de proposições, essas proposições partem da operação concreta, porém o jovem ultrapassa este estágio: os resultados das operações concretas são proposições que ele continua operando mentalmente com eles.

Por volta dos sete anos, a criança consegue fazer certos raciocínios lógicos, mas esses pensamentos são subordinados a objetos reais, desse modo o possível é subordinado ao real. A partir do período das operações formais o pensamento não se subordina ao real, a partir de suas hipóteses o jovem agora tem o real como apenas um dos resultados do que é possível. Assim o adolescente se torna capaz de fazer raciocínios hipotético-dedutivos.

Concluindo este breve resumo dos períodos de desenvolvimento mental descritos por Piaget, temos, a seguir, uma citação onde ele discorre sobre o desenvolvimento cognitivo:

Para entender o mecanismo desse desenvolvimento, ..., distinguiremos quatro períodos principais em sequência àquele que é caracterizado pela constituição da inteligência sensório-motora.

A partir do aparecimento da linguagem, ou, mais precisamente, da função simbólica que torna possível sua aquisição (1 a 2 anos), começa um período que se estende até perto de quatro anos e vê desenvolver-se um pensamento simbólico e pré-conceptual.

De 4 a 7 ou 8 anos, aproximadamente, constitui-se, em continuidade íntima com o precedente, um pensamento intuitivo cujas articulações progressivas conduzem ao limiar da operação.

De 7 ou 8 até 11 ou 12 anos de idade, organizam-se as "operações concretas", isto é, os grupamentos operatórios do pensamento recaindo sobre objetos manipuláveis ou suscetíveis de serem intuídos.

A partir dos 11 a 12 anos e durante a adolescência, elabora-se por fim o pensamento formal, cujos grupamentos caracterizam a inteligência reflexiva acabada. (PIAGET, 1977, p.127)

É importante ressaltar que a passagem de um período de desenvolvimento mental para o próximo não é de modo abrupto. O indivíduo apresenta características que correspondem ao seu período de desenvolvimento, mas não é incomum apresentar também características de períodos anteriores. A ordem dos períodos é invariável, mesmo podendo haver diferenças na idade em que cada indivíduo atinge determinado período.

ASSIMILAÇÃO, ACOMODAÇÃO E EQUILIBRAÇÃO

Como abordado anteriormente, o construtivismo de Piaget, está mais ligado aos conceitos de assimilação, acomodação e equilíbrio do que aos períodos de

desenvolvimento mental. Para Piaget a aprendizagem, ou nos seus termos “aumento do conhecimento”, se dá através de assimilação e acomodação.

A “assimilação” nos dá a ideia de que o sujeito inicia a interação sobre o objeto/meio, o sujeito cria esquemas de assimilação mental para entender a realidade. Como diz Moreira (2019, p. 100): “Todo esquema de assimilação é construído e toda abordagem à realidade supõe um esquema de assimilação”. Isso nos mostra que para o indivíduo aprender algo ele precisa ter os esquemas mentais próprios para isto. Por exemplo, um aluno vai aprender sobre força elétrica, ele incorpora esse conceito ao esquema “força”. Outro exemplo, quando se mede um intervalo de tempo, usamos o esquema “medir” para assimilar este ato. Em ambos os exemplos não houve mudança no organismo (mente), concluímos que no processo de assimilação a mente não é modificada, os esquemas de “força” e “medir” não foram alterados.

É fato que, regularmente, os esquemas de assimilação da criança/adulto não são capazes de assimilar determinadas situações. Neste caso, há duas possibilidades: ou o indivíduo desiste ou se modifica. Essa modificação dos esquemas de assimilação, é chamada por Piaget de “acomodação”. É através da acomodação (alteração ou criação de novos esquemas de assimilação) que acontece o desenvolvimento cognitivo.

Para Piaget o aumento do conhecimento se dá na interação sujeito com o objeto, o que acontece através de assimilação e acomodação. A seguir temos suas conclusões gerais de “As formas elementares da dialética”:

A relação cognitiva sujeito/objeto é uma relação dialética porque se trata de processos de assimilação (por meio de esquemas de ação, conceitualizações ou teorizações, segundo os níveis) que precedem por aproximações sucessivas e através dos quais o objeto apresenta novos aspectos, características, propriedades, etc. que um sujeito também em modificação vai reconhecendo. Tal relação dialética é um produto da interação, através da ação, dos processos antagônicos (mas indissociáveis) de assimilação e acomodação. (PIAGET, 1996, p. 197)

A partir do que foi dito percebemos que a equilibração acontece pela relação dialética entre o sujeito e o objeto. Quando o sujeito se depara com uma experiência não assimilável, sua mente passa por um desequilíbrio, fazendo necessário uma reorganização dos esquemas mentais através da acomodação, assim atingindo um novo estágio de equilíbrio. Esse processo se chama de equilibração majorante e é através dele que acontece o desenvolvimento cognitivo.

2.2 Vygotsky - Sócio-construtivismo

Diferente de Piaget, que acreditava que o desenvolvimento cognitivo se dava através do processo de equilíbrio, Lev Vygotsky (1896-1934) parte do princípio que não se pode entender esse desenvolvimento cognitivo sem levar em conta o contexto social e cultural no qual ele ocorre (MOREIRA, 2019). Quer dizer que o desenvolvimento cognitivo depende do contexto social, histórico e cultural para ocorrer. Segundo Garton (1992, p. 87) apud Moreira (2019), focaliza os mecanismos que originam o desenvolvimento cognitivo, não em estágios do desenvolvimento como vimos em Piaget, mas sim de natureza inegavelmente sociais, e próprio ao ser humano. O fato de que os processos mentais superiores da pessoa têm origem em processos sociais é um dos pilares da teoria de Vygotsky. O segundo pilar é que precisamos compreender os instrumentos e signos que medeiam os processos mentais para os entender. O terceiro e último pilar é o “método genético-experimental”, utilizado por ele para analisar o desenvolvimento do indivíduo (DRISCOLL, 1995, p. 225, apud MOREIRA, 2019).

Sobre os processos mentais superiores ou funções psicológicas superiores, nomenclatura usada por Vygotsky, mais complexas, por serem típicas do ser humano, Rego (2000, p. 39) nos instrui:

Vygotsky se dedicou ao estudo das chamadas funções psicológicas superiores, que consistem no modo de funcionamento psicológico tipicamente humano, tais como a capacidade de planejamento, memória voluntária, imaginação, etc. Estes processos mentais são considerados sofisticados e ‘superiores’, porque referem-se a mecanismos intencionais, ações conscientes controladas, processos voluntários que dão ao indivíduo a possibilidade de independência em relação às características do momento e espaço presente.

Assim, as funções psicológicas superiores, as quais discorre Vygotsky, abrangem o controle consciente do comportamento, por exemplo: atenção, percepção e memória, que não estão presentes desde o nascimento, mas vão se fortalecendo no decorrer do desenvolvimento humano, essencialmente por meio de relações sociais. Em contrapartida, as funções psíquicas mais elementares representam mecanismos mentais mais simples: as ações reflexas, as reações automáticas ou os processos de associação simples (TEZANI, 2006).

Para Vygotsky, os processos mentais superiores como o pensamento, linguagem e comportamento volitivo, têm origem nos processos que se desenvolvem nos meios sociais, de maneira que o desenvolvimento cognitivo humano só pode ser entendido em referência ao meio social. Contudo, para Vygotsky, o meio social não é só um fator importante para o desenvolvimento cognitivo, mas sim que, o desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais. Logo a socialização é responsável direta pelo desenvolvimento das funções mentais superiores (DRISCOLL, 1995, p. 229, apud MOREIRA, 2019, p. 108).

A conversão de relações sociais em funções psicológicas se dá pela mediação ou atividade mediada indireta, para Vygotsky, típica do ser humano. É através da mediação que acontece a internalização, isto é, reconstrução interna de uma operação externa, de atividades, comportamentos sócio-históricos e culturais, sendo este processo típico do ser humano (GARTON, 1992, p. 89, apud MOREIRA, 2019, p. 108).

A transformação de relações sociais em funções mentais superiores, não acontece de maneira direta, exige um terceiro elemento entre o ser humano e o mundo à sua volta, e isto é a mediação. Na mediação, usam-se os conceitos de instrumentos e signos, apresentados por Vygotsky (MOREIRA, 2019).

Os instrumentos são “ferramentas” que podem ser usadas para algum objetivo. Quando ficam entre o homem e o mundo, aumentam as possibilidades de mudar a natureza: o lápis permite a escrita em um papel, a faca permite o corte, o experimento permite o aprendizado etc (MOREIRA, 2019).

O signo por sua vez, segundo Moreira (2019), é algo que significa alguma outra coisa e pode ser de três tipos: signos indicadores, signos icônicos e signos simbólicos. Os indicadores são aqueles que estabelecem uma relação de causa e efeito com aquilo que significam: fumaça indica fogo, pois este é causador daquela. Os icônicos são desenhos/imagens daquilo que significam, como as placas de trânsito, por exemplo. Os simbólicos são aqueles que têm uma relação abstrata com aquilo que significam. Por exemplo, as palavras e os números, sendo assim, a linguagem e a matemática são sistemas de signos.

É através da interiorização de instrumentos e sistemas de signos, que acontece o desenvolvimento cognitivo. Esta combinação do uso de instrumentos e signos, é algo próprio do ser humano e permite a criação de funções mentais superiores (VYGOTSKY, 1988, apud MOREIRA, 2019, p. 109). Dessa forma quanto mais o

indivíduo vai utilizando signos mais vai se modificando suas funções mentais das quais ele é capaz. Da mesma forma quanto mais instrumentos o indivíduo vai aprendendo a usar, se amplia o número de atividades onde ele pode aplicar suas novas funções mentais (MOREIRA, 2019, p. 109).

Diferente de outros epistemólogos, como Piaget e Ausubel, que têm o indivíduo como unidade de análise, Vygotsky tem como foco de sua teoria a interação social, ou seja, sua unidade de análise não nem o indivíduo nem seu contexto e sim a interação entre eles (MOREIRA, 2019, p.110). Uma interação social requer no mínimo duas pessoas trocando informações, este par é o menor microcosmo da interação social. Esta Interação social supõe o envolvimento ativo dos participantes, mesmo que não no mesmo nível, onde cada um ganhará experiência e conhecimento, em termos quantitativos e qualitativos (GARTON, 1992, p. 11, apud MOREIRA, 2019, p. 110). Portanto, o desenvolvimento cognitivo não ocorre sem um ambiente que favoreça a interação social, como por exemplo uma aula experimental onde os alunos formam grupos e podem trocar experiências e conhecimento.

A partir do que foi apresentado até aqui, Vygotsky criou o conceito de zona de desenvolvimento proximal, definida como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, aquele que é medido por sua capacidade de resolver problemas sozinho, e o seu nível de desenvolvimento potencial, aquele que é medido pela solução de problemas com o auxílio ou com a colaboração de outra pessoa mais capaz (VYGOTSKY, 1988, p. 97, apud MOREIRA, 2019, p. 114). “A zona de desenvolvimento proximal define as funções que ainda não amadureceram, mas que estão no processo de maturação” Moreira (2019, p. 114). Assim se refere a zona em que de fato ocorre o desenvolvimento cognitivo, como dinâmica e em constante mutação. Ou seja, é o roteiro que o indivíduo efetua para enriquecer, aperfeiçoar as aptidões que ainda estão em processo de maturação e que poderão vir a ser cimentadas ao seu, novo, nível de desenvolvimento real.

Para Tezani (2016), a interferência de um educador na zona de desenvolvimento proximal ajuda a movimentar os processos de desenvolvimento das funções mentais complexas. Sobre a escola, Tezani nos esclarece:

Sob a ótica da educação escolar, esse conceito é importante, pois, se é o aprendizado que impulsiona o desenvolvimento, a escola tem um papel fundamental na construção do ser psicológico adulto de nossas sociedades mais organizadas e coerentes (TEZANI, 2016, p. 8).

Moreira (2019) mostra que a interação social além de responsável pela aprendizagem, que deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal, também tem a função de determinar os limites dessa zona. Seguindo este pensamento, o limite inferior é fixado pelo nível real de desenvolvimento do aprendiz; já o limite superior é determinado por processos instrucionais que podem ocorrer: no brincar, no ensino formal ou informal, no trabalho. Em qualquer contexto, o importante será a interação social (DRISCOLL, 1995, p. 233).

2.3 Abordagem Experimental

É comum alunos crescerem com certa antipatia por matemática por não conseguirem aprender seus conteúdos. Muitos alunos têm a crença que matemática é uma disciplina difícil, devido a memorização cansativas de termos e nomenclaturas, por exemplo. Essa crença prejudica o ensino de matemática (RODRIGUES, 2017). Quando o aluno começa a estudar Física, se depara com aulas repletas de fórmulas e equações que remetem à Matemática, afastando assim aqueles que já têm certa dificuldade com matemática. Embora os cálculos matemáticos sejam importantes para provar e calcular alguns fenômenos físicos, a matemática não pode e nem deve ser o foco nas aulas, pois antes de tudo, a Física é uma ciência experimental que descreve fenômenos da natureza.

Embora a Física seja esta ciência experimental, o que exigiria o ensino voltado para a experimentação, o comum é o professor passar conteúdos prontos, onde o aluno é um mero ouvinte. É necessário fugirmos da assepsia do ensino, mostrando os conteúdos relacionados à realidade e não os apresentando limpos, prontos, e isolados do universo confinados à sala de aula e ao quadro (RICARDO, 1998).

O problema citado anteriormente pode ser amenizado com uso de recursos didáticos para atrair a atenção dos discentes. Muitos são os recursos que podem ser usados como vídeos, filmes, simulações que podem ajudar a descrever os fenômenos da natureza, mas o ideal seria poder testemunhar o fenômeno de perto, com o uso de experimentos o aluno pode se sentir mais instigado e atraído. Embora, é importante destacar que os recursos didáticos empregados devem ter relação direta com os conteúdos, de modo a colaborar e completar a aula em sala (PCN, 1997).

A resposta dos professores é unânime, quando perguntados sobre a necessidade do laboratório didático, como afirma Pinho Alves (2000, p. 175): “a aceitação tácita do laboratório didático no ensino de física é quase um dogma, pois dificilmente encontramos um professor de física que negue a necessidade do laboratório”. Mais uma vez, a Física como ciência experimental se faz necessário o uso de um laboratório para aprendê-la. Não querendo dizer aqui que na falta de um laboratório o aprendizado fica inviável, para esta situação é que é proposto o uso de experimentos de baixo custo como os propostos nesta dissertação.

O professor deve fazer ligação entre o trabalho prático, realizado pelo aluno, com o conhecimento científico. Para Axt (1991, p. 79-80): “A experimentação pode contribuir para aproximar o ensino de Ciências das características do trabalho científico, além de contribuir também para a aquisição de conhecimento e para o desenvolvimento mental dos alunos”.

Barbosa et. al (1999) demonstrou através de um estudo a eficácia do ensino experimental em detrimento ao ensino tradicional. Nesse estudo, ele dividiu em duas turmas alunos da Escola Técnica Federal do Mato Grosso, em um grupo ele usou o ensino tradicional e no outro aplicou a abordagem experimental, seguindo o mesmo conteúdo nas duas turmas, ele percebeu através de um questionário aplicado após as aulas, que os alunos da turma que participou da aula com experimentos tiveram melhores resultados.

No capítulo seguinte abordaremos os conceitos físicos para compreensão dos fenômenos estudados nos quatro experimentos utilizados neste trabalho.

3 CONCEITOS FÍSICOS

Este capítulo discorre sobre os conceitos da Física relacionados com os experimentos trabalhados nesta dissertação. Como referências foram usados os livros HALLIDAY & RESNICK (2016), NUSSENZVEIG (1997-2002) e YOUNG & FREEDMAN (2016).

3.1 Mecânica

Este tópico foca nos conceitos das leis de Newton, que explicam o experimento “carrinho movido a bexiga”, e da conservação da energia mecânica, que explica o experimento “lata obediente”.

3.1.1 Leis de Newton

Em seu épico livro “Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, publicado em 1687, Newton nos apresenta três leis que descrevem os movimentos, fundamentais para a mecânica clássica (também chamada como mecânica newtoniana). A seguir abordaremos as três leis de Newton do movimento.

Primeira Lei de Newton ou Lei da Inércia

Antes da mecânica newtoniana ser formulada, acreditava-se que para que um corpo se mantivesse em movimento era necessário a ação de uma “força” e que apenas quando este corpo estivesse em repouso é que estaria em seu “estado natural”. Para um corpo se mover com velocidade constante teria que ser puxado ou empurrado, caso contrário, pararia naturalmente.

Estas ideias parecem coerentes, se fizermos um disco de metal deslizar em uma superfície de madeira, ele realmente diminui sua velocidade até atingir o repouso. Porém se colocarmos o mesmo disco para deslizar em uma superfície de gelo, ele percorrerá uma distância bem maior antes de parar (Figura 1). No limite podemos pensar em uma superfície extremamente lisa (superfície sem atrito), nesta o disco não teria sua velocidade diminuída. Este fato nos leva à primeira lei de Newton.

Podemos dizer que um corpo em repouso permanecerá em repouso, assim como, um corpo em movimento constante permanece em movimento constante, se não houver forças que atuando no corpo ou se o somatório das forças que agem no corpo for nulo.

Figura 1: Experimento com o disco.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 115).

A partir do conceito de força resultante podemos escrever uma definição mais rigorosa para esta lei: “quando a força resultante sobre um corpo é igual a zero, ele se move com velocidade constante (que pode ser nula) e aceleração nula.” (Sears et al., 2016, p. 115).

Dizemos que um corpo está em equilíbrio, quando está em repouso ou quando sua velocidade é constante (em linha reta com velocidade constante). Para que este equilíbrio ocorra ou nenhuma força atua sobre o corpo, ou várias forças atuam sobre o corpo de maneira a se anular, de toda forma, temos que a força resultante será zero, Equação 1.

$$\Sigma F = 0, \quad (1)$$

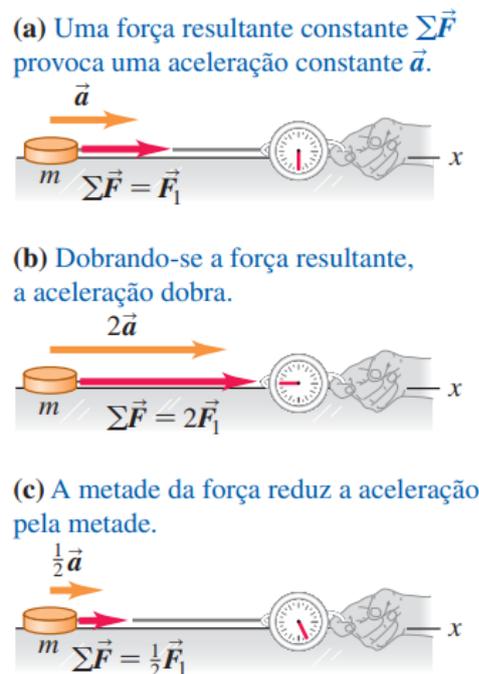
Segunda Lei de Newton

Uma das consequências da primeira lei é que qualquer variação da velocidade v de um corpo, seja ela em módulo ou em direção, em relação a um referencial inercial (qualquer aceleração), deve estar ligada a ação de forças. Logo, precisamos de uma relação mais precisa entre força e aceleração.

Na figura 2 temos uma experiência para explorar a relação entre a força resultante e a aceleração adquirida pelo corpo. Em uma superfície horizontal sem

atrito, aplicamos uma força horizontal constante sobre um disco de hóquei, usando um dinamômetro com a mola esticada a um valor constante (Esta força horizontal será igual a força resultante sobre o disco). Variando-se o módulo da força resultante, a aceleração varia na mesma proporção. Na Figura 2b, dobrando a força resultante a aceleração é dobrada; na Figura 2c, com metade da força resultante, a aceleração é reduzida pela metade, etc. Várias experiências similares mostram que, para qualquer corpo, o módulo da aceleração será diretamente proporcional ao módulo da força resultante que atua sobre o corpo.

Figura 2: O módulo da aceleração \vec{a} de um corpo é diretamente proporcional ao módulo da força resultante $\Sigma \vec{F}$ que atua sobre o corpo de massa m .



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 120).

Estes resultados significam, que para um corpo, a razão entre o módulo da força resultante $\Sigma \vec{F}$ e o módulo da aceleração \vec{a} é constante, para qualquer valor do módulo da força resultante. Essa razão é chamada de massa inercial, ou apenas **massa**, e será representada pela letra m . Assim:

$$m = \frac{|\Sigma \vec{F}|}{a}, \quad (2)$$

Estas experiências nos permitem inferir a segunda lei de Newton:

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}, \quad (3)$$

De maneira simples, a força resultante que atua sobre um corpo é igual ao produto da massa do corpo por sua aceleração (Halliday et al., 2010).

A equação (3) não corresponde à formulação original que Newton fez da segunda lei. Newton começou definindo o momento, também conhecido como momento linear, foi chamado por ele de “quantidade de movimento”. Sua definição foi: “A quantidade de movimento é a medida do mesmo, que se origina conjuntamente da velocidade e da massa” (Nussenzveig, 1997, p. 72).

Em resumo, o momento linear de um corpo é o produto de sua massa por sua velocidade:

$$\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}, \quad (4)$$

Onde \mathbf{p} é um vetor, levando em conta a massa como invariável, vamos obter derivando em relação ao tempo ambos os lados da Equação (4):

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = m \cdot \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m \cdot \mathbf{a}, \quad (5)$$

Comparando este resultado com a Equação (3),

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}, \quad (6)$$

Em seu livro Nussenzveig (1997, p. 72) traz, que este resultado corresponde à formulação de Newton da segunda lei: “A variação do momento é proporcional à força impressa, e tem a direção da força”. Assim temos que, a força é a taxa de variação temporal do momento. Essa formulação apresenta vantagens à primeira apresentada, uma delas será mostrada na próxima sessão. A outra vantagem que ao contrário da primeira formulação, esta continua válida na mecânica relativística.

Terceira Lei de Newton

Até este ponto, consideramos apenas forças aplicadas em um único corpo, sabemos que são causadas por outros corpos, mas não foi considerado ainda o que ocorre com estes corpos. Vamos partir da situação mais simples, uma interação entre apenas duas partículas, que chamaremos de 1 e 2; as únicas forças existentes serão as da interação entre elas, $\mathbf{F}_{1(2)}$ (força sobre 1 devido a 2) e $\mathbf{F}_{2(1)}$ (força sobre 2 devido a 1).

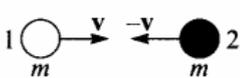
Para este exemplo, precisamos eliminar todas as forças externas, isso é bem difícil na prática, mas pode ser aproximado na situação em que temos dois discos idênticos deslizando sobre um gás.

Analisaremos experiências de colisões entre dois discos idênticos, ou seja, de mesma massa. As forças entre os discos serão apenas de contato, e só atuarão no breve instante (Δt) de contato. As forças resultantes sobre os discos, antes e depois das colisões serão nulas, logo suas velocidades antes e depois das colisões serão constantes. Chamaremos de \mathbf{v}_1 e \mathbf{v}_2 as velocidades respectivamente dos discos 1 e 2 antes da colisão, e de \mathbf{v}'_1 e \mathbf{v}'_2 as velocidades dos discos depois da colisão. Correspondentemente teremos antes da colisão os momentos \mathbf{p}_1 e \mathbf{p}_2 , e \mathbf{p}'_1 e \mathbf{p}'_2 depois da colisão.

As figuras seguintes ilustram o que acontece nas experiências, apenas em colisões frontais, ou seja, aquelas que acontecem segundo a linha que une os centros dos discos.

Na experiência 1 (Figura 3) os discos se aproximam com velocidades contrárias e iguais em módulo, após a colisão, eles se afastam tendo trocado suas velocidades.

Figura 3: Colisão entre dois discos com velocidades opostas.

| Experiência 1 | | | |
|---|--|--|---|
| Antes da colisão | | Depois da colisão | |
|  | |  | |
| Velocidades | $\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}$ $\mathbf{v}_2 = -\mathbf{v}$ | $\mathbf{v}'_1 = -\mathbf{v}$ $\mathbf{v}'_2 = \mathbf{v}$ | |
| Momentos | $\mathbf{p}_1 = m\mathbf{v}$ $\mathbf{p}_2 = -m\mathbf{v}$ | $\mathbf{p}'_1 = -m\mathbf{v}$ $\mathbf{p}'_2 = m\mathbf{v}$ | |
| Total | $\mathbf{P} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = 0$ | | $\mathbf{P}' = \mathbf{p}'_1 + \mathbf{p}'_2 = 0$ |

Fonte: (Nussenzveig, 2002, p. 74).

Na experiência 2 (Figura 4) o disco 2 está inicialmente em repouso e o disco 1 se aproxima deste com velocidade \mathbf{v} , depois da colisão, 1 para e 2 se afasta de 1 com velocidade \mathbf{v} .

Figura 4: Colisão com um disco em repouso.

| Experiência 2 | | | |
|------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Antes da colisão | | Depois da colisão | |
| | | | |
| Velocidades | $v_1 = v$ $v_2 = 0$ | $v'_1 = 0$ $v'_2 = v$ | |
| Momentos | $p_1 = mv$ $p_2 = 0$ | $p'_1 = 0$ $p'_2 = mv$ | |
| Total | $P = p_1 + p_2 = mv$ | | $P' = p'_1 + p'_2 = mv$ |

Fonte: (Nussenzveig, 2002, p. 75).

Na experiência 3 (Figura 5), os estados iniciais são os mesmos da experiência 2, embora foi preso um pouco de chiclete (massa desprezível) no disco 1, de maneira que, ao colidirem, os discos continuam grudados, se movendo juntos com massa $2m$. Depois da colisão, nesta experiência, vemos que os dois discos se movem juntos com velocidades $v/2$.

Figura 5: Colisão com agregação.

| Experiência 3 | | | |
|------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Antes da colisão | | Depois da colisão | |
| | | | |
| Velocidades | $v_1 = v$ $v_2 = 0$ | $v'_1 = v'_2 = \frac{1}{2} v$ | |
| Momentos | $p_1 = mv$ $p_2 = 0$ | $p'_1 = p'_2 = \frac{1}{2} mv$ | |
| Total | $P = p_1 + p_2 = mv$ | | $P' = p'_1 + p'_2 = mv$ |

Fonte: (Nussenzveig, 2002, p. 75).

Em cada um dos quadros mostrados, na última linha sinalizada por "Total", foi calculado o momento total do sistema, definido como a soma dos momentos do disco 1 e 2, antes e depois de colidirem. Em todas as experiências se observou que:

$$P = p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 = P', \quad (7)$$

Da equação 7 percebemos que o momento total do sistema de dois corpos é o mesmo, antes e depois da colisão. Logo, o momento total do sistema se conserva. Fazendo alguns arranjos algébricos simples na Equação 7 chegamos em:

$$\Delta \mathbf{p}_1 = \mathbf{p}'_1 - \mathbf{p}_1 = -(\mathbf{p}'_2 - \mathbf{p}_2) = -\Delta \mathbf{p}_2, \quad (8)$$

Onde $\Delta \mathbf{p}_1$ e $\Delta \mathbf{p}_2$ são, respectivamente, as variações dos momentos dos corpos 1 e 2. Estas variações são produzidas no intervalo de tempo Δt , muito curto, que dura o processo da colisão; dividindo a equação 8 por Δt :

$$\frac{\Delta \mathbf{p}_1}{\Delta t} = -\frac{\Delta \mathbf{p}_2}{\Delta t}, \quad (9)$$

Como Δt é muito pequeno, podemos concluir que:

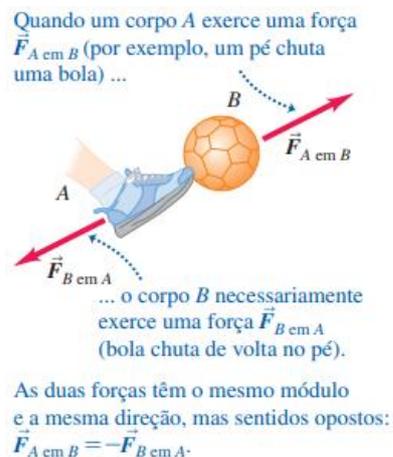
$$\frac{d\mathbf{p}_1}{dt} = -\frac{d\mathbf{p}_2}{dt}, \quad (10)$$

Aplicando a segunda lei de Newton (equação 6) na equação 10, teremos que dp_1/dt caracteriza a força sobre o corpo 1 (causada pelo corpo 2) durante a colisão, isto é, $F_{1(2)}$; de maneira semelhante, $dp_2/dt = F_{2(1)}$, logo a Equação 10 equivalente será:

$$F_{1(2)} = -F_{2(1)}, \quad (11)$$

Daí a força exercida por 1 sobre 2 é igual e contrária a força exercida por 2 sobre 1. Dizemos que estas forças se tratam de um par ação-reação. Esta Equação 11 obtida pelas experiências de colisões é um caso especial da terceira lei de Newton: “quando um corpo A exerce uma força sobre um corpo B (uma “ação”), o corpo B exerce uma força sobre o corpo A (uma “reação”). Essas duas forças têm o mesmo módulo e a mesma direção, mas possuem sentidos opostos. Essas duas forças atuam em corpos diferentes.” (Sears et. al, 2016, p. 128). A figura 6 traz um exemplo de par ação-reação da terceira lei.

Figura 6: Terceira lei de Newton do movimento.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 129).

3.1.2 Conservação da energia mecânica

Há casos em que apenas as leis de Newton não são suficientes para solucionar problemas, como cálculos de velocidades. Um exemplo é o caso da flecha lançada por um arco, quando o arqueiro lança a flecha, o arco exerce uma força variável que depende da posição da flecha. Neste e em outros casos onde não temos forças constantes, não podemos nos valer das leis de Newton usando relações matemáticas simples. Mas felizmente a mecânica tem outro método, que usa os conceitos de trabalho e energia. A essencialidade do conceito de energia está no princípio da conservação de energia: a energia é uma grandeza que pode ser convertida de uma modalidade para outra, mas jamais pode ser criada ou destruída.

Trabalho e energia cinética

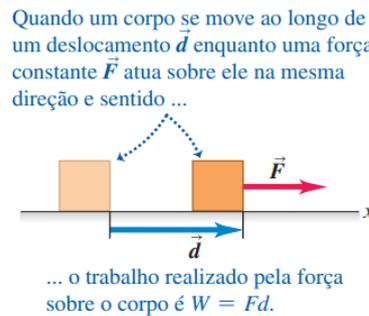
No nosso cotidiano situações como empurrar um móvel e colocar livros na prateleira de uma estante, são definidas como trabalho, neste caso o trabalho vem da ideia de atividade que necessita de esforço físico ou intelectual. Na física temos uma definição mais específica para trabalho, com esta definição veremos que o trabalho resultante realizado por todas as forças que atuam numa partícula é igual a variação da energia cinética (grandeza relacionada com a massa e velocidade da partícula). Esta relação será útil mesmo quando as forças atuantes não são constantes, assim nos permitindo resolver problemas que antes não poderiam ser solucionados, de forma simples, apenas com as leis de Newton.

Os dois exemplos anteriores (empurrar o móvel e levantar o livro) tem em comum que você realiza um trabalho aplicando uma força sobre o corpo enquanto ele sofre um deslocamento de um lugar para outro. O trabalho realizado é maior quanto maior for a força aplicada (você empurra o móvel com mais intensidade) ou quando o deslocamento é maior (você empurra o móvel por uma distância maior). A definição física de trabalho é dada a partir dessas observações. Vamos considerar um corpo que se desloca, em linha reta, uma distância d . Uma força de módulo constante \vec{F} atua sobre o corpo na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento \vec{d} , enquanto o movimento ocorre (Figura 7). O trabalho \mathbf{W} realizado pela força constante é definido,

nestas condições, como o produto do módulo da força F e o módulo do deslocamento d :

$$W = Fd, \quad (12)$$

Figura 7: Trabalho realizado por uma força constante que atua na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 191).

A unidade de trabalho do sistema internacional de unidades (SI) é o **Joule** (lê-se jaule), abreviada por J, nome dado em homenagem a James Prescott Joule (físico inglês do século XIX). Da Equação 12 vemos que em qualquer sistema de unidades, a unidade de trabalho será a unidade de força vezes a unidade de deslocamento. No SI a unidade de força é o newton e a unidade de deslocamento é o metro, deste modo: $1 \text{ joule} = 1 \text{ newton} \cdot \text{metro}$ ou $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$

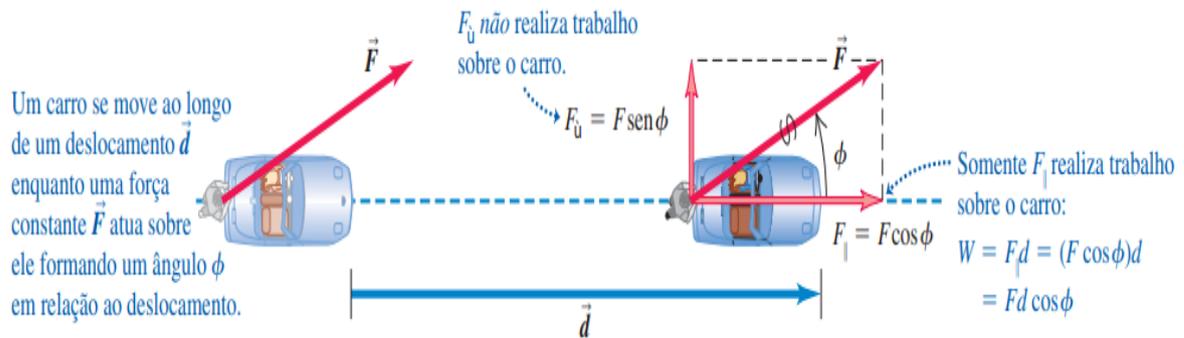
A Equação 12 serve para calcular o trabalho para o caso que a força aplicada atua na mesma direção e sentido do deslocamento. Mas, e se empurrarmos o móvel de modo a formar um ângulo ϕ com o deslocamento (Figura 8)? Neste caso, \vec{F} tem uma componente $F_{\parallel} = F \cos \phi$ paralela ao deslocamento \vec{d} e uma componente $F_{\perp} = F \sin \phi$ perpendicular a \vec{d} . Neste caso apenas a componente na direção do deslocamento F_{\parallel} realiza trabalho sobre o corpo. Portanto podemos definir o trabalho como o produto desta componente pelo módulo do deslocamento:

$$W = Fd \cos \phi, \quad (13)$$

Quando olhamos para a Equação 13, percebemos que tem a forma de um produto escalar de dois vetores, no caso os vetores \vec{F} e \vec{d} . Desta forma, podemos escrever a Equação 13 de maneira mais compacta:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}, \quad (14)$$

Figura 8: Trabalho realizado por uma força constante que forma um ângulo em relação ao deslocamento.

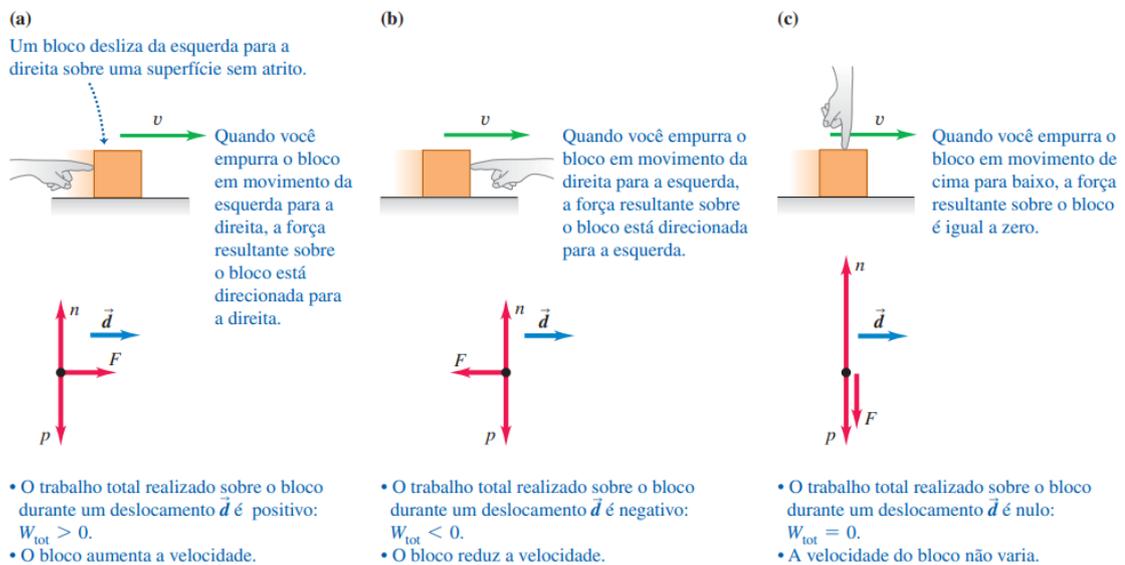


Fonte: (Sears et al., 2016, p. 192).

Para calcular o trabalho quando diversas forças atuam sobre um mesmo corpo, dado que o trabalho é uma grandeza escalar (um número), basta calcular o trabalho de cada uma das forças envolvidas usando a Equação 12 ou 13, e então somando o trabalho de cada uma teremos o trabalho total W_{tot} . O outro método seria calcular primeiro a força resultante e a partir dela calcular o trabalho total W_{tot} usando também a Equação 12 ou 13.

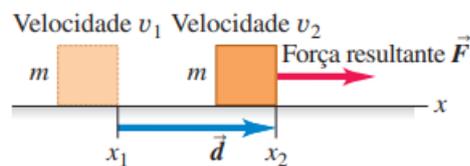
O trabalho total (realizado por forças externas) está relacionado com o deslocamento do corpo. Porém o trabalho total também está relacionado com a velocidade do corpo, isto pode ser visto na figura 9, onde temos um bloco que desliza sem atrito sobre uma mesa. As forças que atuam neste bloco são a força peso \vec{p} , a força normal \vec{n} e a força \vec{F} exercida pela mão sobre ele. A partir da análise da figura 9, temos que, quando uma partícula se desloca, ela aumenta sua velocidade se $W_{\text{tot}} > 0$, diminui sua velocidade se $W_{\text{tot}} < 0$ e sua velocidade mantém-se constante se $W_{\text{tot}} = 0$.

Figura 9: A relação entre trabalho total realizado sobre o corpo e a variação da velocidade escalar do corpo.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 196).

Figura 10: Uma força resultante constante \vec{F} realiza um trabalho sobre o corpo em movimento.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 196).

Agora faremos uma análise de modo quantitativo. Na figura 10, um corpo de massa m se move sobre o eixo x sob ação de uma força resultante de módulo constante F atuando no sentido positivo do eixo x . A aceleração do corpo é constante sendo dada pela segunda lei de Newton (Equação 3). Considere que a velocidade varia de v_1 a v_2 quando o corpo vai do ponto x_1 ao ponto x_2 fazendo assim um deslocamento $d = x_2 - x_1$. Como a aceleração é constante podemos usar a equação de Torricelli, usando os dados que temos:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2ad$$

Isolando a :

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d}$$

Multiplicando esta equação por m e igualamos F como ma , temos

$$F = ma = m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} e$$

$$Fd = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2, \quad (15)$$

Na Equação 15 o produto Fd é o trabalho realizado pela força resultante, logo, é o trabalho total W_{tot} , realizado por todas as forças que atuam sobre o corpo. O termo $\frac{1}{2}mv^2$ representa a grandeza que chamamos de **energia cinética** K do corpo:

$$K = \frac{1}{2}mv^2, \quad (16)$$

Agora vamos interpretar a Equação 15 em termos de trabalho e energia cinética. O primeiro termo do lado direito da equação é $K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2$, a energia cinética final do corpo (aquela depois do deslocamento). O segundo termo do lado direito é $K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$, a energia cinética inicial do corpo, e a diferença entre esses termos é a variação da energia cinética, logo, a Equação 15 pode ser escrita:

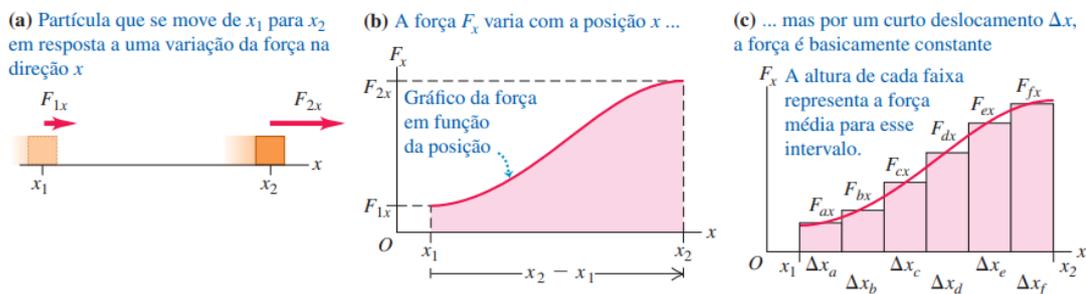
$$W_{tot} = K_2 - K_1 = \Delta K, \quad (17)$$

A Equação 17 é o conhecido **teorema do trabalho-energia**. Observando as equações 15 e 17, vemos que a unidade de medida de trabalho é a mesma de energia cinética. Portanto, o joule é a unidade do SI tanto para o trabalho quanto para a energia cinética (e para todas as modalidades de energia).

Trabalho realizado por forças variáveis

Para simplificar vamos considerar um movimento retilíneo pelo eixo x , onde a componente da força em x F_x , varia enquanto o corpo se movimenta. Vamos imaginar agora uma partícula que se desloca de um ponto x_1 a outro ponto x_2 (Figura 11). Ainda na figura 11 temos um gráfico da componente da força no eixo x em função do deslocamento no eixo x da partícula. Para calcular o trabalho realizado pela força, vamos dividir o deslocamento resultante em segmentos menores Δx_a , Δx_b e assim por diante.

Figura 11: Cálculo do trabalho realizado por uma força variável F_x na direção de x , enquanto um corpo se move de x_1 para x_2 .



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 202).

Aproximando o trabalho realizado pela força no deslocamento Δx_a como o produto da força média F_{ax} (nesse intervalo) pelo deslocamento Δx_a . Fazendo o mesmo para todos os intervalos e somando os resultados. Teremos que o trabalho aproximado realizado entre os pontos x_1 a x_2 é:

$$W = F_{ax}\Delta x_a + F_{bx}\Delta x_b + \dots$$

Quanto mais aumenta-se o número de segmentos a largura de cada segmento diminui, assim a soma torna-se a integral de F_x de x_1 a x_2 :

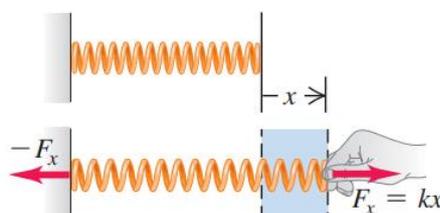
$$W = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx, \quad (18)$$

Agora vamos usar o que aprendemos no caso de uma mola esticada. Para esticar a mola de uma distância x além da posição de equilíbrio deve-se aplicar uma força de mesmo módulo em cada extremidade (Figura 12). Para um alongamento x , não muito grande, a força da extremidade direita pode ser calculada da seguinte forma:

$$F_x = kx$$

Onde k é a constante da mola (medida em Newton/metro).

Figura 12: A força necessária para esticar uma mola é diretamente proporcional ao seu alongamento: $F_x = kx$.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 203).

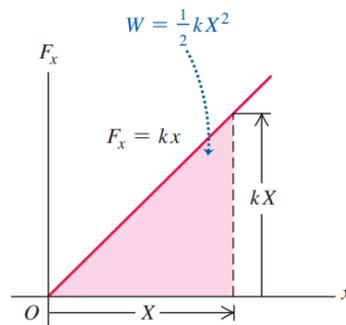
Para esticar uma mola devemos realizar um trabalho. O cálculo deste trabalho é mostrado na figura 13. Usando as equações anteriores:

$$W = \int_0^X F_x dx = \int_0^X kx dx$$

$$W = \frac{1}{2} kx^2, \quad (19)$$

Figura 13: Cálculo do trabalho realizado para esticar uma mola em um alongamento X .

A área abaixo do gráfico representa o trabalho realizado sobre a mola, enquanto a mola é alongada de $x = 0$ até um valor máximo X :



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 203).

Energia potencial gravitacional

Em várias situações, os fenômenos acontecem como se a energia fosse armazenada em um sistema para ser recuperada depois. É o caso de quando realizamos trabalho para erguer uma pedra acima de nossas cabeças. Parece lógico que, erguendo a pedra no ar, estamos armazenando energia no sistema, que mais tarde será convertida em energia cinética quando a pedra cair.

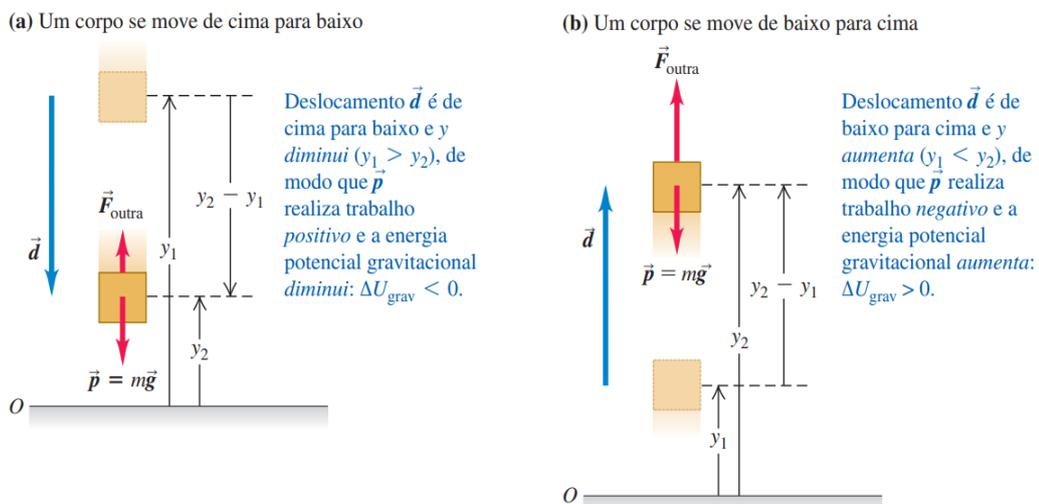
Esse exemplo aponta para que exista uma energia relacionada com a posição dos corpos em um sistema. Esta energia dá o potencial ou a possibilidade da realização de um trabalho; quando a pedra é erguida no ar, existe o potencial de um trabalho ser realizado sobre ela pela força da gravidade; mas isso só ocorre quando a pedra é solta. Esta energia associada a posição chamamos de **energia potencial**. E nessa discussão percebemos que existe uma energia potencial relacionada com a

posição (altura em relação ao solo) e o peso do corpo, chamada **energia potencial gravitacional**.

Vamos considerar um corpo de massa m que se move na vertical ao longo do eixo y (Figura 14). Considerando que as forças que atuam sobre o corpo são seu peso, de intensidade $p = mg$, e provavelmente outras forças, que não são necessárias na nossa análise. Supondo que o corpo esteja bem próximo da superfície da Terra, a ponto de considerarmos seu peso constante. Queremos calcular o trabalho realizado pela força peso quando o corpo cai de y_1 (altura maior) até y_2 (altura menor) (Figura 14). Como o peso e o deslocamento tem mesmo sentido, o trabalho realizado pelo peso será positivo:

$$W_{grav} = Fd = p(y_1 - y_2) = mgy_1 - mgy_2, \quad (20)$$

Figura 14: Quando um corpo se move de uma altura inicial y_1 a uma altura final y_2 , a força gravitacional realiza um trabalho e a energia potencial gravitacional sofre variação.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 224).

A Equação 20 revela que podemos escrever o trabalho da força gravitacional em termos dos valores das quantidades mgy para o início e o fim do movimento. O produto de mg por y (altura acima da origem do sistema) é a grandeza chamada de **energia potencial gravitacional** (U_{grav}):

$$U_{grav} = mgy, \quad (21)$$

Podemos agora escrever a Equação 20 da seguinte maneira:

$$W_{grav} = mgy_1 - mgy_2 = U_{grav,1} - U_{grav,2} = -\Delta U_{grav}, \quad (22)$$

Conservação da energia mecânica (apenas forças gravitacionais)

Para observar a utilidade do conceito de energia potencial gravitacional, supomos que só a força peso atua sobre o corpo. É o caso que o corpo cai sem resistência do ar e pode se mover para cima ou para baixo. Com v_1 a velocidade na altura y_1 e v_2 a velocidade na altura y_2 . O teorema do trabalho-energia, Equação 17, traz que o trabalho total é igual a variação da energia cinética: $W_{tot} = K_2 - K_1 = \Delta K$. Dado que a gravidade é a única força que atua no corpo, logo, pela Equação 22, $W_{tot} = W_{grav} = -\Delta U_{grav} = U_{grav,1} - U_{grav,2}$. Unindo as duas equações temos: $\Delta K = -\Delta U_{grav}$ ou $K_2 - K_1 = U_{grav,1} - U_{grav,2}$ que pode ser escrita

$$K_1 + U_{grav,1} = K_2 + U_{grav,2}, \quad (23)$$

Desta forma definimos a soma $K + U_{grav}$ da energia cinética mais a energia potencial como E , a **energia mecânica total do sistema**. A Equação 23 nos mostra que quando somente a força peso realiza trabalho sobre o corpo, assim $E_1 = E_2$. Logo E permanece constante, ou seja, assume o mesmo valor para a altura y_1 e para y_2 . Como y_1 e y_2 são pontos arbitrários a energia mecânica total será a mesma em todos os pontos.

Energia potencial elástica

Existem várias situações onde encontramos outros tipos de energia potencial que não são de natureza gravitacional. Um exemplo é a situação onde esticamos o elástico (tira de borracha) de um estilingue. A força que estica o elástico realiza um trabalho sobre ele, armazenando energia no elástico esticado até o momento que soltamos. Após o que, o elástico dá energia cinética para a pedra.

Este mesmo esquema ocorre com uma bola de beisebol (e com qualquer corpo com propriedades elásticas): um trabalho é realizado sobre o sistema e depois convertido em energia cinética. Este processo de armazenamento de energia no corpo deformável (tira de borracha, mola, etc.) é descrito em termos de **energia potencial elástica**. Um corpo é elástico quando ele volta a ter a mesma forma e mesmo tamanho que tinha antes de ser deformado.

Sendo específicos consideramos o processo de energia em molas ideais, mola sem massa e que pode ser deformada sem perder suas propriedades elásticas. É preciso aplicar uma força $F = kx$ para manter esta mola ideal com uma deformação x , com k sendo a constante elástica da mola. Adotamos um procedimento parecido ao usado para estudar a energia potencial gravitacional. Começamos com o trabalho realizado pela força elástica (da mola) e em seguida usamos o teorema do trabalho-energia.

Vamos pensar em uma mola ideal com a extremidade esquerda fixa e a direita colada em um bloco de massa m que tem liberdade para se mover através do eixo x (Figura 15). Quando a mola não está esticada ou comprimida, no ponto $x = 0$, o corpo se encontra em equilíbrio. Agora quando esticamos o bloco de uma posição x_1 a outra x_2 um trabalho é realizado pela força elástica sobre o bloco.

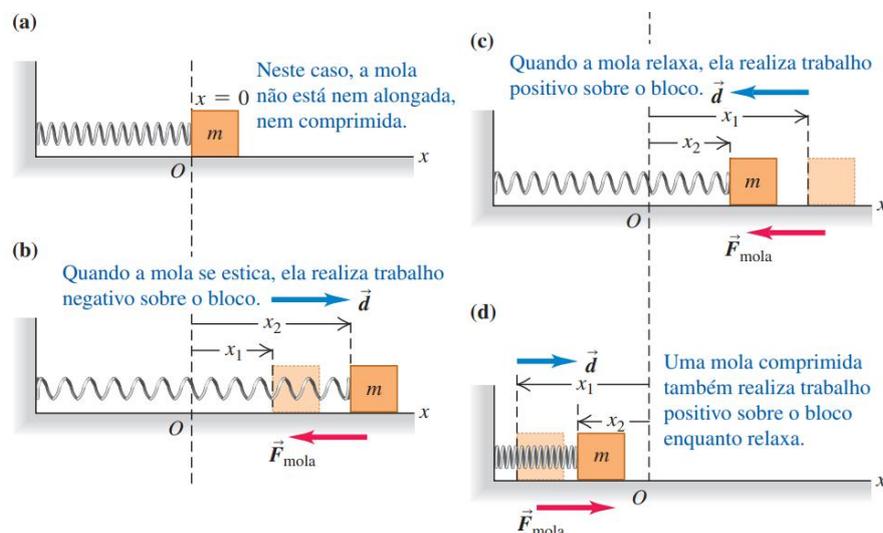
A partir da Equação 19 temos que o trabalho realizado sobre uma mola para mover sua extremidade de uma posição x_1 a outra x_2 é:

$$W = \frac{1}{2}kx_2^2 - \frac{1}{2}kx_1^2, \quad (24)$$

Agora vamos determinar o trabalho realizado pela mola W_{el} (trabalho da força elástica). Pela terceira lei de Newton, o trabalho realizado pela mola será igual e de sinal oposto ao anterior. Logo trocando os sinais da Equação 24:

$$W_{el} = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2, \quad (25)$$

Figura 15: Cálculo do trabalho realizado por uma mola amarrada a um bloco sobre uma superfície horizontal.



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 234).

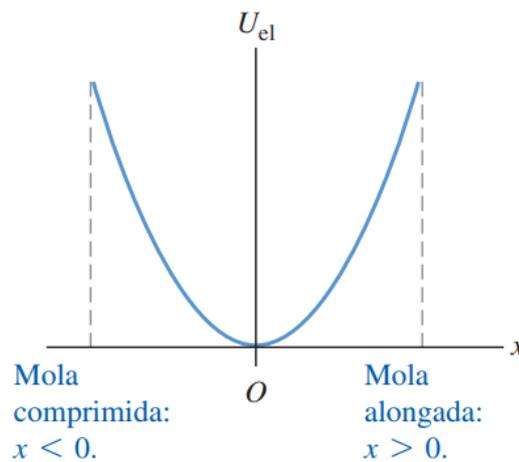
Assim como no trabalho da força gravitacional, podemos escrever o trabalho da força elástica em termos de uma quantidade no início e no final do deslocamento, essa grandeza é chamada de **energia potencial elástica** U_{el} , dada por:

$$U_{el} = \frac{1}{2}kx^2, \quad (26)$$

Temos na figura 16 um gráfico da Equação 26, a unidade de U_{el} assim como das outras formas de energia (e trabalho) é o joule (J). Agora usamos a Equação 26 para reescrever a Equação 25 que determina o trabalho realizado pela mola:

$$W_{el} = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 = U_{el,1} - U_{el,2} = -\Delta U_{el}, \quad (27)$$

Figura 16: Gráfico da energia potencial elástica em função do alongamento ou compressão x .



Fonte: (Sears et al., 2016, p. 235).

No teorema do trabalho-energia temos que $W_{tot} = K_2 - K_1$, para qualquer força que atue no corpo. Quando apenas a força elástica atua no corpo, temos que $W_{tot} = W_{el} = U_{el,1} - U_{el,2}$ e então teremos:

$$K_1 + U_{el,1} = K_2 + U_{el,2}, \quad (28)$$

Neste cenário, a energia mecânica total E ($K + U_{el}$), soma da energia cinética com a energia potencial elástica, se conserva. Um exemplo seria o movimento do bloco da figura 15.

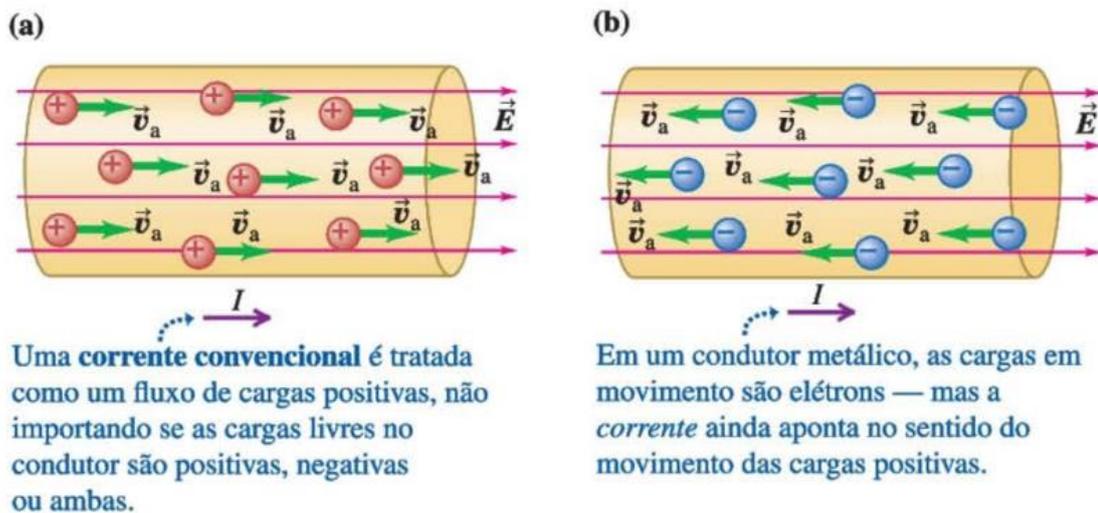
3.2 Eletromagnetismo

Este tópico trata sobre os conceitos das leis de Ohm, que explicam o experimento “lâmpada de grafite”, e a lei de biot-savart, que explica o experimento “eletroímã”.

3.2.1 Leis de Ohm

Começaremos definindo corrente elétrica: movimento ordenado de portadores de cargas elétricas. A corrente que abordaremos aqui é a chamada corrente convencional, aquela onde as cargas que estão em movimento são positivas. A corrente real seria aquela onde temos o movimento ordenado de elétrons (figura 17).

Figura 17: Sentido convencional da corrente elétrica.



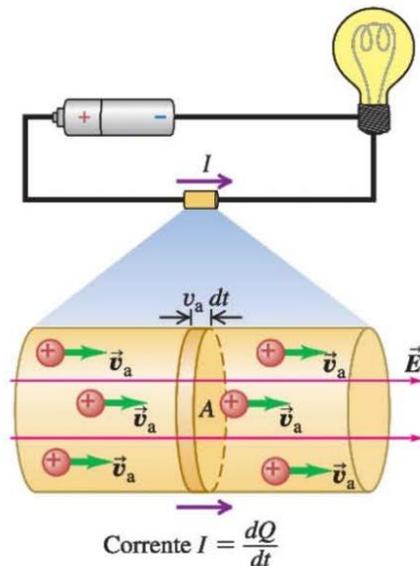
Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 147).

Vamos definir a corrente elétrica que passa por uma seção transversal de um fio metálico como a quantidade de carga elétrica que flui por essa seção por unidade de tempo:

$$i = \frac{dQ}{dt}, \quad (29)$$

onde i é a intensidade da corrente elétrica com o ampère como unidade padrão do SI.

Figura 18: A corrente I através da área com seção reta A é a taxa de variação com o tempo da carga transferida através de A .



Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 147).

Consideramos a situação da figura 18: um campo elétrico orientado da esquerda para a direita e um condutor com seção reta de área A . Considerando as cargas livres como positivas, logo, a velocidade de arraste tem o mesmo sentido do campo elétrico.

Vamos supor que existam n partículas por unidade de volume (n chama-se concentração de partículas com unidade m^{-3}) e que todas se movimentam com a mesma velocidade de módulo v_a . Em um intervalo de tempo dt cada partícula se move um espaço $v_a dt$. As partículas que saem da extremidade direita do cilindro sombreado de comprimento $v_a dt$ no período dt são as mesmas que estavam no interior do cilindro no início do intervalo de tempo dt . O volume desse cilindro é dado por $Av_a dt$, e logo, o número de partículas no seu interior é $nAv_a dt$. Se cada partícula tem carga q , a carga dQ total que sai da extremidade direita no intervalo de tempo dt é:

$$dQ = q(nAv_a dt) = nqv_a A dt$$

e corrente é

$$i = \frac{dQ}{dt} = nqv_a A, \quad (30)$$

Definimos a densidade de corrente J como a corrente que flui por unidade de área da seção reta:

$$J = \frac{I}{A} = nqv_a, \quad (31)$$

A Equação 31 pode ser escrita em sua forma vetorial, onde teremos um vetor densidade de corrente que tem o sentido da velocidade de arraste:

$$\vec{J} = nq\vec{v}_a, \quad (32)$$

Esta densidade de corrente depende do campo elétrico \vec{E} e das características do material do condutor. Para alguns materiais, principalmente metais, em uma certa temperatura, \vec{J} é praticamente diretamente proporcional a \vec{E} , e permanece constante a razão entre os módulos J e E. Esta relação é a chamada lei de Ohm.

A resistividade ρ de uma substância como a razão acima citada, ou seja, a razão entre o módulo do campo elétrico pelo módulo da densidade de corrente:

$$\rho = \frac{E}{J}, \quad (33)$$

Escrevemos agora a equação 33 da seguinte forma:

$$E = \rho J, \quad (34)$$

No caso da lei de Ohm, ρ permanece constante independentemente do valor de E, logo, E é diretamente proporcional a J. Embora, na maioria dos casos, estamos mais interessados em saber o valor da corrente i do que o valor de J e da diferença de potencial V nas extremidades do condutor que o valor de E. Isso se deve ao fato de que é mais fácil fazer medidas de corrente e diferença de potencial do que de densidade de corrente e campo elétrico.

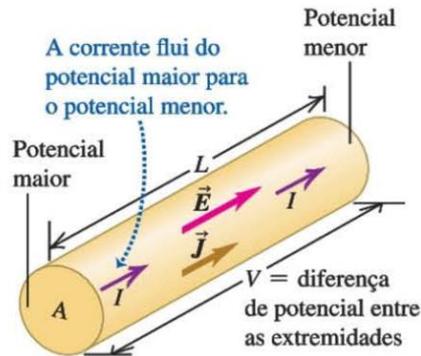
Vamos usar como exemplo um fio de comprimento L e seção reta uniforme com área A, como mostra a figura 19. Vamos relacionar o valor da corrente I com a diferença de potencial nas extremidades do condutor. Se os módulos da densidade de corrente \vec{J} e do campo elétrico \vec{E} são uniformes através do condutor, a corrente total I é calculada por $I = JA$, e a diferença de potencial entre as extremidades é obtida por $V = EL$. Isolando nessas equações os valores de E e J e substituindo esses valores na Equação 34, temos:

$$\frac{E}{L} = \frac{\rho I}{A} \text{ ou } V = \frac{\rho L}{A} I \quad (35)$$

Esta equação mostra que para ρ constante a corrente total I é proporcional à diferença de potencial V. A razão entre V e I em um condutor é chamada de **resistência R**:

$$R = \frac{V}{I}, \quad (36)$$

Figura 19: Um condutor com seção reta uniforme.



Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 153).

Comparando as equações 35 e 36, temos que:

$$R = \frac{\rho L}{A}, \quad (37)$$

Para um valor de ρ constante, como nos materiais chamados ôhmicos, R também é. Assim chegamos na Lei de Ohm:

$$V = RI, \quad (38)$$

Para mover uma carga dq através de uma diferença de potencial V precisamos fornecer uma energia dW ($dq \cdot V$) igual a:

$$dW = dq V = I dt V, \quad (39)$$

Mas é comum medirmos a potência, isto é, a energia por unidade de tempo:

$$\frac{dW}{dt} = P = V I, \quad (40)$$

onde P é a potência medida, no sistema internacional, em watt (W).

Como em outros processos que envolvem atrito de partículas, essa potência será dissipada na forma de calor, também podendo produzir radiação visível. Esse fenômeno é chamado de efeito Joule, nomeado assim em homenagem a seu descobridor.

Podemos escrever a potência P em termos da resistência R , basta usar as equações 38 e 40, assim, temos:

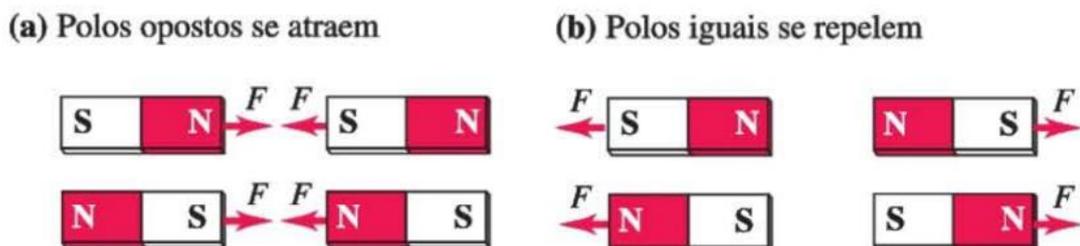
$$P = RI^2 = \frac{V^2}{R}, \quad (41)$$

3.2.2 Lei de Biot-Savart

A lei de Biot-Savart nos dá uma expressão matemática para calcularmos o campo magnético, em qualquer ponto do espaço, gerado por uma corrente elétrica que se movimenta em um circuito completo.

Antes de focar nesta lei é importante iniciar com uma introdução ao magnetismo. Magnetismo é a área da Física onde estudamos os fenômenos magnéticos, ou seja, aqueles relacionados a propriedades dos ímãs. Todo ímã possui um polo norte e um polo sul, é fácil perceber que polos de nomes diferentes se atraem e polos de nomes iguais se repelem (Figura 20), parecido com o que acontecia com as cargas elétricas, embora diferente das cargas elétricas, que podem ser encontradas separadamente, até o momento atual não encontraram um monopolo magnético, isto é, todo ímã sempre terá dois polos, mesmo se partido, ainda teremos dois ímãs, cada um com polo norte e polo sul.

Figura 20: Atração e repulsão dos polos de ímãs.



Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 219).

Da mesma forma que cargas elétricas produzem um campo elétrico, um ímã também causa um campo magnético, que pode afetar outros ímãs, e também afeta cargas elétricas, com a condição destas estarem em movimento, exercendo sobre elas uma força perpendicular ao movimento da carga. A força magnética é proporcional à carga e à velocidade desta carga, assim temos:

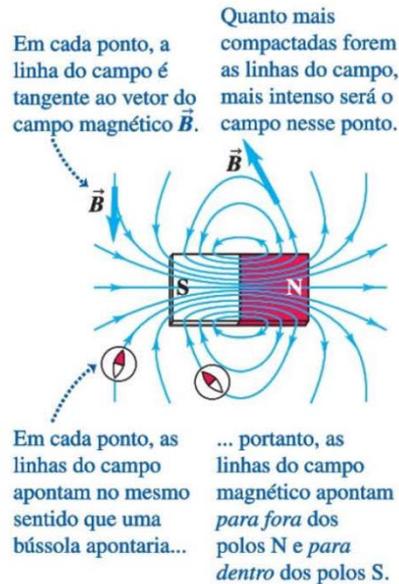
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad (42)$$

onde B é o campo magnético responsável por exercer força sobre a carga em movimento, a unidade no sistema internacional de B é o tesla (T).

Assim como o campo elétrico podia ser representado por linhas de campo, o campo magnético é representado por linhas do campo magnético, como mostra a

figura 21, onde o vetor campo magnético é tangente às linhas que representam este campo, na região onde as linhas estão mais próximas o campo magnético é mais intenso. Estas linhas de campo magnético saem do polo norte do ímã e entram no polo sul do ímã.

Figura 21: Linhas de campo magnético de um ímã permanente.



Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 225).

A partir de experimentos se constatou que uma carga q em movimento com velocidade v , gera em um ponto P um campo magnético, que é diretamente proporcional à intensidade da carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância r , como no campo elétrico, além disso é proporcional à intensidade da velocidade da carga e ao seno do ângulo ϕ entre o vetor velocidade e a reta que passa pelo ponto p e pela carga elétrica, dessa maneira o campo magnético gerado por uma carga em movimento é:

$$B = \frac{\mu_0 q v \text{ sen } \phi}{4\pi r^2}, \quad (43)$$

onde μ_0 é a constante magnética do vácuo, seu valor é $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$. A Equação 43 pode ser escrita em sua forma vetorial da seguinte maneira:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 q \vec{v} \times \hat{r}}{4\pi r^2}, \quad (44)$$

onde \hat{r} , que vale $\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$, é o vetor unitário que representa a direção da reta que une a carga q ao ponto P do campo.

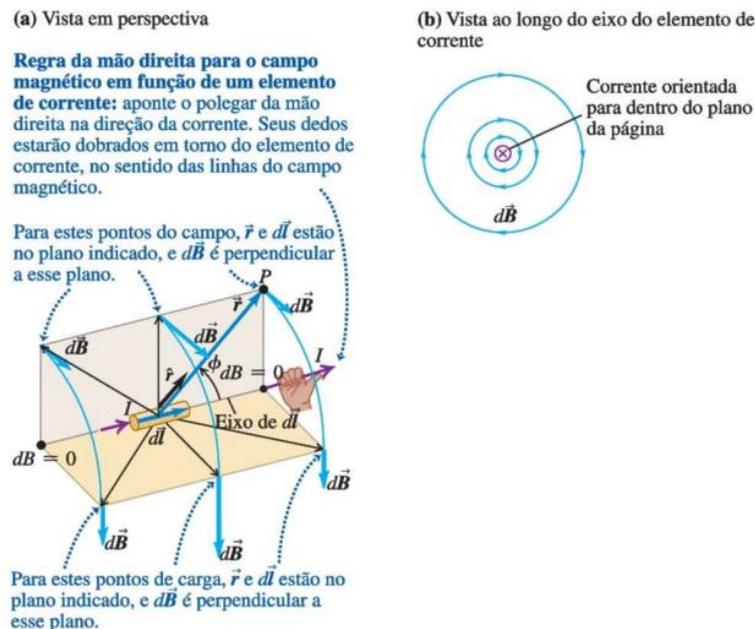
Da mesma forma do campo elétrico, há um princípio de superposição dos campos magnéticos, ou seja, o campo magnético total produzido por várias cargas em movimento é a soma vetorial dos campos criados individualmente por cada carga.

Vamos usar esse princípio junto com os resultados mostrados anteriormente para determinar o campo magnético gerado por uma corrente que passa por um condutor.

Começamos calculando o campo magnético criado por um segmento infinitesimal dl de um condutor com corrente, como mostra a figura 22. O volume deste segmento é $A \cdot dl$, onde A é área de sua seção reta. Caso existam n partículas carregadas que se movem por unidade de volume, cada uma possuindo carga q , a carga dQ se movendo neste segmento é:

$$dQ = nqA dl, \quad (45)$$

Figura 22: Campo magnético produzido por uma carga em movimento.



Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 267).

As cargas que se movem neste segmento, podem ser tratadas como uma única carga dQ , que se move com velocidade de arraste v_a . A partir da Equação 43, a intensidade do campo magnético resultante $d\mathbf{B}$ é:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dQ v_a \sin \phi}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{nq v_a A dl \sin \phi}{r^2}, \quad (46)$$

Mas, pela Equação 30, temos que nqv_aA é o valor da corrente I que passa pelo condutor, assim:

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

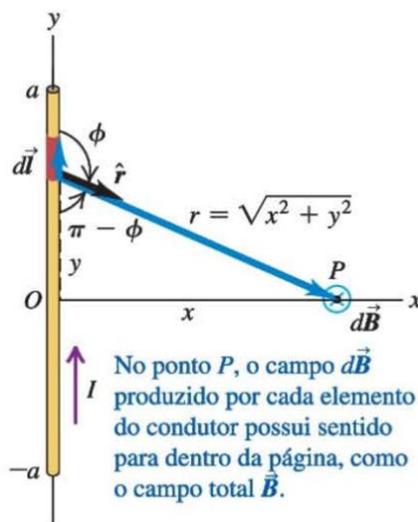
e na forma vetorial a Equação 47 se torna:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi r^2}, \quad (48)$$

Ambas as equações 47 e 48, são formas equivalentes da lei de Biot-Savart. Esta lei pode ser usada para calcular o campo magnético \vec{B} criado em qualquer ponto do espaço por uma corrente I que percorre um circuito completo. Para este cálculo, temos que integrar a Equação 48 em todos os trechos $d\vec{l}$ que conduzem a corrente:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}, \quad (49)$$

Figura 23: Campo magnético gerado por um fio retilíneo de comprimento $2a$, que conduz uma corrente.



Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 269).

Uma aplicação importante dessa lei é definir o campo magnético de um fio retilíneo que conduz uma corrente. A figura 23 mostra um de comprimento $2a$ percorrido por uma corrente I . Vamos calcular \vec{B} para um ponto sobre a reta que divide perpendicularmente o condutor ao meio, localizado a uma distância x do centro O .

Como todos os elementos de corrente contribuem com $d\vec{B}$ na mesma direção e sentido de P, assim basta somar todas essas contribuições, ou seja, integrar a Equação 47. Observando a figura 23 temos que:

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

fazendo as substituições acima na Equação 47 e integrando ambos os lados, temos:

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

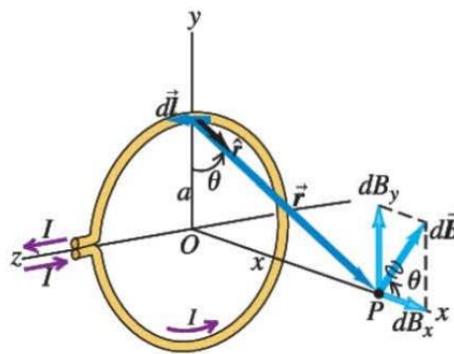
Utilizando substituição trigonométrica ou consultando tabelas de integrais, integramos a Equação 50:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{2a}{x\sqrt{x^2 + a^2}}, \quad (51)$$

Quando o comprimento $2a$ do condutor for muito maior que a distância x do ponto P ao condutor, neste limite, a Equação 51 se reduz a:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi x}, \quad (52)$$

Figura 24: Campo magnético produzido por uma espira de raio a num ponto P.



Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 275).

Considerando uma espira circular de raio a percorrida por uma corrente I , que entra e sai por dois fios retílineos longos, colocados um ao lado do outro, de modo que as correntes percorrem esses fios em sentidos opostos (Figura 24). Podemos usar a Equação 48 (lei de Biot-Savart) para determinar o campo magnético no ponto P no eixo da espira, distando x do centro.

Pela figura 24, $d\vec{l}$ e \hat{r} são perpendiculares, e $d\vec{B}$ está sobre o plano xy , assim a intensidade campo magnético gerado pelo segmento $d\vec{l}$ é:

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{(x^2 + a^2)}, \quad (53)$$

os componentes de $d\vec{B}$ são:

$$dB_x = dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{(x^2 + a^2)} \frac{a}{(x^2 + a^2)^{1/2}}, \quad (54)$$

$$dB_y = dB \sin \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{(x^2 + a^2)} \frac{x}{(x^2 + a^2)^{1/2}}, \quad (55)$$

O campo \vec{B} total no ponto P tem apenas componente em x (perpendicular ao plano da espira). Pois para cada elemento $d\vec{l}$, existe um elemento correspondente do lado oposto da espira, com sentido contrário. Esses dois elementos dão a mesma contribuição em x, que se soma, e dão contribuição opostas em y que se anulam.

Para determinarmos o componente x do campo magnético total \vec{B} , para isso basta integrar a Equação 54, então obtemos:

$$B_x = \int \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{adl}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \int dl, \quad (54)$$

O valor da integral de dl é obtido pelo comprimento da circunferência, $\int dl = 2\pi a$, e por fim obtemos:

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}, \quad (55)$$

Mas, se em vez de uma polia tivermos uma bobina formada por N espiras de mesmo raio a , então o campo total será o campo de uma única espira vezes N:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}, \quad (56)$$

Para o centro da bobina, onde o valor de x é zero, a Equação 56 se reduz a:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I}{2a}, \quad (57)$$

4 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

O produto educacional produzido é um Manual de Experimentos de Baixo Custo, contendo um pequeno resumo didático do conteúdo trabalhado, o passo a passo da confecção e aplicação de cada experimento trabalhado. O professor de Ciências/Física poderá utilizar esse Manual como uma alternativa ao ensino tradicional em suas aulas, assim tornando sua aula mais interessante e atrativa aos discentes. É importante o professor entender que apenas o uso dos experimentos não garantirá bons resultados, é necessário um planejamento da aula, isto é, uma estratégia didática.

A estratégia didática escolhida para trabalhar com os experimentos de baixo custo foi a abordagem POE (Predizer, Observar e Explicar), proposto por Nedelsky (1961) e por White e Gunstone (1992), uma abordagem usada para auxiliar na investigação de conceitos de Física.

Levando em conta o grande universo de experimentos que podem ser confeccionados com material de baixo custo, este manual servirá de norte, o professor poderá fazer alterações necessárias ou adicionar outros experimentos que achar pertinente em suas aulas.

4.1 Estratégia didática: a abordagem POE

Muitos professores resolvem usar experimentos em suas aulas sem antes pensar em uma estratégia de aplicação efetiva, o que faz com que o ensino seja mecânico, onde o aluno vai apenas seguir um roteiro e buscar respostas já esperadas, sem que haja realmente um entendimento dos conceitos.

Uma estratégia bastante eficaz usada em conjunto com os experimentos é o método POE (Predizer, Observar e Explicar), este método é composto por três etapas (FIDELIS et al., 2019):

1- Predizer: No primeiro momento é proposto um problema pelo professor, diante de algum experimento, nesta etapa divide-se os alunos em pequenos grupos ou individualmente para que possam tecer hipóteses e teorias sobre o que ocorrerá, fazendo uso de seus conhecimentos prévios, importante perceber que nesta etapa o aluno não visualiza nem observa a evolução do experimento.

2- Observar: A segunda etapa consiste na manipulação do experimento pelo professor ou pelo próprio aluno para que o experimento seja observado. No decorrer desta etapa o aluno deverá observar se suas hipóteses coincidem com o ocorrido na realidade, se não, ocorrerá o conflito cognitivo gerando o “desequilíbrio” no processo de assimilação de conhecimento.

3: Explicar: Na etapa final, de acordo com a hipótese formulada, o aluno tentará explicar o fenômeno observado, nesta fase o professor atuará como mediador do processo, levando os alunos a respostas esperadas. É nesta etapa que acontecerá o “reequilíbrio”, ou seja, o conhecimento científico é adquirido de fato.

O êxito desta estratégia didática, foi demonstrado por Balen & Netz quando usaram modelagens e simulações juntamente com o método POE, para explicar conceitos do estudo de gases para novos alunos dos cursos universitários das áreas de Ciência e Tecnologia. Neste estudo os autores dividiram os alunos em dois grupos, onde um fazia uso do método POE e o outro não. Por fim, constatou-se que o grupo que passou por esse método teve melhores resultados em comparação ao grupo que não fez uso.

A forma adequada de usar a Abordagem POE, é fazendo uso desse ensino investigativo antes de qualquer explicação do conteúdo que será abordado na experiência. Pois dessa maneira, os alunos poderão fazer suas previsões a partir apenas de seus conhecimentos prévios, instigando-os ao saber científico.

4.2 Experimentos

Esta seção trata dos experimentos de baixo custo que compõem o Produto Educacional (Apêndice B). Para um entendimento satisfatório dos experimentos, este capítulo traz os materiais necessários, o procedimento, uma sucinta explicação do fenômeno abordado, e um questionamento que servirá de ponto de partida ao usar a abordagem P.O.E. A seguir temos a Tabela 1 que mostra a lista de experimentos escolhidos neste trabalho.

Tabela 1 - Lista dos Experimentos abordados neste capítulo

| Área da Física | Experimentos | Conceitos estudados |
|-----------------------|--------------------------|--|
| Mecânica | Carrinho movido a bexiga | ➤ Princípio da ação e reação (terceira lei de Newton) |
| | Lata obediente | ➤ Conservação da energia mecânica. |
| Eletromagnetismo | Lâmpada de Grafite | ➤ Circuito Elétrico Simples ➤ Resistência ➤ Efeito Joule |
| | Eletroímã | ➤ Campo Magnético formado por cargas em movimento ➤ Atração Magnética |

4.2.1 Carrinho movido a bexiga

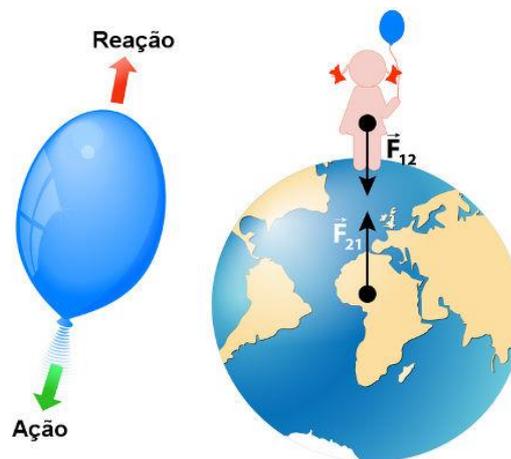
Em nosso cotidiano nos deparamos com várias situações onde corpos se movem, a área da Física que se preocupa com as causas desse movimento é a dinâmica. Isaac Newton fez uma grande contribuição ao mundo quando formulou suas leis do movimento, a partir desses estudos, hoje sabemos que para que haja uma alteração no movimento/velocidade de um corpo é preciso que uma força resultante não nula esteja atuando sobre ele.

Uma das leis que Newton formulou para o movimento dos corpos é o princípio da ação e reação. Esta lei diz que para cada ação (força) que um corpo 1 aplica em outro corpo 2 ($F_{1(2)}$), este reage com uma reação (força) sobre o corpo 1 ($F_{2(1)}$), onde o par de vetores ação e reação são de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, esta lei está resumida na Equação 58. O par de forças envolvidas na terceira lei de Newton são também de mesma natureza, e sempre, aplicadas em corpos diferentes.

$$F_{1(2)} = -F_{2(1)}, \quad (58)$$

Este conceito "princípio da ação e reação", terceira lei de Newton, é necessário para explicar os movimentos, por exemplo, de uma pessoa caminhando, de um automóvel, de um foguete, entre outros. Este também é o caso do movimento de uma bexiga cheia de ar que se esvazia, onde ela empurra o ar que está dentro e este sai fazendo-a se mover, como mostra a figura 25.

Figura 25: Exemplos de pares de forças de ação e reação.

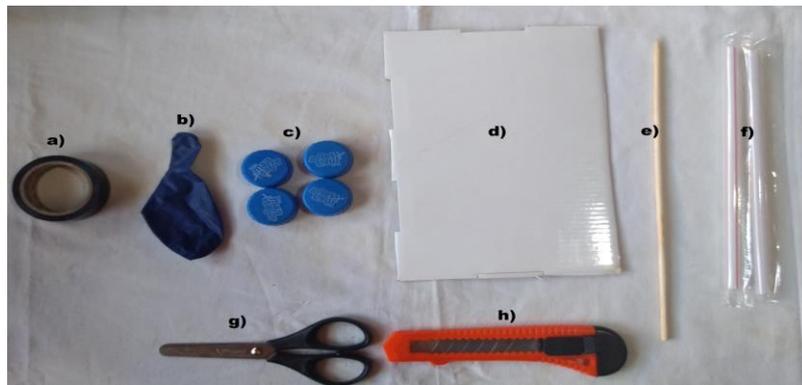


Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/terceira-lei-newton.htm>.

Materiais necessários para o experimento:

- a) uma fita adesiva
- b) uma bexiga
- c) quatro tampinhas de garrafa pet
- d) um pedaço de papelão
- e) um palito de churrasco
- f) dois canudos de vitamina
- g) uma tesoura
- h) um estilete

Figura 26: Materiais usados no experimento “Carrinho movido a bexiga”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Procedimento:

Passo 1: Criar o “motor” – Colocar a bexiga no canudo e prender com a fita adesiva (Figura 27). É importante soprar o canudo para ter certeza que o ar não está escapando.

Figura 27: Passo 1, criar o “Motor”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 2: Construir os eixos e fixar as rodas neles – Corta um canudo, de forma a ter um pedaço maior 10,5 cm e outro pedaço menor de 8,6 cm. Fazer o mesmo para o palito de churrasco, pedaço menor 12,2 cm e maior 14 cm. Fixar as rodas no palito, que deve ser colocado dentro dos pedaços de canudo como mostra a Figura 28.

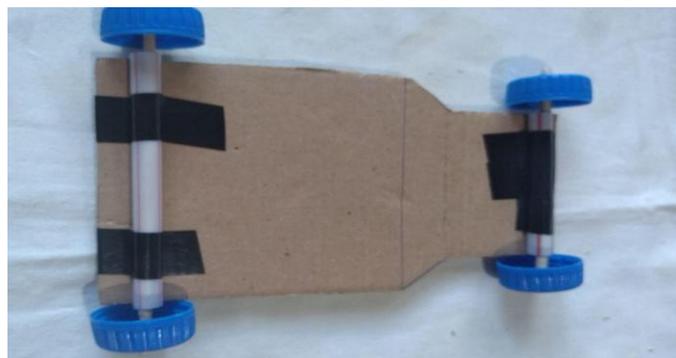
Figura 28: Passo 2, construção dos eixos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 3: Fixar os eixos no carrinho – Pegar o papelão (corpo do carrinho), que deve estar cortado com a parte dianteira menor como mostra a Figura 29. Fixar usando a fita os eixos, maior e menor, embaixo do papelão.

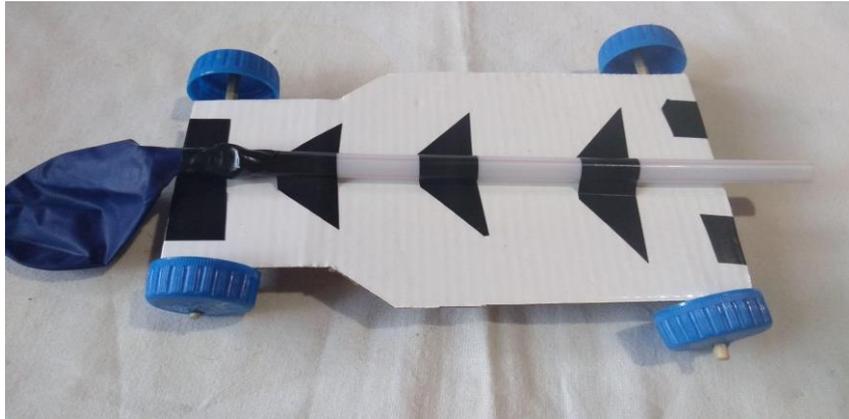
Figura 29: Passo 3, fixar os eixos no corpo do carrinho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 4: Fixar o “motor” no carrinho – Usando a fita, fixar o “motor” no carrinho, com a bexiga do lado menor (frente do carrinho) como ilustrado na Figura 30.

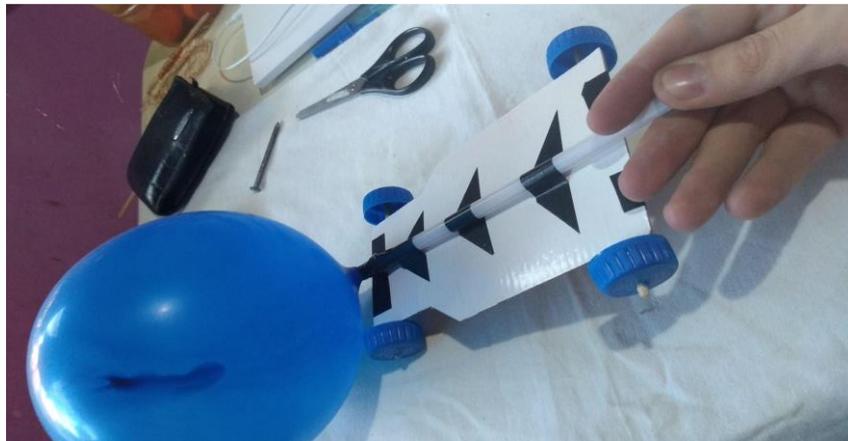
Figura 30: Passo 4, fixar o “Motor” no carrinho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após esses passos, o carrinho está pronto como ilustra a Figura 31. Soprando o canudo, enchendo a bexiga, o carrinho entrará em movimento.

Figura 31: Carrinho movido a bexiga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“Após encher a bexiga e prender a saída de ar, o que acontece com o carrinho quando soltamos a saída de ar?”

4.2.2 Lata obediente

Para que algo realize um trabalho é necessária energia. A partir do princípio da conservação da energia temos que: a energia é uma grandeza que pode ser convertida de uma modalidade para outra, mas jamais pode ser criada ou destruída. Logo podemos encontrar modalidades diferentes de energia em nosso meio como: energia mecânica, elétrica, térmica, entre outras.

Os conceitos de trabalho e energia são importantes para que possamos compreender fenômenos que só as leis de Newton não seriam o bastante para tal. Um exemplo de um fenômeno assim, seria uma flecha lançada por um arco, quando o arqueiro lança a flecha, o arco exerce uma força variável que depende da posição da flecha.

Em um sistema puramente mecânico, que não há formas de energia ligadas a fenômenos térmicos ou fenômenos eletromagnéticos, a conservação da energia resulta na conservação da energia mecânica. Onde a energia mecânica é a soma da energia cinética K com a energia potencial U (podendo ser gravitacional ou elástica). Matematicamente podemos ver a conservação da energia mecânica na Equação 59:

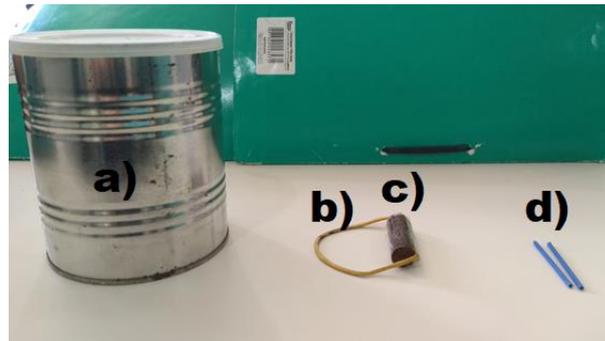
$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2, \quad (59)$$

Voltando para o exemplo da flecha lançada por um arco, compreendemos agora que, quando o arqueiro puxa a flecha no arco ele está acumulando energia potencial elástica, que será convertida em energia cinética quando a flecha for lançada do arco.

Materiais necessários para o experimento:

- a) uma lata de leite;
- b) uma liga (elástico);
- c) pesos ou algum tipo de objeto metálico;
- d) canudo.

Figura 32: Materiais usados no experimento “Lata obediente”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Procedimento:

Passo 1: Faça um pequeno furo no centro da tampa da lata e outro no centro do fundo.

Passo 2: Passe a liga pelo furo do fundo e o amarre a um pedaço do canudo para prender.

Passo 3: Estique a liga e, com uma fita adesiva, fixe um peso a ela.

Passo 4: Passe a outra ponta da liga pelo furo da tampa e amarre-a a outro pedaço de canudo, em seguida, tampe a lata.

Passo 5: Role a lata e veja o que acontece, figura 33.

Figura 33: Lata obediente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“O que acontecerá quando empurrarmos a “lata obediente” horizontalmente para a frente? ”

4.2.3 Lâmpada de grafite

Chamamos de resistência elétrica a grandeza física que mensura a dificuldade de passar corrente elétrica por um circuito. O valor da resistência elétrica entre dois pontos pode ser calculado pela lei de Ohm (Equação 60):

$$R = \frac{V}{I}, \quad (60)$$

Na Equação 60, R é a resistência, V o valor da diferença de potencial e I é o valor da corrente elétrica. Desta equação podemos perceber que quanto maior a resistência menor é a corrente.

Apesar de todo condutor possuir resistência elétrica, em um circuito é o resistor o dispositivo que tem a função de oferecer resistência. Esta resistência oferecida pelo resistor depende de suas dimensões e do material de que é feito, desta maneira podemos calcular a resistência de um resistor com a Equação 61:

$$R = \frac{\rho L}{A}, \quad (61)$$

onde ρ é a resistividade do material, na tabela 2 temos os valores da resistividade de alguns materiais, L o comprimento do resistor e A é a área da seção transversal do resistor.

Tabela 2 - Valores da resistividade em temperatura ambiente (20°C)

| Substância | | ρ ($\Omega \cdot m$) | Substância | ρ ($\Omega \cdot m$) |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Condutores | | | Semicondutores | |
| Metais | Prata | $1,47 \times 10^{-8}$ | Carbono puro (grafite) | $3,5 \times 10^{-5}$ |
| | Cobre | $1,72 \times 10^{-8}$ | Germânio puro | 0,60 |
| | Ouro | $2,44 \times 10^{-8}$ | Silício puro | 2.300 |
| | Alumínio | $2,75 \times 10^{-8}$ | Isolantes | |
| | Tungstênio | $5,25 \times 10^{-8}$ | Âmbar | 5×10^{14} |
| | Aço | 20×10^{-8} | Vidro | $10^{10} - 10^{14}$ |
| | Chumbo | 22×10^{-8} | Lucita | $> 10^{13}$ |
| Ligas | Mercúrio | 95×10^{-8} | Mica | $10^{11} - 10^{15}$ |
| | Manganina (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%) | 44×10^{-8} | Quartzo (fundido) | 75×10^{16} |
| | Constantan (Cu 60%, Ni 40%) | 49×10^{-8} | Enxofre | 10^{15} |
| | Nicromo | 100×10^{-8} | Teflon® | $> 10^{13}$ |
| | | | Madeira | $10^8 - 10^{11}$ |

Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 150).

Os resistores são necessários para reduzir a quantidade de corrente que passa por um circuito elétrico, evitando danos causados por curto-circuito. O efeito Joule nos diz que quando uma corrente passa por um condutor parte da energia elétrica é convertida em energia térmica, isso se deve ao atrito das partículas carregadas e o condutor. Essa energia por unidade de tempo, ou seja, potência, é dissipada na forma de calor e também pode emitir radiação visível.

A potência P pode ser medida, em termos da resistência R , pela Equação 62:

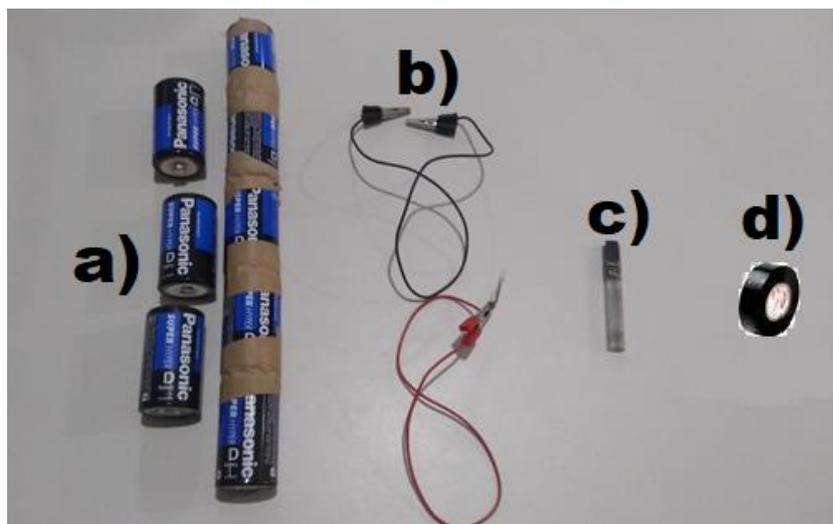
$$P = RI^2, \quad (62)$$

onde R é a resistência do resistor e I é a intensidade da corrente que passa pelo resistor R .

Materiais necessários para o experimento:

- a) oito pilhas tipo D;
- b) fios de cobre com garra de jacaré;
- c) grafite 0.5 mm;
- d) fita isolante.

Figura 34: Materiais usados no experimento “Lâmpada de grafite”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

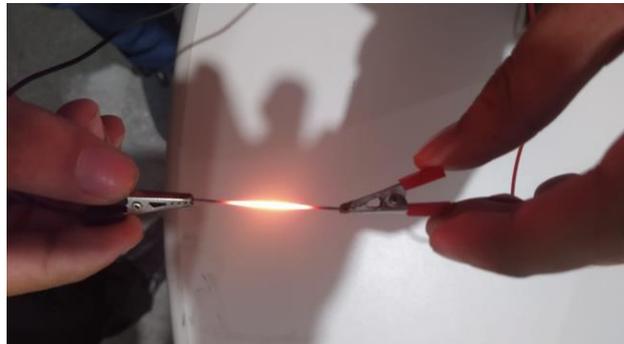
Procedimento:

Passo 1: Conecte as pilhas em série, conectando o polo positivo de uma com o polo negativo da seguinte, use a fita isolante nas conexões para o conjunto ficar firme.

Passo 2: Conecte os fios de cobre nas extremidades do conjunto de pilhas do passo anterior.

Passo 3: Conecte o grafite às garras de jacaré, com cuidado, fechando o circuito.

Figura 35: Lâmpada de grafite.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“O que acontecerá ao grafite, quando o mesmo for ligado ao circuito (com as garras jacaré)?”

4.2.4 Eletroímã

O eletromagnetismo é o ramo da física que estuda os fenômenos da eletricidade e do magnetismo de maneira unificada. A partir desse conceito: cargas elétricas em movimento geram um campo magnético, assim como uma variação do fluxo magnético gera uma corrente elétrica.

Podemos determinar o campo magnético gerado por uma corrente que flui por uma espira de raio a , a partir da lei de Biot-Savart, neste caso o campo magnético terá apenas componente no eixo x pois as contribuições no eixo y se anulam.

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}, \quad (63)$$

onde B_x é o campo magnético gerado em um ponto P, que dista x do centro da espira, por uma corrente elétrica I que percorre a espira.

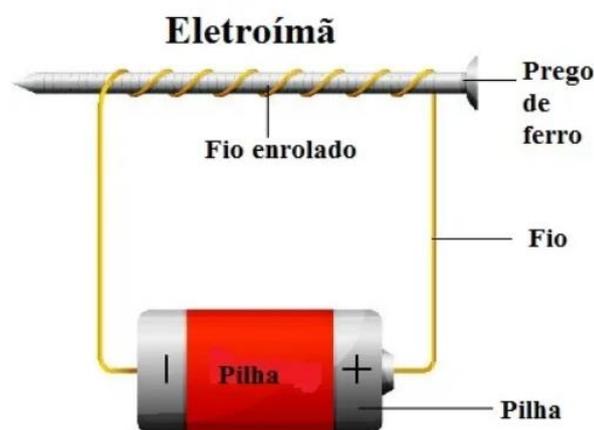
Como o campo gerado por uma espira é bem pequeno, na maioria das vezes, podemos nos valer de uma bobina composta por N espiras, e agora o campo magnético pode ser calculado através da Equação 64:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}, \quad (64)$$

No centro da bobina, onde o valor de x é zero, a Equação 64 se reduz a:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I}{2a}, \quad (65)$$

Figura 36: Exemplo de um eletroímã.

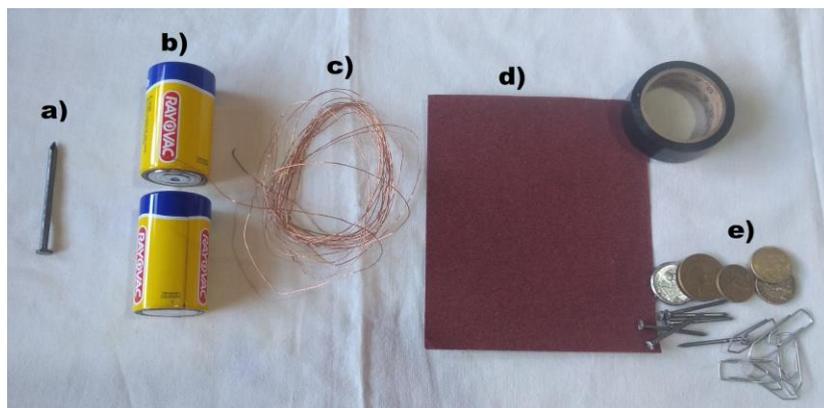


Um eletroímã é construído usando um material ferromagnético e um fio condutor, com o fio damos várias voltas no material formando uma bobina, quando o fio condutor for ligado a uma fonte de tensão a bobina gera um campo magnético e este campo faz com que o material se torne um eletroímã, como o da figura 36.

Materiais necessários para o experimento:

- a) um prego grande;
- b) duas pilhas tipo D (grandes);
- c) um pouco de fio esmaltado que pode ser encontrado dentro de motores velhos;
- d) um pedaço de lixa (aquelas utilizadas para lixar paredes);
- e) materiais como: moedas, clips de papel, pregos etc;
- f) materiais não metálicos como: tampinhas de plástico, algodão, etc..

Figura 37: Materiais usados no experimento “Eletroímã”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Procedimento:

Passo 1: Enrole o fio de cobre em volta do prego, deixando sobrando uns 20 cm nas pontas do prego, daí comece a enrolar, o ideal é fazer no mínimo duas camadas de voltas em torno do prego, para que fique bonito, sem nenhuma falha e para aumentar o efeito.

Passo 2: Agora lixe as pontas do fio a fim de tirar toda a parte esmaltada e deixar o fio exposto.

Passo 3: Coloque as duas pilhas em linha, tendo o cuidado de colocar a ponta positiva de uma tocando a base negativa da outra. Para manter as duas pilhas unidas, fixe-as com fita isolante. Fixe uma extremidade do fio que você deixou sobrando no polo positivo de uma das pilhas e a outra extremidade do fio no polo negativo da outra pilha (base da outra pilha).

Passo 4: Após realizar as ligações do prego com as pilhas você poderá aproximar de alguns materiais como moedas, limalhas de ferro, pregos e observar o que acontecerá.

Figura 38: Eletroímã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“O que acontecerá com pequenos objetos metálicos, quando colocados próximos do eletroímã ligado as pilhas? ”

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional foi aplicado no colégio Cássia Ramos em turmas do nono ano do ensino fundamental, totalizando 38 alunos. Foram escolhidos dois experimentos apresentados no produto educacional, “Carrinho movido a bexiga” e “Eletroímã”, cada prática realizada em uma aula de 50 minutos. A escolha desses experimentos se deve aos conteúdos abordados no ensino fundamental, facilitando assim a compreensão dos alunos nas aulas seguintes, outras razões da escolha desses experimentos foram a facilidade de montagem em sala de aula, o efeito lúdico e a fácil comparação com fenômenos do cotidiano dos alunos.

5.1 Experimento 1 – Carrinho Movido a Bexiga

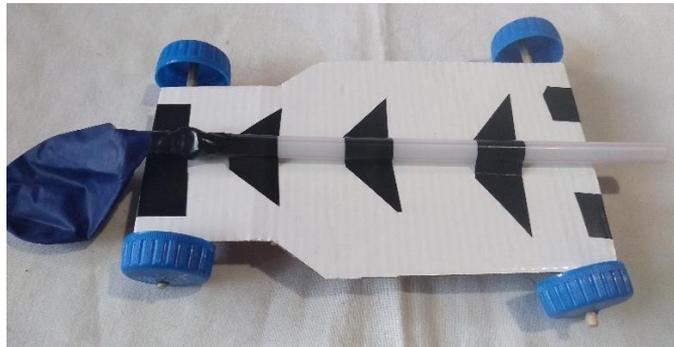
No início, usando o método POE., os alunos foram divididos em três grupos e apresentados ao passo a passo da montagem do experimento, com o carrinho montado, mas sem realizar a prática, cada grupo debateu entre si para prever os resultados do experimento e responder o questionamento: “Após encher a bexiga e prender a saída de ar, o que acontece quando a soltamos a saída de ar?”. Após cada grupo formar suas previsões, um aluno de cada grupo apresentou para o restante da sala a previsão do grupo.

Em um segundo momento, os alunos observaram na prática a realização do experimento, quando o carrinho foi posto a se mover. Nesse momento os alunos puderam interagir com o carrinho de maneira direta.

As previsões relevantes feitas pelos discentes foram:

- “O carrinho se move, pois, o ar da bexiga o empurra para frente. ”
- “O carrinho se move, pois quando a bexiga esvazia ele fica mais leve. ”
- “O carrinho não se move, pois nada o empurra. “

Figura 39: Experimento: Carrinho movido a bexiga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No terceiro momento, os alunos retornaram aos grupos para debater e fazer anotações tentando explicar seus erros e acertos, empregando seus conhecimentos adquiridos nos seus cotidianos.

As explicações relevantes feitas pelos discentes foram:

- “O ar que a bexiga expulsa move o carrinho, semelhante ao que acontece com um foguete que se move graças a seu propulsor. ”
- “A bexiga empurra o ar interno e este sai empurrando a bexiga para a frente. ”
- “O ar quando sai da bexiga empurra o ar do ambiente para trás, este reage empurrando o carrinho para frente. ”

Essa afirmativa acima não está correta, mas pode ser utilizada pelo professor para a análise correta, junto com os alunos. A terceira lei diz que se um corpo A exerce uma ação sobre um corpo B, o corpo B exerce uma reação sobre o corpo A. Na afirmativa acima o corpo A seria o ar que sai da bexiga e o corpo B é o ar do ambiente, que reage e empurra o ar que sai da bexiga (que aqui é o corpo A) e não a bexiga. Um foguete, que ejeta gases altamente aquecidos para trás, ganha movimento, mesmo estando no espaço, na ausência de ar. Não é o ar exterior que faz a bexiga ou o foguete ganhar movimento.

Neste experimento os alunos puderam ver o conceito da terceira lei de Newton na prática, e o professor pode trabalhar seu conteúdo de maneira mais eficaz ao usar o construtivismo (alunos aprendendo na prática) e o socioconstrutivismo (alunos trabalhando em grupos).

5.2 Experimento 2 – Eletroímã

Mais uma vez, usando a estratégia POE., os discentes foram divididos em três grupos e apresentados ao experimento, sem realizá-lo, foram questionados: “O que acontecerá com pequenos objetos metálicos, quando colocados próximos do eletroímã ligado as pilhas? ”. Em seus grupos, os discentes fizeram suas previsões, observações e explicações do experimento “eletroímã”.

Como este experimento é simples, não permite muitas alterações, o que tornou as previsões e explicações dos alunos bem parecidas. A seguir estão resumidas as previsões dos discentes:

- “Energia elétrica passará pelo fio, mas não sabemos se isso afetará os objetos metálicos. ”
- “Energia elétrica passará pelo fio e de alguma forma afetará os objetos próximos do conjunto. ”

Da mesma forma a seguir estão resumidas as explicações dos discentes:

- “Quando o fio está ligado a pilha o conjunto funciona como um ímã. ”
- “Quando o fio está conectado aos polos da pilha, o conjunto atrai os objetos metálicos, exatamente como um ímã. ”

Neste experimento os discentes puderam aprender os conceitos de atração magnética e campo magnético gerados por uma corrente elétrica. Na figura 40, temos um estudante usando o eletroímã para atrair pequenos objetos metálicos.

Figura 40: Experimento: Eletroímã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A eficácia desta abordagem foi constatada através dos comentários feitos pelos estudantes após cada uma das práticas. A maioria dos grupos conseguiu, após ver o fenômeno físico na prática, entender os conceitos trabalhados em sala. Mesmo os estudantes que não responderam de modo desejado foram motivados, pelo professor, a entender o fenômeno corretamente.

O método POE, aplicado tem em sua fase de “Explicação” a culminância da atividade. Não há a necessidade de uma avaliação formal. A avaliação ocorre ao longo das explicações dadas pelos alunos, onde o próprio professor, ouvindo as diversas explicações dos alunos, dialoga sobre cada afirmativa, convidando os demais a se pronunciarem sobre se concordam ou não. Quando uma determinada afirmativa não está totalmente correta, o professor deve mostrar as contradições com o conhecimento formal estabelecido.

Depois das explicações e realizações dos experimentos aplicamos um questionário (apêndice A) de sete questões, sobre as aulas de Ciências/Física, havia quatro opções para cada questão: “Não”, “Neutro”, “Sim” e “Muito”. Os resultados foram examinados estatisticamente por meio de gráficos de barras. As questões tiveram o intuito de avaliar os sentimentos e pensamentos dos discentes acerca das aulas de Ciências/Física com experimentos e sem experimentos, e se experimentos ajudam os alunos a entender melhor os fenômenos observados no cotidiano e estudados em sala de aula.

6 RESULTADOS

Este capítulo foi dividido em dois tópicos, o primeiro trata da receptividade dos alunos à Física/Ciências e a metodologia de ensino usada, neste tópico se fez uso dos resultados obtidos do questionário (Apêndice A), aplicado em 38 alunos do nono ano do ensino fundamental, do Colégio Cássia Ramos, após as aulas usando os experimentos de baixo custo e a abordagem POE. Este questionário foi aplicado em 2021, logo após o retorno do ensino presencial. O segundo tópico trata dos resultados de aprendizagem, este tópico se valeu dos comentários dos alunos, colhidos antes e após a observação dos experimentos, ao se fazer uso da abordagem POE.

6.1 Receptividade

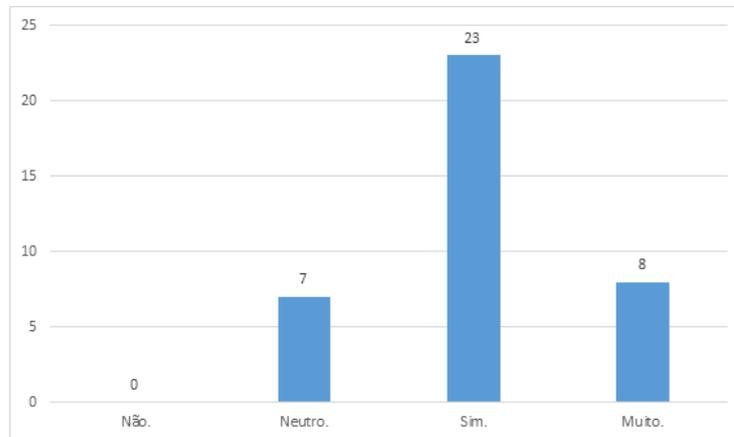
O questionário aplicado não teve a intenção de fazer um estudo formal sobre o domínio de conteúdos de física dos alunos do nono ano, e sim observar qualitativamente, os pensamentos dos alunos sobre as aulas de Ciências/Física, com experimentos e sem experimentos.

No nono ano os tópicos de física são abordados sem um tratamento matemático mais aprofundado. Os fenômenos físicos são apresentados do ponto de vista fenomenológico, de modo a despertar no aluno a compreensão dos princípios físicos básico.

A seguir temos os gráficos com os resultados de cada pergunta do questionário aplicado, e em seguida, uma análise destes resultados.

1- Você gosta das aulas de Ciências/Física?

Gráfico 1 - Resultados questão 1.

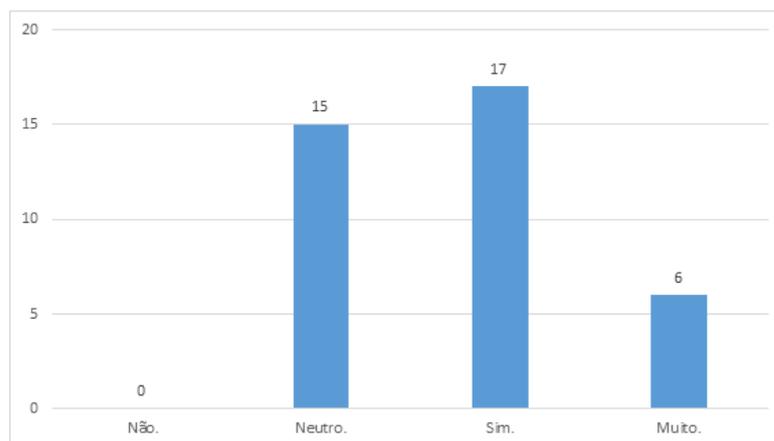


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 1, temos os resultados da primeira pergunta do questionário, onde 81,6% dizem gostar de Ciências/Física, vemos que os alunos têm curiosidade e vontade de aprender, bastando o professor mantê-los instigados com aulas mais atrativas e que dialoguem com o cotidiano do aluno.

2- Você considera o ensino de Ciências/Física importante para sua vida?

Gráfico 2 - Resultados questão 2.

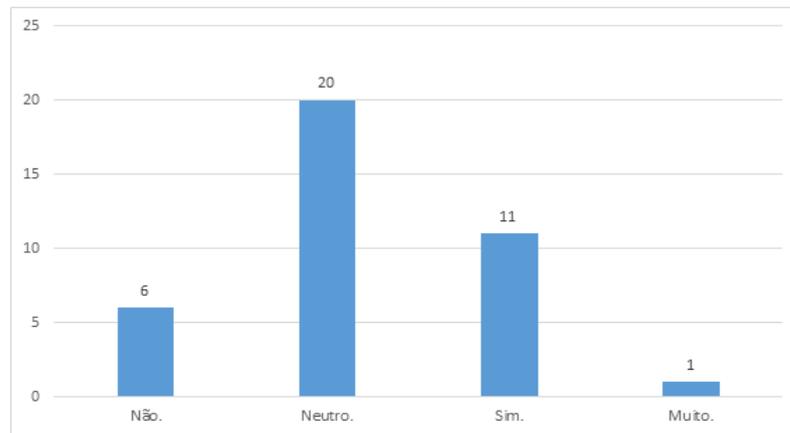


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 2, temos que 60,5% dos alunos avaliados, consideram as aulas de Ciências/Física importante para suas vidas, isso se deve a contextualização da aula com a nossa vida e com as tecnologias que possuímos.

3- Nas suas aulas de Ciências/Física, você consegue relacionar os conceitos estudados com o seu dia a dia?

Gráfico 3 - Resultados questão 3.

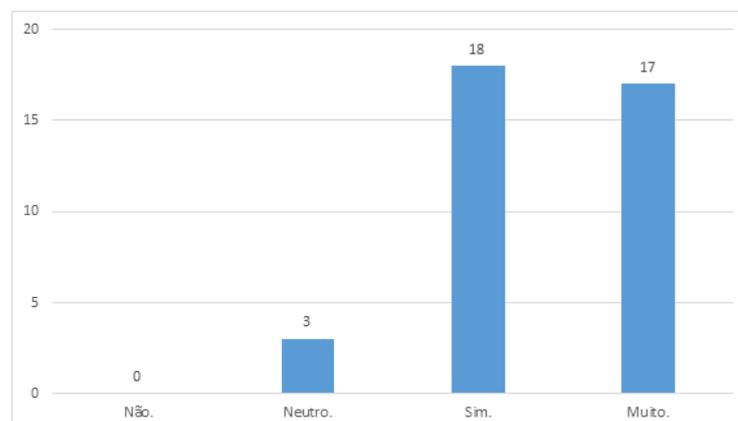


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 3, vemos que apenas 31,6% dos alunos avaliados, relacionam conceitos vistos nas aulas com o seu cotidiano, enquanto que os demais ou não conseguem, ou não são capazes de dizer se conseguem ou não. Este resultado é um estímulo para o professor procurar, cada vez mais, fazer aulas que dialoguem com o cotidiano do aluno, o uso de experimentos pode ajudar os alunos a fazerem essa ligação entre o que é estudado e sua vida.

4- O uso de experimentos de baixo custo nas aulas podem ser um meio de tornar a aula mais interessante/atrativa?

Gráfico 4 - Resultados questão 4.

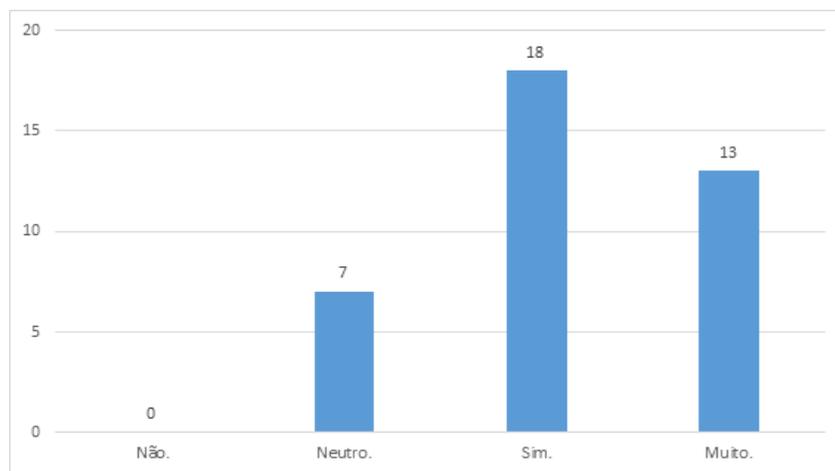


Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 4, mostra que 92% dos discentes avaliados, ou seja, a grande maioria, afirmam que o uso de experimentos de baixo custo em aulas, tornam as aulas mais interessantes. A partir desse resultado nos damos conta de como a aula convencional, aulas expositivas, não deve ser a única maneira de se trabalhar os conteúdos.

5- Após assistir a aula com experimentos de baixo custo, você considera que foi mais fácil aprender os conceitos com essa metodologia?

Gráfico 5 - Resultados questão 5.

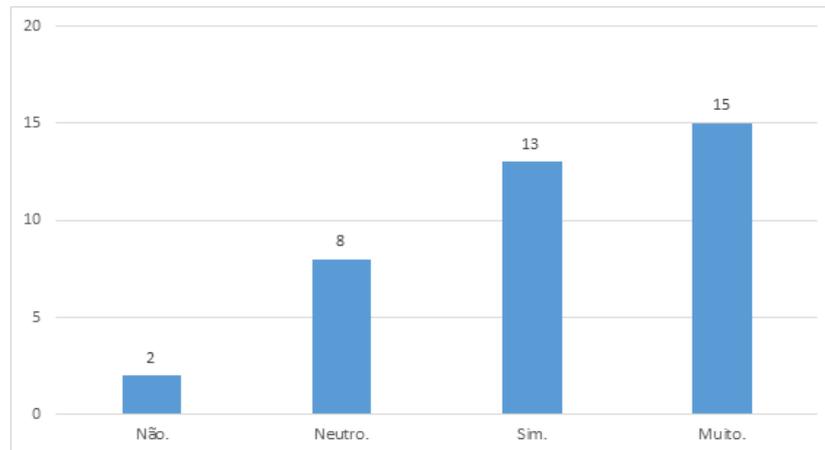


Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do Gráfico 5 constatamos que 81,6% dos discentes avaliados teve mais facilidade de compreender os conceitos, estudados em sala de aula, com o uso de experimentos de baixo custo. Tal dado é reforçado pelas teorias de Piaget e Vygotsky, respectivamente, onde o aluno aprende quando interage com o objeto de estudo (experimento) e o aluno aprende ao interagir com seus colegas (trabalho em grupos).

6- Você concorda que os professores devem sempre procurar metodologias alternativas (como os experimentos de baixo custo) em vez de continuar com o método tradicional de ensino?

Gráfico 6 - Resultados questão 6.

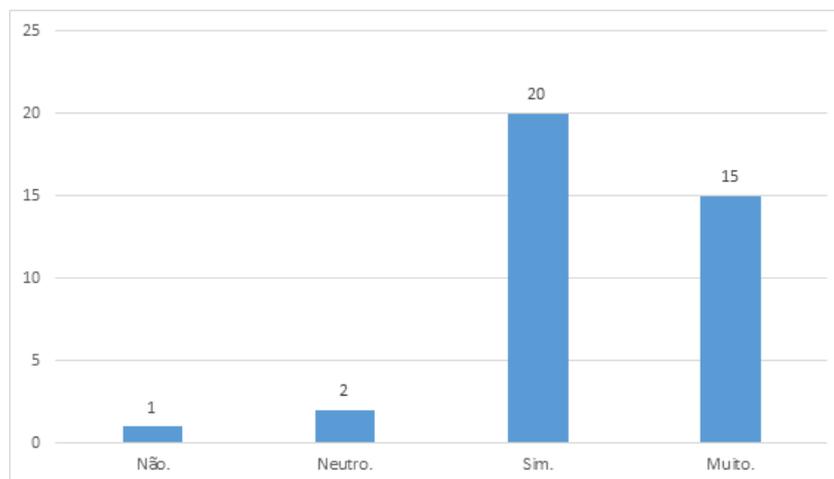


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 6, temos que 73,7% dos discentes avaliados concordam que o professor deve se valer de metodologias alternativas, como o uso de experimentos de baixo custo, em vez de continuar replicando o ensino conteudista.

7- Você deseja ter mais aulas que utilizem experimentos de baixo custo?

Gráfico 7 - Resultados questão 7.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, no Gráfico 7, temos que 92,1% dos alunos avaliados têm o desejo de assistir mais aulas com experimentos de baixo custo, como ferramenta para o ensino de Ciências/Física. Com essa abordagem o aluno pode atuar de maneira mais direta no processo de aprendizagem.

6.2 Resultados de aprendizagem

O presente Produto Educacional fez uso da abordagem POE, método composto por três etapas: Predizer, Observar e Explicar. Este ensino investigativo foi usado antes de qualquer tipo de explicação do conteúdo que seria abordado na experiência, assim os discentes puderam fazer suas previsões usando apenas seus conhecimentos prévios, como veremos neste tópico.

Os comentários feitos em sala pelos estudantes durante aplicação dos experimentos usando a abordagem POE, abordados no capítulo 4 desta dissertação, foram utilizados para construir os resultados de aprendizagem. A seguir temos os comentários dos alunos, feitos antes e após o uso do experimento, em cada um dos experimentos trabalhados.

É importante comentar, que os grupos formados quando usamos a estratégia POE, devem conter poucos alunos para que todos possam expressar suas opiniões, a razão deste trabalho ter poucos grupos é que sua aplicação ocorreu no período de ensino híbrido onde metade da turma assistia aula presencial e a outra assistia a vídeo-aulas. Mas caso o professor tenha uma turma numerosa deve dividi-la em um número maior de grupos.

Carrinho Movido a Bexiga

Nesta prática os alunos foram incitados a pensar devido a seguinte pergunta: “Após encher a bexiga e prender a saída de ar, o que acontece quando a soltamos a saída de ar?”. Os alunos se reuniram em grupos e deram as seguintes previsões do fenômeno:

- 1: “O carrinho se move, pois, o ar da bexiga o empurra para frente. ”
- 2: “O carrinho se move, pois quando a bexiga esvazia ele fica mais leve. ”
- 3: “O carrinho não se move, pois nada o empurra. ”

Ao observar as previsões anteriores percebemos que há diferentes níveis de alunos, quando se trata de aprendizagem. Existe aqueles, caso 1, que mesmo sem ter o conhecimento formal do fenômeno, conseguem prever de maneira lógica, a partir de seus conhecimentos prévios, como o fenômeno acontece. E existe aqueles alunos,

caso 3, que apenas seus conhecimentos prévios não são o bastante para que entendam como os fenômenos da natureza funcionam.

Após a realização da prática os alunos se reuniram novamente em seus grupos e tentaram explicar o fenômeno:

1: “O ar que a bexiga expulsa move o carrinho, semelhante ao que acontece com um foguete que se move graças a seu propulsor. ”

2: “A bexiga empurra o ar interno e este sai empurrando a bexiga para a frente. ”

3: “O ar quando sai da bexiga empurra o ar do ambiente para trás, este reage empurrando o carrinho para frente. ”

A partir das explicações anteriores percebemos que o uso dos experimentos, juntamente com a abordagem POE, foi eficaz para o ensino da terceira lei de Newton. A equipe que fez a previsão de que o carrinho não se moveria, pois nada o empurrava, logo percebeu, com o experimento que o carrinho se movia e passou a buscar uma explicação. Como vemos em: “O ar quando sai da bexiga empurra o ar do ambiente para trás, este reage empurrando o carrinho para frente. ”. Embora a explicação anterior contenha erros mostra um avanço em relação a etapa de previsão, nesse caso o professor deve mostrar através do conhecimento formal as contradições contidas na afirmação e auxiliar os alunos no processo de aprendizagem.

A terceira Lei de Newton não é simples de ser percebida por estudantes do ensino fundamental usando apenas um experimento simples como o Carrinho Movido à Bexiga. Foi preciso um gênio como Newton, para perceber a abrangência da terceira lei. O experimento utilizado instigou os alunos a refletirem sobre o comportamento físico do carrinho. Os comentários dados durante a explicação foram coerentes com o que foi observado, entretanto, não era esperado, que todos os alunos pudessem dar a explicação formalmente correta com base na terceira lei de Newton. O experimento aguçou a curiosidade dos alunos e os estimulou a pensarem em uma explicação coerente. O professor utilizou a oportunidade para trabalhar o conhecimento dos alunos ajudando-os a construir uma explicação formalmente correta.

Eletroímã

Nesta prática, como na anterior, os alunos foram incitados a pensar através de um questionamento que serviu de ponto de partida da Abordagem POE. Pergunta: “O que acontecerá com pequenos objetos metálicos, quando colocados próximos do eletroímã ligado as pilhas? ”. Em seus grupos, os discentes fizeram as seguintes previsões do experimento “eletroímã”:

1: “Energia elétrica passará pelo fio, mas não sabemos se isso afetará os objetos metálicos. ”

2: “Energia elétrica passará pelo fio e de alguma forma afetará os objetos próximos do conjunto. ”

Podemos perceber que os alunos de ambos os grupos já possuem uma noção de circuitos elétricos simples, embora o grupo um não tenha noção da relação entre corrente elétrica e campo magnético. O grupo dois embora não possua o conhecimento formal de campo magnético, através de seus conhecimentos prévios, conseguem prever que a corrente elétrica afetará de alguma forma objetos metálicos nas proximidades.

Após a realização da prática com o eletroímã os alunos voltaram a se reunir com seus respectivos grupos para juntos tentarem explicar como o fenômeno ocorreu. A seguir temos as explicações dos alunos sobre o experimento “eletroímã”:

1: “Quando o fio está ligado a pilha o conjunto funciona como um ímã. ”

2: “Quando o fio está conectado aos polos da pilha, o conjunto atrai os objetos metálicos, exatamente como um ímã. ”

É possível ver que após a observação do experimento os alunos de ambos os grupos perceberam a relação de corrente elétrica e campo magnético, mesmo que nesse momento ainda não saibam os termos científicos corretos, eles já têm a noção do fenômeno, o que servirá de motivação e base para que o ensino formal seja prosseguido.

A partir dos resultados obtidos com os comentários dos alunos, percebemos que o uso do Produto Educacional (Apêndice B) em conjunto com a abordagem POE se mostrou uma alternativa eficaz ao ensino tradicional. Os alunos mostraram interesse em descobrir como os experimentos funcionavam e o trabalho em grupo ajudou aqueles com mais dificuldade em entender fenômenos físicos, como os trabalhados em sala.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já foi mostrado ao longo desta dissertação, o ensino tradicional de Ciências/Física enfrenta dois grandes problemas, a falta de interesse dos discentes e a falta de estrutura de muitas escolas que não oferecem ambientes e ferramentas para uma formação científica. É necessário buscar novas metodologias para instigar os alunos a buscarem o conhecimento, dando maior protagonismo no processo de ensino. O objetivo deste trabalho, como já comentado no início da dissertação, foi criar uma lista de experimentos de baixo custo com pequenos roteiros, para auxiliar o professor em suas aulas de Ciências/Física. Esta metodologia foi apoiada no construtivismo de Piaget, no socioconstrutivismo de Vygotsky e na Física experimental.

Pode se constatar, analisando os dados do capítulo Resultados, que a maioria dos alunos gostam e acham importante as aulas de Ciências/Física, mas a forma que a disciplina é abordada em sala não atrai suas atenções, por esta razão, a maioria dos alunos preferem aulas práticas e alternativas como uma aula de experimentos de baixo custo.

A utilização da estratégia POE juntamente com os experimentos de baixo custo teve o resultado esperado de proporcionar aos alunos a oportunidade de construir seu próprio conhecimento ao prever e explicar com suas próprias palavras os experimentos trabalhados em sala. Apesar de ser aplicado apenas com dois experimentos, neste trabalho, a estratégia POE pode ser aplicada aos outros experimentos expostos nesta dissertação, além de outros experimentos que o professor possa vir a utilizar. Esta estratégia dialoga com o construtivismo de Piaget quando os alunos são postos para observar e interagir com o ambiente, e com o socioconstrutivismo de Vygotsky ao colocar os discentes em grupos para discussão.

Por fim, é importante o professor sempre buscar inovar na prática docente, utilizando estratégias e ferramentas variadas que possam tornar o ensino mais efetivo e atrativo para os alunos, desta forma evita-se a acomodação tanto do professor quanto dos alunos. O uso dos roteiros de experimentos de baixo custo juntamente com uma estratégia didática apropriada pode saciar essa necessidade de uma abordagem mais atrativa, principalmente para escolas que não tem laboratórios ou recursos apropriados.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, Jose de Pinho. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 174-182, ago. 2000.
- ANGELO, Daniel et al. **Almanaque Ciência em Show**. São Paulo: Master Pop, 2011.
- AXT, R. O papel da experimentação no ensino de Ciências. *In*: MOREIRA, M. A.; AXT, R. **Tópicos em ensino de Ciências**. Porto Alegre: Sagra, cap. 2, p. 79-89, 1991.
- BALEN, O.; NETZ, P.A. Aplicação da modelagem e simulação no ensino de modelos de sistemas gasosos. **Acta Scientiae**. [s. l], v. 7, n. 2, p. 29-39, 2005.
- BARBOSA, J. O. et al. Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, n. 1, p. 105-122, abr. 1999. v. 3.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais: matemática**. Brasília: MEC, 1997.
- FIDELIS, P. N. et. al. 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.
- GARTON, Alison F. **Social interaction and the development of language and cognition**. Hillsdale, U.S.A: Lawrence Erlbaum, 1992.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: mecânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. v. 1.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. v. 3.
- MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias da Aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: EPU, 2019.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 1: mecânica**. 4. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2002.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 3: eletromagnetismo**. 1. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1997.
- PIAGET, J. **Epistemologia Genética**. Petrópolis: Vozes, 1970.
- _____. **Psicologia e epistemologia: por uma teoria do conhecimento**. Rio de Janeiro: Forense, 1973.

_____. **A equilibração das estruturas cognitivas:** problema central do desenvolvimento. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

_____. **Psicologia da inteligência.** Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

_____. **As formas elementares da dialética.** São Paulo: Casa do Psicólogo, 1996.

_____. **Biologia e conhecimento:** ensaio sobre as relações entre as regulações orgânicas e os processos cognoscitivos. Petrópolis: Vozes, 1996.

_____. **A construção do real na criança.** São Paulo: Ática, 2001.

REGO, T. C. **Vygotsky:** uma perspectiva histórico-cultural da educação. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

RICARDO, E. C.; Custódio, J. F.; Rezende, M. F. J. A tecnologia como referência dos saberes escolares: perspectivas teóricas e concepções dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 135-147, 2007.

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 em Matemática) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I, Sears e Zemansky:** mecânica. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III, Sears e Zemansky:** eletromagnetismo. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

APÊNDICE A: QUESTIONÁRIO

Responda às seguintes questões com um dos números de 1 a 4, seguindo a legenda abaixo:

(1) Não.

(2) Neutro.

(3) Sim.

(4) Muito.

1- Você gosta das aulas de Ciências/Física?

()

2- Você considera o ensino de Ciências/Física importante para sua vida?

()

3- Nas suas aulas de Ciências/Física, você consegue relacionar os conceitos estudados com o seu dia a dia?

()

4- O uso de experimentos de baixo custo nas aulas podem ser um meio de tornar a aula mais interessantes/atrativas?

()

5- Após assistir a aula com os experimentos de baixo custo, você considera que foi mais fácil aprender os conceitos com essa metodologia?

()

6- Você concorda que os professores devem sempre procurar metodologias alternativas (como os experimentos de baixo custo) em vez de continuar com o método tradicional de ensino?

()

7- Você deseja ter mais aulas que utilizem experimentos de baixo custo?

()

APÊNDICE B: PRODUTO EDUCACIONAL



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

**MANUAL DE EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO:
PRODUTO EDUCACIONAL PARA O MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA**

**PEDRO RODRIGO DE SOUSA SANTOS
NILDO LOIOLA DIAS**

FORTALEZA – CE

2022

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------|-----|
| INTRODUÇÃO | 86 |
| ABORDAGEM POE | 87 |
| EXPERIMENTOS | 88 |
| CARRINHO MOVIDO A BEXIGA | 89 |
| LATA OBEDIENTE | 93 |
| LÂMPADA DE GRAFITE | 95 |
| ELETROÍMÃ | 98 |
| REFERÊNCIAS | 101 |

INTRODUÇÃO

Este manual tem a intenção de dar suporte aos professores de Física e seus alunos, através de uma amostra de experimentos de baixo custo que podem ser trabalhados em sala de aula, auxiliando a explicação e demonstração de determinados fenômenos físicos, e tornando a aula mais interessante para os discentes. O professor deve ter consciência que apenas o experimento não garantirá o êxito de sua aula, sem que antes seja pensada a estratégia didática que será usada em conjunto com estes experimentos.

A abordagem experimental pode ser usada em conjunto com a abordagem POE (Predizer, Observar e Explicar), este método é explicado no próximo tópico, fazendo com que o aluno tenha autonomia em seu processo de aprendizagem.

É importante ter em mente que este manual não tem a intenção de retratar vários experimentos de diferentes áreas da Física, mas instigar o professor a buscar novos experimentos ou até mesmo modificar os aqui expostos, de acordo com suas necessidades.

ABORDAGEM POE

A estratégia didática escolhida para trabalhar com os experimentos de baixo custo foi a abordagem POE (Predizer, Observar e Explicar), proposto por Nedelsky (1961) e por White e Gunstone (1992), uma abordagem usada para auxiliar na investigação de conceitos de Física. Este método é composto por três etapas (FIDELIS et al., 2019):

1- Predizer: No primeiro momento é proposto um problema pelo professor, diante de algum experimento, nesta etapa divide-se os alunos em pequenos grupos ou individualmente para que possam tecer hipóteses e teorias sobre o que ocorrerá, fazendo uso de seus conhecimentos prévios, importante perceber que nesta etapa o aluno não visualiza nem observa a evolução do experimento.

2- Observar: A segunda etapa consiste na manipulação do experimento pelo professor ou pelo próprio aluno para que o experimento seja observado. No decorrer desta etapa o aluno deverá observar se suas hipóteses coincidem com o ocorrido na realidade, se não, ocorrerá o conflito cognitivo gerando o “desequilíbrio” no processo de assimilação de conhecimento.

3: Explicar: Na etapa final, de acordo com a hipótese formulada, o aluno tentará explicar o fenômeno observado, nesta fase o professor atuará como mediador do processo, levando os alunos a respostas esperadas. É nesta etapa que acontecerá o “reequilíbrio”, ou seja, o conhecimento científico é adquirido de fato.

A maneira adequada de usar a Abordagem POE, é aplicar a abordagem antes de qualquer explicação do conteúdo que será abordado na experiência. Pois dessa maneira, os alunos poderão fazer suas previsões a partir apenas de seus conhecimentos prévios, instigando-os ao saber científico.

EXPERIMENTOS

Os experimentos abordados deste manual abordam fenômenos da Mecânica e do Eletromagnetismo, como especifica a tabela B-1 a seguir.

Tabela B-1 - Lista dos Experimentos abordados neste capítulo

| Área da Física | Experimentos | Conceitos estudados |
|------------------|--------------------------|--|
| Mecânica | Carrinho movido a bexiga | ➤ Princípio da ação e reação (terceira lei de Newton) |
| | Lata obediente | ➤ Conservação da energia mecânica. |
| Eletromagnetismo | Lâmpada de Grafite | ➤ Circuito Elétrico Simples ➤ Resistência ➤ Efeito Joule |
| | Eletroímã | ➤ Campo Magnético formado por cargas em movimento ➤ Atração Magnética |

CARRINHO MOVIDO A BEXIGA

FUNDAMENTOS

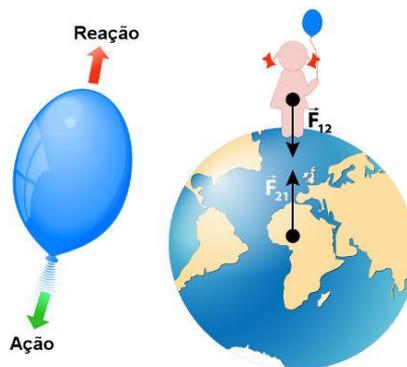
Em nosso cotidiano nos deparamos com várias situações onde corpos se movem, a área da Física que se preocupa com as causas desse movimento é a dinâmica. Isaac Newton fez uma grande contribuição ao mundo quando formulou suas leis do movimento, a partir desses estudos, hoje sabemos que para que haja uma alteração no movimento/velocidade de um corpo é preciso que uma força resultante não nula esteja atuando sobre ele.

Uma das leis que Newton formulou para o movimento dos corpos é o princípio da ação e reação. Esta lei diz que para cada ação (força) que um corpo 1 aplica em outro corpo 2 ($F_{1(2)}$), este reage com uma reação (força) sobre o corpo 1 ($F_{2(1)}$), onde o par de vetores ação e reação são de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, esta lei está resumida na Equação 1. O par de forças envolvidas na terceira lei de Newton são também de mesma natureza, e sempre, aplicadas em corpos diferentes.

$$F_{1(2)} = -F_{2(1)}, \quad (1)$$

Este conceito "princípio da ação e reação", terceira lei de Newton, é necessário para explicar os movimentos, por exemplo, de uma pessoa caminhando, de um automóvel, de um foguete, entre outros. Este também é o caso do movimento de uma bexiga cheia de ar que se esvazia, onde ela empurra o ar que está dentro e este sai fazendo-a se mover, como mostra a figura B-1.

Figura B-1: Exemplos de pares de forças de ação e reação.

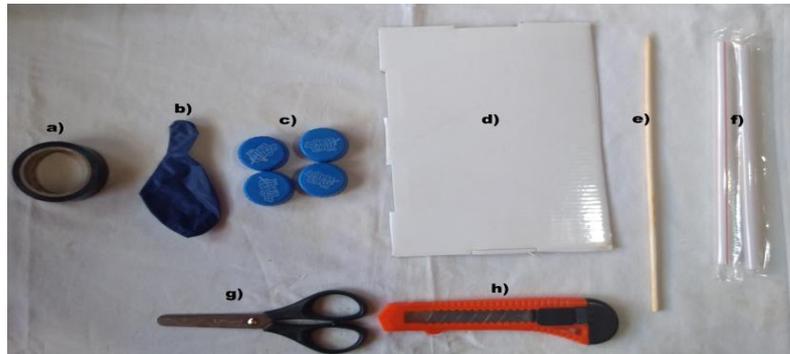


Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/terceira-lei-newton.htm>.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- a) uma fita adesiva;
- b) uma bexiga;
- c) quatro tampinhas de garrafa pet;
- d) um pedaço de papelão;
- e) um palito de churrasco;
- f) dois canudos de vitamina;
- g) uma tesoura;
- h) um estilete.

Figura B-2: Materiais usados no experimento “Carrinho movido a bexiga”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

PROCEDIMENTO

Passo 1: Criar o “motor” – Colocar a bexiga no canudo e prender com a fita adesiva (Figura B-3). É importante soprar o canudo para ter certeza que o ar não está escapando.

Figura B-3: Passo 1, criar o “Motor”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 2: Construir os eixos e fixar as rodas neles – Corta um canudo, de forma a ter um pedaço maior 10,5 cm e outro pedaço menor de 8,6 cm. Fazer o mesmo para o palito de churrasco, pedaço menor 12,2 cm e maior 14 cm. Fixar as rodas no palito, que deve ser colocado dentro dos pedaços de canudo como mostra a Figura B-4.

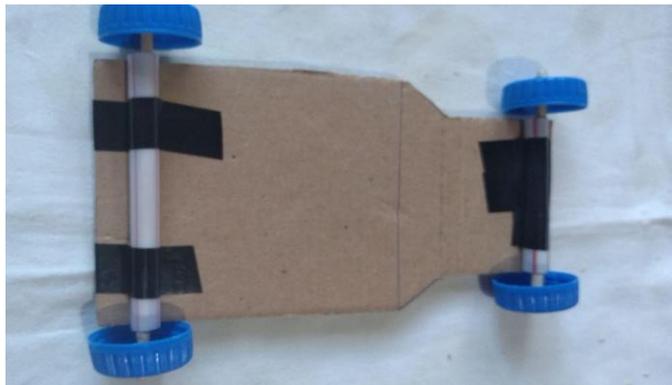
Figura B-4: Passo 2, construção dos eixos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 3: Fixar os eixos no carrinho – Pegar o papelão (corpo do carrinho), que deve estar cortado com a parte dianteira menor como mostra a Figura B-5. Fixar usando a fita os eixos, maior e menor, embaixo do papelão.

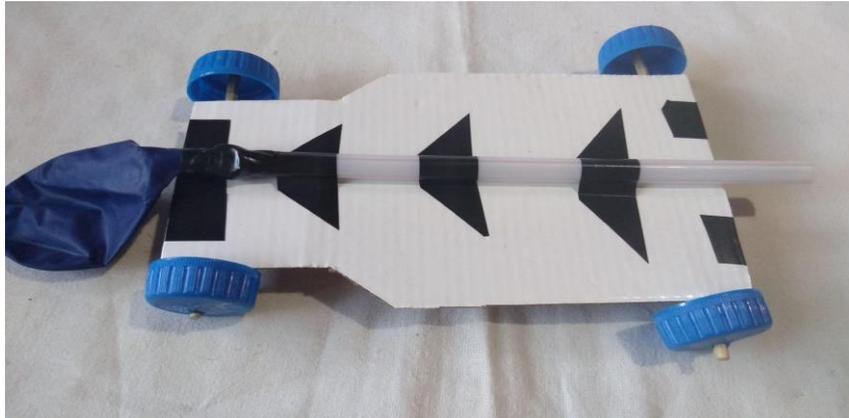
Figura B-5: Passo 3, fixar os eixos no corpo do carrinho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Passo 4: Fixar o “motor” no carrinho – Usando a fita, fixar o “motor” no carrinho, com a bexiga do lado menor (frente do carrinho) como ilustrado na Figura B-6.

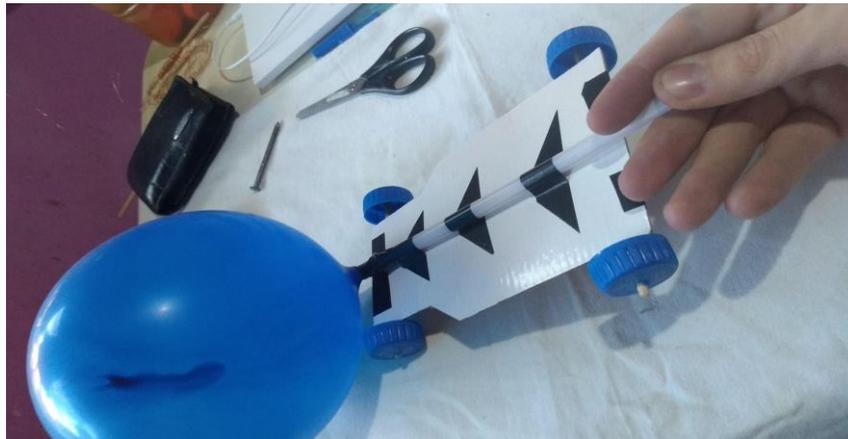
Figura B-6: Passo 4, fixar o “Motor” no carrinho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após esses passos, o carrinho está pronto, como ilustra a Figura B-7. Soprando o canudo, enchendo a bexiga, o carrinho entrará em movimento.

Figura B-7: Carrinho movido a bexiga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“Após encher a bexiga e prender a saída de ar, o que acontece com o carrinho quando soltamos a saída de ar?”

LATA OBEDIENTE

FUNDAMENTOS

Para que algo realize um trabalho é necessária energia. A partir do princípio da conservação da energia temos que: a energia é uma grandeza que pode ser convertida de uma modalidade para outra, mas jamais pode ser criada ou destruída. Logo podemos encontrar modalidades diferentes de energia em nosso meio como: energia mecânica, elétrica, eólica, térmica, entre outras.

Os conceitos de trabalho e energia são importantes para que possamos compreender fenômenos que só as leis de Newton não seriam o bastante para tal. Um exemplo de um fenômeno assim, seria uma flecha lançada por um arco, quando o arqueiro lança a flecha, o arco exerce uma força variável que depende da posição da flecha. Neste e em outros casos onde não temos forças constantes, não podemos nos valer das leis de Newton.

Em um sistema puramente mecânico, que não há formas de energia ligadas a fenômenos térmicos ou fenômenos eletromagnéticos, a conservação da energia resulta na conservação da energia mecânica. Onde a energia mecânica é a soma da energia cinética K com a energia potencial U (podendo ser gravitacional ou elástica). Matematicamente podemos ver a conservação da energia mecânica na Equação 2:

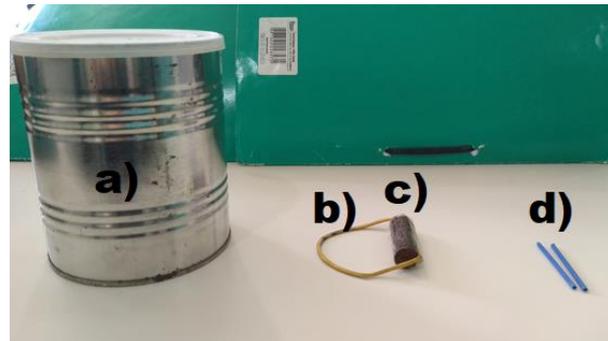
$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2, \quad (2)$$

Voltando para o exemplo da flecha lançada por um arco, compreendemos agora que, quando o arqueiro puxa a flecha no arco ele está acumulando energia potencial elástica, que será convertida em energia cinética quando a flecha for lançada do arco.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- a) uma lata de leite;
- b) uma liga (elástico);
- c) pesos ou algum tipo de objeto metálico;
- d) canudo.

Figura B-8: Materiais usados no experimento “Lata obediente”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

PROCEDIMENTO

Passo 1: Faça um pequeno furo no centro da tampa da lata e outro no centro do fundo.

Passo 2: Passe a liga pelo furo do fundo e o amarre a um pedaço do canudo para prender.

Passo 3: Estique a liga e, com uma fita adesiva, fixe um peso a ela.

Passo 4: Passe a outra ponta da liga pelo furo da tampa e amarre-a a outro pedaço de canudo, em seguida, tampe a lata.

Passo 5: Role a lata e veja o que acontece, figura B-9.

Figura B-9: Lata obediente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“O que acontecerá quando empurrarmos a “lata obediente” horizontalmente para a frente?”

LÂMPADA DE GRAFITE

FUNDAMENTOS

Chamamos de resistência elétrica a grandeza física que mensura a dificuldade de passar corrente elétrica por um circuito. O valor da resistência elétrica entre dois pontos pode ser calculado pela lei de Ohm (Equação 3):

$$R = \frac{V}{I}, \quad (3)$$

Na equação 60, R é a resistência, V o valor da diferença de potencial e I é o valor da corrente elétrica. Desta equação podemos perceber que quanto maior a resistência menor é a corrente.

Apesar de todo condutor possuir resistência elétrica, em um circuito é o resistor o dispositivo que tem a função de oferecer resistência. Esta resistência oferecida pelo resistor depende de suas dimensões e do material de que é feito, desta maneira podemos calcular a resistência de um resistor com a Equação 4:

$$R = \frac{\rho L}{A}, \quad (4)$$

onde ρ é a resistividade do material, na tabela B-2 temos os valores da resistividade de alguns materiais, L o comprimento do resistor e A é a área da seção transversal do resistor.

Tabela B-2 - Valores da resistividade em temperatura ambiente (20°C)

| Substância | | ρ ($\Omega \cdot m$) | Substância | | ρ ($\Omega \cdot m$) |
|-------------------|------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Condutores | | | Semicondutores | | |
| Metais | Prata | $1,47 \times 10^{-8}$ | Carbono puro (grafite) | $3,5 \times 10^{-5}$ | |
| | Cobre | $1,72 \times 10^{-8}$ | Germânio puro | 0,60 | |
| | Ouro | $2,44 \times 10^{-8}$ | Silício puro | 2.300 | |
| | Alumínio | $2,75 \times 10^{-8}$ | Isolantes | | |
| | Tungstênio | $5,25 \times 10^{-8}$ | Âmbar | 5×10^{14} | |
| | Aço | 20×10^{-8} | Vidro | $10^{10} - 10^{14}$ | |
| | Chumbo | 22×10^{-8} | Lucita | $> 10^{13}$ | |
| | Mercúrio | 95×10^{-8} | Mica | $10^{11} - 10^{15}$ | |
| | Ligas | Manganina (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%) | 44×10^{-8} | Quartzo (fundido) | 75×10^{16} |
| | | Constantan (Cu 60%, Ni 40%) | 49×10^{-8} | Enxofre | 10^{15} |
| Nicromo | | 100×10^{-8} | Teflon® | $> 10^{13}$ | |
| | | | Madeira | $10^8 - 10^{11}$ | |

Fonte: (Sears et al., vol. 3, 2016, p. 150).

Os resistores são necessários para reduzir a quantidade de corrente que passa por um circuito elétrico, evitando danos causados por curto-circuito. O efeito Joule nos diz que quando uma corrente passa por um condutor parte da energia elétrica é convertida em energia térmica, isso se deve ao atrito das partículas carregadas e o condutor. Essa energia por unidade de tempo, ou seja, potência, é dissipada na forma de calor e também pode emitir radiação visível.

A potência P pode ser medida, em termos da resistência R , pela Equação 5:

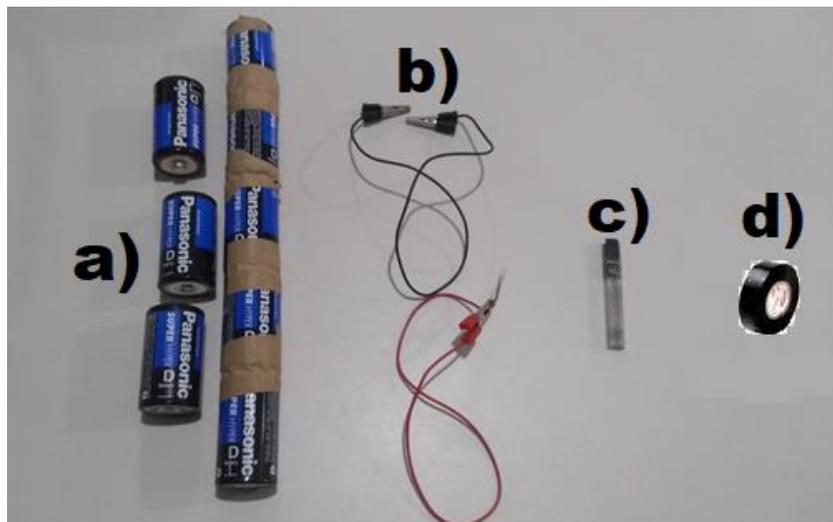
$$P = RI^2, \quad (5)$$

onde R é a resistência do resistor e I é a intensidade da corrente que passa pelo resistor R .

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- a) oito pilhas tipo D;
- b) fios de cobre com garra jacaré;
- c) grafite 0.5 mm;
- d) fita isolante.

Figura B-10: Materiais usados no experimento “Lâmpada de grafite”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

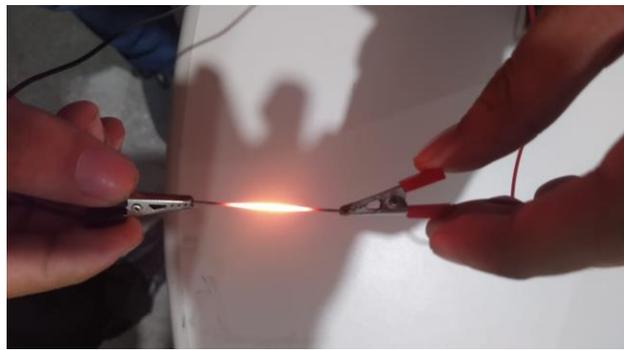
PROCEDIMENTO

Passo 1: Conecte as pilhas em série, conectando o polo positiva de uma com o polo negativo da seguinte, use a fita isolante nas conexões para o conjunto ficar firme.

Passo 2: Conecte os fios de cobre nas extremidades do conjunto de pilhas do passo anterior.

Passo 3: Conecte o grafite às garras de jacaré, com cuidado, fechando o circuito.

Figura B-11: Lâmpada de grafite.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“O que acontecerá ao grafite, quando o mesmo for ligado ao circuito (com as garras jacaré)? ”

ELETROÍMÃ

FUNDAMENTOS

O eletromagnetismo é o ramo da física que estuda os fenômenos da eletricidade e do magnetismo de maneira unificada. A partir desse conceito: cargas elétricas em movimento geram um campo magnético, assim como uma variação do fluxo magnético gera uma corrente elétrica.

Podemos determinar o campo magnético gerado por uma corrente que flui por uma espira de raio a , a partir da lei de Biot-Savart, neste caso o campo magnético terá apenas componente no eixo x pois as contribuições no eixo y se anulam.

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}, \quad (6)$$

onde B_x é o campo magnético gerado em um ponto P, que dista x do centro da espira, por uma corrente elétrica I que percorre a espira.

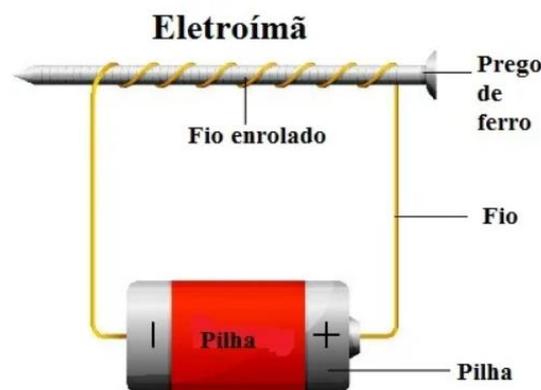
Como o campo gerado por uma espira é bem pequeno, na maioria das vezes, podemos nos valer de uma bobina composta por N espiras, e agora o campo magnético pode ser calculado através da Equação 7:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}, \quad (7)$$

No centro da bobina, onde o valor de x é zero, a Equação 7 se reduz a:

$$B_x = \frac{\mu_0 N I}{2a}, \quad (8)$$

Figura B-12: Exemplo de um eletroímã.

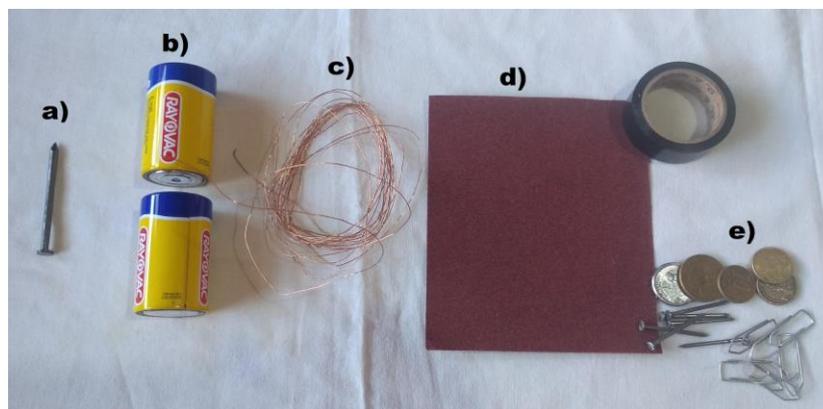


Um eletroímã é construído usando um material ferromagnético e um fio condutor, com o fio damos várias voltas no material formando uma bobina, quando o fio condutor for ligado a uma fonte de tensão a bobina gera um campo magnético e este campo faz com que o material se torne um eletroímã, como o da figura B-12.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- a) um prego grande;
- b) duas pilhas tipo D (grandes);
- c) um pouco de fio esmaltado que pode ser encontrado dentro de motores velhos;
- d) um pedaço de lixa (aquelas utilizadas para lixar paredes);
- e) materiais metálicos como: moedas, clips e papel, pregos, etc;
- f) materiais não metálicos como: tampinha de plástico, algodão, etc.

Figura B-13: Materiais usados no experimento “Eletroímã”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

PROCEDIMENTO

Passo 1: Enrole o fio de cobre em volta do prego, deixando sobrando uns 20 cm nas pontas do prego, daí comece a enrolar, o ideal é fazer no mínimo duas camadas de voltas em torno do prego, para que fique bonito, sem nenhuma falha e para aumentar o efeito.

Passo 2: Agora lixe as pontas do fio a fim de tirar toda a parte esmaltada e deixar o fio exposto.

Passo 3: Coloque as duas pilhas em linha, tendo o cuidado de colocar a ponta positiva de uma tocando a base negativa da outra. Para manter as duas pilhas unidas, fixe-as com fita isolante. Fixe uma extremidade do fio que você deixou sobrando no polo positivo de uma das pilhas e a outra extremidade do fio no polo negativo da outra pilha (base da outra pilha).

Passo 4: Após realizar as ligações do prego com as pilhas você poderá aproximar de alguns materiais como moedas, limalhas de ferro, pregos e observar o que acontecerá.

Figura B-14: Eletroímã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionamento usado na primeira etapa da abordagem POE

“O que acontecerá com pequenos objetos metálicos, quando colocados próximos do eletroímã ligado as pilhas? ”

REFERÊNCIAS

ANGELO, Daniel et al. **Almanaque Ciência em Show**. São Paulo: Master Pop, 2011.

BALEN, O.; NETZ, P.A. Aplicação da modelagem e simulação no ensino de modelos de sistemas gasosos. **Acta Scientiae**. [s. l], v. 7, n. 2, p. 29-39, 2005.

FIDELIS, P. N. et. al. 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.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: mecânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. v. 1.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. v. 3.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 1: mecânica**. 4. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2002.

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

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I, Sears e Zemansky: mecânica**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III, Sears e Zemansky: eletromagnetismo**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.