



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RAYLLA CLARA MOREIRA BRILHANTE

EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

CARAÚBAS

2025

RAYLLA CLARA MOREIRA BRILHANTE

EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Zenner Silva Pereira

CARAÚBAS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B857e Brilhante , Raylla Clara Moreira.
Experimentos de baixo custo para o ensino de
ciências / Raylla Clara Moreira Brilhante . -
2025.
62 f. : il.

Orientador: Zenner Silva Pereira .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Ensino de ciências . 2. Física. 3.
Experimentos de baixo custo . 4. Aprendizado
prático. I. Pereira , Zenner Silva, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Sarah Freire Bezerra
CRB: 15/1052

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RAYLLA CLARA MOREIRA BRILHANTE

EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 20 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Zenner Silva Pereira, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Ana Tereza de Abreu Lima, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Pedro Neri Bandeira de Souza, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

Dedico esse trabalho à minha avó, Gracinha Brilhante, que sempre me apoiou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me sustentar em cada etapa desta jornada. À minha família, em especial à minha avó, Gracinha Brilhante, e aos meus pais, Raniere Brilhante e Melissa Maia, por sempre me apoiarem e incentivarem em minha vida acadêmica.

Agradeço ao meu orientador, Zenner, por sua orientação, paciência e pelos conhecimentos compartilhados ao longo desse trabalho.

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

RESUMO

O presente estudo investiga a viabilidade de experimentos de baixo custo no ensino de ciências, com foco na física. O objetivo foi identificar experimentos de baixo custo que possam ser aplicados efetivamente no ensino de ciências. Foram realizados cinco experimentos práticos: bexigas eletricamente carregadas, lente d'água e queda livre utilizando o aplicativo VidAnalysis, propagação de calor por condução e propagação de calor por convecção, todos desenvolvidos com materiais acessíveis. Esses experimentos demonstraram conceitos fundamentais, como a interação entre cargas elétricas, refração da luz, movimento em queda livre, condução térmica e a convecção térmica, promovendo uma conexão entre teoria e prática. Os resultados indicam que os experimentos de baixo custo são viáveis e eficazes para tornar o ensino de ciências mais dinâmico. Conclui-se que os experimentos de baixo custo são uma ferramenta valiosa para superar limitações financeiras, facilitando o entendimento dos fenômenos físicos e ampliando o conhecimento científico de forma acessível e prática.

Palavras-chave: ensino de ciências; física; experimentos de baixo custo; aprendizado prático.

ABSTRACT

This study investigates the feasibility of low-cost experiments in science education, focusing on physics. The objective was to identify low-cost experiments that can be effectively applied in science education. Five practical experiments were carried out: electrically charged balloons, water lenses and free fall using the VidAnalysis application, heat propagation by conduction and heat propagation by convection, all developed with accessible materials. These experiments demonstrated fundamental concepts, such as the interaction between electric charges, light refraction, free fall motion, thermal conduction and thermal convection, promoting a connection between theory and practice. The results indicate that low-cost experiments are feasible and effective in making science education more dynamic. It is concluded that low-cost experiments are a valuable tool for overcoming financial limitations, facilitating the understanding of physical phenomena and expanding scientific knowledge in an accessible and practical way.

Keywords: science education; physics; low-cost experiments; hands-on learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura atômica da carga elétrica.....	19
Figura 2 - Balança de torção de Coulomb.	19
Figura 3 - Forças de atração e repulsão entre cargas elétricas.....	20
Figura 4 - Processo de eletrização por contato.	21
Figura 5 - Processo de eletrização por atrito.	22
Figura 6 - Processo de eletrização por indução.	22
Figura 7 - Refração da luz em canudos submersos.	23
Figura 8 - Possibilidades de refração da luz.	25
Figura 9 - Tipos de lentes convergentes e divergentes.....	27
Figura 10 - Representação da tensão superficial da água.	28
Figura 11 - Experimento de Galileu na Torre de Pisa.	29
Figura 12 - Ilustração gráfica entre posição e tempo durante a queda livre.	32
Figura 13 - Ilustração gráfica entre velocidade e tempo durante a queda livre.....	32
Figura 14- Parte superior da tela inicial do aplicativo.....	33
Figura 15 – Parte inferior da tela inicial do aplicativo.	33
Figura 16 - Painel com um cabo de metal.....	34
Figura 17 - Chama da vela.....	36
Figura 18 – Transferência de calor por radiação em uma fogueira.	36
Figura 19 - Processo de eletrização da bexiga por atrito com o cabelo.....	38
Figura 20 – Bexiga amarela neutra amarrada no cordão.	39
Figura 21 – As bexigas azul e vermelha eletrizadas foram aproximadas.....	39
Figura 22 - Formação da argola de arame utilizando um lápis como suporte para a criação da lente d'água.	40
Figura 23 – Formação da lente d'água após a imersão da argola no recipiente com água.....	41
Figura 24 - Importação e nomeação do vídeo no aplicativo VidAnalysis.....	42
Figura 25 - Marcação dos pontos de queda da bola e digitação da distância real.	42
Figura 26 – Ajuste do plano cartesiano no aplicativo VidAnalysis.	43
Figura 27 - Moldagem dos pregos no palito de madeira e fio de cobre.	44
Figura 28 - Retirada dos moldes e adição do papel de alumínio.	44
Figura 29 - Montagem final do experimento com as velas posicionadas.....	45
Figura 30 - Velas acesas para observações.....	45
Figura 31 - Cortes para retirar a parte superior e inferior da latinha.	46

Figura 32 – Moldagem do círculo no retângulo de latinha.....	46
Figura 33 - Círculo dividido em 8 partes iguais.	47
Figura 34 - Catavento e linha amarrada ao fósforo.	47
Figura 35- Suporte com o catavento e velas.....	47
Figura 36 - Velas acesas no suporte.	48
Figura 37 - Atração entre a bexiga verde carregada (negativa) e a bexiga amarela neutra.....	49
Figura 38 – Repulsão entre as bexigas eletrizadas.	50
Figura 39 - Ampliação das letras com a lente d'água.	51
Figura 40- Pontos obtidos na análise.....	53
Figura 41 - Gráfico da posição em função do tempo.	54
Figura 42 - Pontos coletados na análise.....	55
Figura 43 - Gráfico da velocidade em função do tempo.	56
Figura 44 – O papel alumínio queimado na extremidade do palito de madeira e os pregos do fio de cobre caídos após absorverem calor.	58
Figura 45 - Catavento girando devido ao aquecimento das velas.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Índices de refração dos meios.	24
Tabela 2 - Coeficientes de condutibilidade térmica de alguns materiais.	35
Tabela 3 - Dados da queda livre da bola de papel.	52

LISTA DE SÍMBOLOS

π	Pi
ε	Epsilon
θ	Theta
Δ	Delta
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	Eletricidade	18
3.1.1	Cargas elétricas	18
3.1.2	Lei de Coulomb.....	19
3.1.3	Processos de eletrização.....	21
3.1.3.1	Eletrização por contato	21
3.1.3.2	Eletrização por Atrito.....	21
3.1.3.3	Eletrização por indução	22
3.2	Óptica	23
3.2.1	Refração	23
3.2.2	Lentes	25
3.2.3	Tensão superficial da água.....	27
3.3	Mecânica clássica	28
3.3.1	Queda livre	28
3.3.2	Equações do movimento de queda livre	29
3.3.2.1	Equação da velocidade em função do tempo.....	30
3.3.2.2	Equação da posição em função do tempo	30
3.3.2.3	Equação do tempo de queda	30
3.3.2.4	Equação de Torricelli	31
3.3.3	Representações gráficas do movimento de queda livre	31
3.3.3.1	Gráfico da posição em função do tempo	31
3.3.3.2	Gráfico da velocidade em função do tempo	32
3.3.4	Aplicativo VidAnalysis.....	32
3.4	Termodinâmica.....	33

3.4.1	Formas de propagação de calor.....	33
3.4.1.1	Condução	34
3.4.1.2	Convecção.....	35
3.4.1.3	Radiação.....	36
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	38
4.1	Experimento 1: Bexigas eletricamente carregadas.....	38
4.2	Experimento 2: Lente d'água	40
4.3	Experimento 3: Queda livre utilizando o aplicativo VidAnalysis.....	41
4.4	Experimento 4: Propagação de calor por condução	43
4.5	Experimento 5: Propagação de calor por convecção.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1	Experimento 1: Bexigas eletricamente carregadas.....	49
5.2	Experimento 2: Lente d'água	50
5.3	Experimento 3: Queda livre usando o aplicativo VidAnalysis.....	52
5.4	Experimento 4: Propagação de calor por condução	57
5.5	Experimento 5: Propagação de calor por convecção.....	58
6	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O ensino de ciências desempenha um papel essencial na formação dos alunos, em especial na área da física, permitindo estudar e compreender os fenômenos naturais. A física é uma das disciplinas da ciência que proporciona uma base teórica e prática para entender os conceitos estudados em mecânica clássica, termodinâmica, eletromagnetismo e dentre outros. Contudo, a qualidade desse ensino é comprometida devido às restrições financeiras, visto que a disponibilidade dos materiais e equipamentos necessários para realizar os experimentos práticos é limitada. Diante dessa situação, torna-se essencial buscar alternativas viáveis para o ensino prático.

Nesse contexto, a perspectiva principal desse trabalho são os experimentos de baixo custo como uma alternativa viável e acessível para o ensino de ciências, com o objetivo de amenizar as dificuldades encontradas. Esses experimentos são desenvolvidos utilizando materiais acessíveis e encontrados no dia a dia. Por exemplo, ao realizar um experimento usando bexigas eletricamente carregadas, os alunos não apenas compreendem as cargas elétricas e suas propriedades, mas também têm acesso ao ensino prático de qualidade. Ao realizar essas atividades práticas de baixo custo, esses experimentos tornam-se um recurso importante para o ensino de ciências e aprendizado.

Conforme Alves (2024), as atividades práticas quando desenvolvidas como investigação, aproximam o ensino de ciências do trabalho científico, integrando teoria e prática de forma complementar.

Visando abordar a problemática de como desenvolver e implementar experimentos de baixo custo que sejam eficazes para o ensino de ciências, considerando a necessidade de experiências práticas de qualidade aos alunos, essa pesquisa justifica-se pela busca de metodologias que ofereçam atividades práticas de qualidade sem prejudicar o ensino.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é identificar experimentos de baixo custo que possam ser aplicados efetivamente no ensino de ciências. De forma mais específica, investigar os materiais e procedimentos necessários para a realização dos experimentos de baixo custo, assegurando que sejam acessíveis; descrever procedimentos experimentais detalhados para auxiliar na execução dos experimentos, visando facilitar a compreensão e a prática e a executar os experimentos propostos de acordo com os procedimentos estabelecidos, coletando dados e observações que permitam avaliar a eficácia do aprendizado.

Desse modo, serão discutidos os conceitos de física presentes nos seguintes experimentos: bexigas eletricamente carregadas, lente d'água, queda livre usando o aplicativo

VidAnalysis e propagação de calor por condução convecção. Esses experimentos utilizam materiais acessíveis, proporcionando uma abordagem prática, assim como também entender os conceitos e cálculos dos fenômenos físicos.

Ao aplicar esses experimentos de baixo custo no ensino de ciências os conceitos teóricos de física tornam-se mais reais para os alunos. Essas atividades não apenas proporcionam um aprendizado mais acessível, como também estimulam o interesse e entendimento dos fenômenos físicos. Assim, os experimentos propostos neste trabalho visam facilitar o entendimento dos conceitos de eletricidade, óptica, mecânica clássica e termodinâmica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- O objetivo geral desse trabalho foi identificar experimentos de baixo custo que possam ser aplicados efetivamente no ensino de ciências.

2.2 Objetivos específicos

- Investigar os materiais e procedimentos necessários para a realização dos experimentos de baixo custo, assegurando que sejam acessíveis;
- Descrever procedimentos experimentais detalhados para auxiliar na execução dos experimentos, visando facilitar a compreensão e a prática;
- Executar os experimentos propostos de acordo com os procedimentos estabelecidos, coletando dados e observações que permitam facilitar o aprendizado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordados os conceitos físicos associados a cada experimento, com o objetivo de entender e analisar os princípios físicos envolvidos nos experimentos propostos, estabelecendo uma conexão entre a teoria e a prática.

3.1 Eletricidade

3.1.1 Cargas elétricas

A eletrostática é responsável por estudar as cargas elétricas em repouso, sendo essencial para entender como essas cargas influenciam diferentes sistemas. No contexto do experimento com bexigas eletricamente carregadas, é possível observar diretamente os princípios de atração e repulsão entre cargas elétricas, proporcionando um experimento de baixo custo que explica conceitos teóricos essenciais de eletricidade.

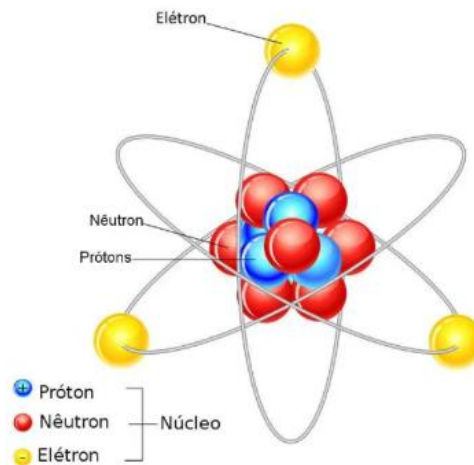
Para compreendermos o experimento de bexigas carregadas precisamos do conceito de carga elétrica e suas propriedades. “A carga elétrica é propriedade intrínseca das partículas elementares de que são feitos todos os materiais, incluindo o vidro, o plástico, a seda e a lã.” (Halliday, Resnick & Walker, 2023, p.2).

Para entender melhor como as cargas elétricas se comportam, podemos recorrer à teoria de Benjamin Franklin. Segundo Franklin, quando objetos estão em contato íntimo, eles possuem uma quantidade de cargas elétricas que pode ser transferida de um para outro. Quando isso acontece, um objeto fica com uma deficiência de carga enquanto o outro acaba com um excesso de cargas, sendo que o excesso de cargas em um é igual à deficiência do outro. Franklin descreveu essas cargas como positivas ou negativas, explicando que objetos com sinais iguais se repelem e com sinais opostos se atraem. Um objeto que não é carregado negativamente nem positivamente é classificado como neutro (Tipler & Mosca, 2009).

A estrutura atômica pode ser descrita em termos de três partículas: o próton, que possui carga positiva; o elétron, que possui carga negativa; e o nêutron, que não tem carga elétrica. Prótons e nêutrons formam o núcleo do átomo, que é muito pequeno e denso, enquanto os elétrons se distribuem ao redor do núcleo, a distâncias relativamente grandes. Os elétrons são mantidos no átomo por forças de atração exercidas pelo núcleo positivamente carregado (Young & Freedman, 2015).

A figura 1 ilustra como essa estrutura atômica está organizada, destacando o núcleo composto por nêutrons e prótons, com os elétrons distribuídos ao redor dele.

Figura 1- Estrutura atômica da carga elétrica.

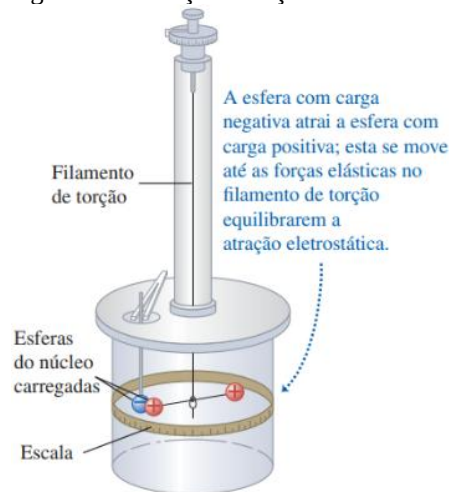


Fonte: Mariane Mendes (s.d.).

3.1.2 Lei de Coulomb

Em 1784, Charles Augustin de Coulomb investigou as forças de interação entre partículas carregadas usando uma balança de torção semelhante ao dispositivo usado por Cavendish para estudar a força gravitacional, que é significativamente mais fraca que a força elétrica (Young & Freedman, 2015).

Figura 2 - Balança de torção de Coulomb.



Fonte: Young & Freedman (2015).

A figura 2 mostra a balança de torção usada por Coulomb para verificar o módulo de força elétrica entre as partículas carregadas. Podemos observar que a esfera com carga negativa atrai a esfera com carga positiva e o movimento é equilibrado pelas forças elásticas.

Na conclusão deste experimento, Coulomb descreveu a lei que determina o módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes, conhecida como Lei de Coulomb. Essa lei pode

ser definida segundo Young & Freedman (2015, p. 9) como: “o módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas”.

Matematicamente, essa definição pode ser expressa pela equação:

$$\vec{F} = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}, \quad (1)$$

em que $\vec{F}$ é o módulo da força elétrica, q_1 e q_2 são as cargas puntiformes, r é a distância entre elas e k é a constante de proporcionalidade. A constante k também pode ser escrita como:

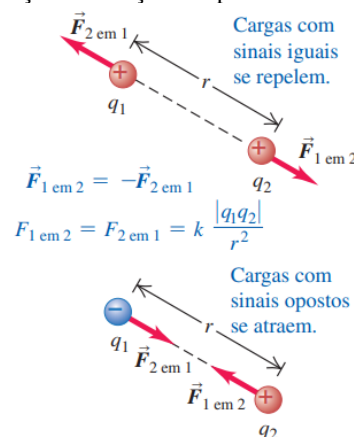
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}, \quad (2)$$

onde ϵ_0 é a constante elétrica e tem o valor igual a $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$. Com isso, a lei de Coulomb é frequentemente escrita na forma:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}. \quad (3)$$

Além disso, sabemos que cargas de sinal igual se repelem, enquanto cargas de sinais opostos se atraem, como mostra na figura abaixo.

Figura 3 - Forças de atração e repulsão entre cargas elétricas.



Fonte: Young & Freedman (2015).

A força elétrica entre as cargas q_1 e q_2 com sinais iguais positivos é repulsiva, fazendo com que uma se afaste da outra; o mesmo aconteceria se os sinais fossem negativos. Isso ocorre porque a direção da força entre duas cargas depende do sinal das cargas envolvidas, como explica a lei de Coulomb. Se ambas são negativas ou positivas, a força entre elas é de repulsão. No entanto, quando as cargas possuem sinais opostos (um positivo e um negativo), a força é

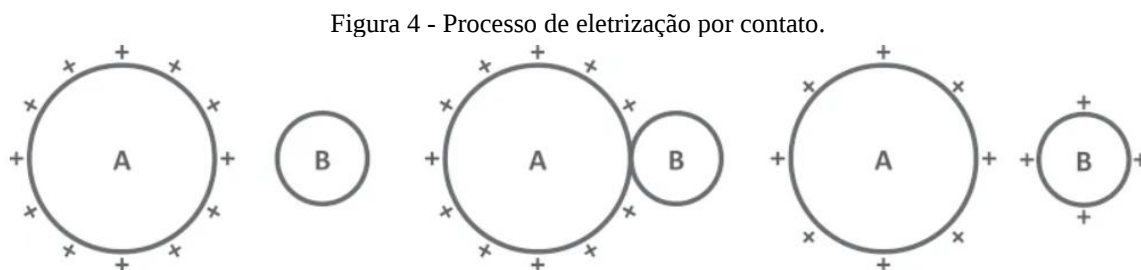
atrativa, fazendo com as cargas se aproximem. Esse comportamento obedece a terceira lei de Newton, segundo a qual as forças de ação e reação entre as cargas possuem mesma intensidade, porém sentidos contrários.

3.1.3 Processos de eletrização

São por meio dos processos de eletrização que um corpo pode adquirir cargas elétricas. Esses processos ocorrem devido ao movimento de elétrons, visto que os prótons permanecem fixos no núcleo. Existem três tipos de processos de eletrização: por contato, por atrito e por condução. Cada processo desse ocorre de maneira diferente.

3.1.3.1 Eletrização por contato

Esse processo de eletrização ocorre quando cargas elétricas são transferidas de um corpo para outro por meio do contato físico. Em outras palavras, é quando um corpo neutro adquire carga elétrica ao entrar em contato com um corpo já carregado, conforme ilustrado na figura 4.



Fonte: Pâmella Raphaella Melo (s.d.).

Na primeira parte da figura 4, temos dois corpos A e B. O corpo A está carregado positivamente, com uma deficiência de elétrons. Já o corpo B está neutro, com o mesmo número de prótons e elétrons. Na segunda parte, quando o corpo A entra em contato com corpo B, os elétrons livres do corpo B são atraídos pelo corpo A devido à sua carga positiva. O corpo B perde elétrons para o ambiente. Na terceira parte, após o contato, o corpo A continua carregado positivamente, pois sua deficiência de elétrons não foi compensada. O corpo B perdeu elétrons, assim adquirindo carga positiva. Ambos os corpos ficam carregados positivamente.

3.1.3.2 Eletrização por Atrito

A eletrização por atrito é um processo quando as cargas elétricas são transferidas de um corpo para outro por meio do atrito entre dois materiais diferentes. Esse fenômeno ocorre

quando dois materiais são esfregados um no outro, resultando na transferência de elétrons de um material para outro, como mostrado na figura 5.

Figura 5 - Processo de eletrização por atrito.



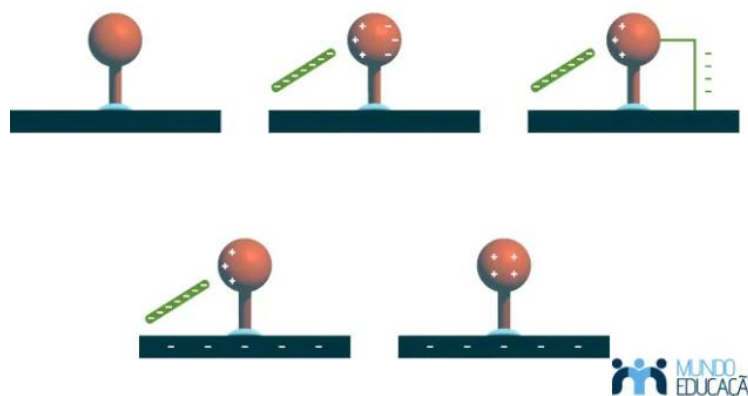
Fonte: Pâmella Raphaella Melo (s.d.).

Na primeira etapa da figura 5, temos um pano sendo esfregado em um pedaço de madeira. Durante esse atrito, elétrons são transferidos do pano para a madeira. Na segunda etapa, o pedaço de madeira que foi atritado ficou carregado negativamente devido ao ganho de elétrons e está atraindo pequenos pedaços de papel.

3.1.3.3 Eletrização por indução

A eletrização por indução ocorre quando as cargas são distribuídas de um corpo neutro (induzido) por meio da aproximação de um corpo carregado (indutor), sem que haja contato direto entre eles. Nesse processo, os prótons permanecem fixos no núcleo, enquanto os elétrons se movem. Quando o indutor (corpo carregado) é aproximado do objeto neutro, os elétrons são repelidos para o lado mais distante do indutor, enquanto o lado mais próximo fica com cargas positivas. A figura 6 ilustra as etapas do processo de eletrização.

Figura 6 - Processo de eletrização por indução.



Fonte: Pâmella Raphaella Melo (s.d.).

Na primeira etapa, a esfera (induzida) está neutra. Na segunda etapa, um bastão carregado negativamente (indutor) é aproximado da esfera. Os elétrons da esfera são repelidos para o lado mais distante do bastão, enquanto o lado mais próximo fica com um excesso de cargas positivas. Na terceira etapa, a esfera é conectada a um fio terra, permitindo que os elétrons repelidos sejam transferidos para a terra, deixando a esfera com um excesso de cargas positivas. Na quarta parte, o fio terra é removido, porém o bastão ainda está próximo, mantendo a separação de cargas na esfera. Na quinta etapa, o bastão é afastado da esfera, ela permanece carregada positivamente.

3.2 Óptica

3.2.1 Refração

A refração é um fenômeno óptico que ocorre quando a luz atravessa uma superfície que separa dois meios diferentes. Se o raio de luz não incide perpendicularmente à interface, sua direção de propagação muda (Halliday, Resnick & Walker, 2016). Por exemplo, ao observar dois canudos dentro de um copo de água, como mostrado na figura 7, podemos notar que a luz passa de um meio (ar) para outro de diferente densidade (água), mudando de velocidade e direção, fazendo com que os canudos tenham uma aparência de quebrados devido ao desvio da luz.

Figura 7 - Refração da luz em canudos submersos.



Fonte: Rafael C. Asth (s.d.).

O índice de refração (n) é definido pela relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz do meio (v), sendo representado pela seguinte equação:

$$n = \frac{c}{v} . \quad (4)$$

Segundo Young & Freedman (2016), a luz se propaga mais devagar em um meio qualquer do que no vácuo, o que faz com que o valor do índice de refração seja maior que 1 ($n > 1$) em qualquer meio material. No vácuo, onde a luz atinge sua velocidade máxima, n é igual a 1. Como o índice de refração é calculado pela razão entre duas velocidades, ele é um número adimensional, isto é, não possui unidade de medidas.

Por outro lado, Araújo e Killner (2023) explicam os metamateriais podem exibir um índice de refração negativo ($n < 0$). Esses materiais são formados por arranjos de pequenos circuitos elétricos, que imitam propriedades eletromagnéticas específicas. Nesses casos, a luz não é apenas desviada, mas também inverte o sentido de sua trajetória, desviando-se para o mesmo lado da incidência.

A tabela 1 apresenta os índices de refração de alguns meios. Podemos notar que quanto maior o índice de um meio, menor será a velocidade da luz no meio.

Tabela 1- Índices de refração dos meios.

Meio	Índice
Vácuo	1
Ar	1,00029
Água	1,33
Álcool etílico	1,36
Vidro de altíssima dispersão	1,89
Diamante	2,42

Fonte: Autoria própria (2024).

O fenômeno de refração é determinado por duas leis essenciais:

1. Primeira Lei de Refração: Essa lei estabelece que o raio incidente, o raio refratado e a normal à superfície no ponto de incidência estão no mesmo plano, ou seja, os planos de incidência e de refração coincidem (Young & Freedman, 2015).
2. Segunda Lei de Refração: O raio refratado está no plano de incidência e forma um ângulo de refração (θ_2) que se relaciona ao ângulo de incidência (θ_1) pela equação:

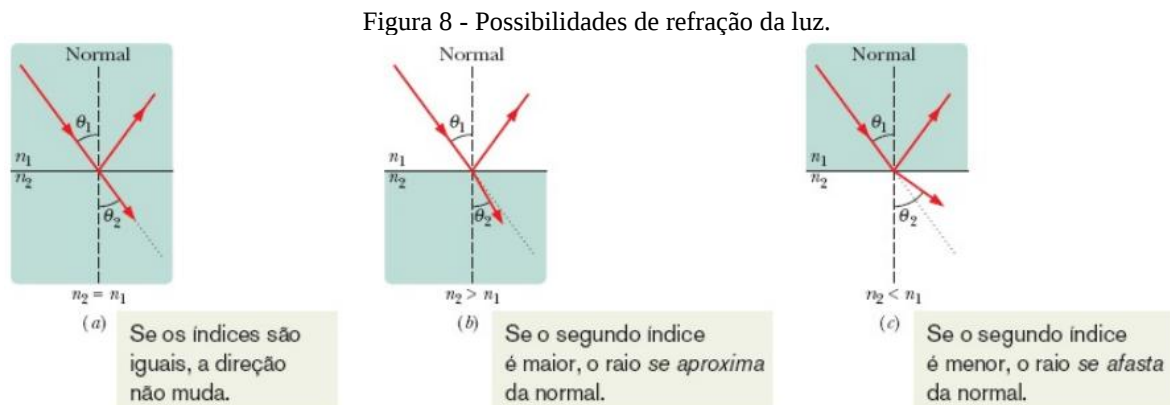
$$n_2 \text{ sen} \theta_2 = n_1 \text{ sen} \theta_1 . \quad (5)$$

Nessa equação, n_1 e n_2 são constantes adimensionais chamadas índices de refração, que variam conforme o meio em que a luz se propaga. Essa relação é conhecida como a Lei de Snell (Halliday, Resnick & Walker, 2016). A equação 5 pode ser reescrita também como:

$$\text{sen} \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \text{ sen} \theta_1 . \quad (6)$$

Essa relação permite calcular o ângulo de refração (θ_2) com base no ângulo de incidência (θ_1). O valor relativo de θ_2 depende da relação entre n_1 e n_2 , resultando em três possíveis cenários:

- $n_2 = n_1$, $\theta_1 = \theta_2$: Nessa situação, não há alteração na trajetória do raio de luz, que continua em linha reta de n_2 para n_1 , como ilustrado na figura 8a.
- $n_2 > n_1$, $\theta_1 < \theta_2$: Nessa situação, a refração faz com que o raio de luz se aproxime da normal, conforme mostrado na figura 8b.
- $n_2 < n_1$, $\theta_1 > \theta_2$: Nessa situação, a refração faz com que o raio de luz se afaste da normal, como mostrado na figura 8c.



Fonte: Halliday, Resnick & Walker (2016).

Além disso, o ângulo de refração nunca é grande o suficiente para que o raio refratado se propague no mesmo meio que o raio incidente (Halliday et al., 2016).

3.2.2 Lentes

De acordo com Young & Freedman (2016), o conceito de lente é definido como um sistema óptico composto por duas superfícies refratoras. A lente mais simples possui duas superfícies esféricas tão próximas que a espessura pode ser desconsiderada, sendo chamada de lente delgada. Um exemplo comum de lentes delgadas são as lentes usadas em óculos de grau. Elas possuem superfícies curvas que corrigem a visão ao ajustar o foco da luz que entra nos olhos, ajudando as pessoas a enxergarem melhor.

Dessa forma, as lentes esféricas delgadas são classificadas em dois tipos:

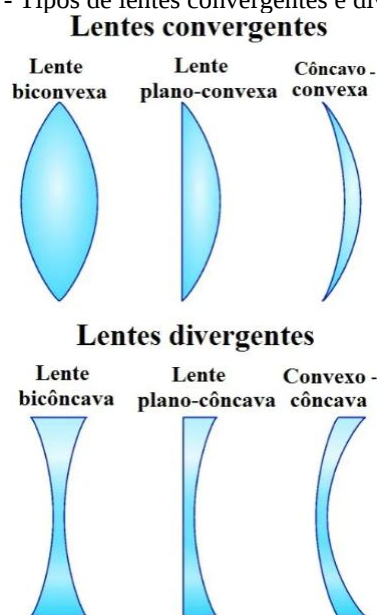
1. Lentes Convergentes (Convexas): Essas lentes possuem uma curvatura voltada para o exterior, com o centro mais espesso e as bordas mais finas. Sua principal função é

aumentar os objetos, pois fazem com que os raios de luz converjam, isto é, se aproximem. As lentes convergentes são subdivididas em três tipos:

- a) Biconvexa: possui duas faces convexas. Quando o índice de refração da lente (n_2) for maior que o do meio (n_1), ela atuará como convergente, fazendo com que os raios de luz se aproximem. No entanto, se o índice do meio (n_1) for maior que o da lente (n_2), a lente pode se comportar como divergente, fazendo com que os raios de luz se afastem.
 - b) Plano-convexa: apresenta uma face plana e outra convexa. Quando o índice de refração do meio (n_1) for maior que o índice de refração da lente (n_2), ela atuará como uma lente divergente. No entanto, se o índice de refração da lente (n_2) for maior que o do meio (n_1), a lente se comportará como convergente.
 - c) Côncavo-convexa: tem uma face côncava e outra convexa. Quando o índice de refração da lente (n_2) for maior que o do meio (n_1), ela atuará como convergente, pois a face convexa é predominante. Por outro lado, se o índice do meio (n_1) for maior que o da lente (n_2), a lente pode se comportar como divergente, pois a face côncava será predominante na refração da luz.
2. Lentes Divergentes (Côncavas): Essas lentes possuem uma curvatura voltada para o interior, com o centro mais fino e as bordas mais grossas. Sua principal função é diminuir os objetos, pois fazem com que os raios de luz divirjam, ou seja, se afastem. As lentes divergentes são subdivididas em três tipos:
- a) Bicôncava: possui duas faces côncavas. Quando o índice de refração da lente (n_2) for maior que o do meio (n_1), ela atuará como uma lente divergente, afastando os raios de luz. Por outro lado, se o índice de refração do meio (n_1) for maior que o da lente (n_2), a lente pode atuar como convergente, fazendo os raios de luz se aproximarem.
 - b) Plano-côncava: apresenta uma face plana e a outra côncava. Quando o índice de refração da lente (n_2) for maior que o do meio (n_1), ela atuará como uma lente divergente. No entanto, se o índice de refração do meio (n_1) for maior que o da lente (n_2), a lente pode se comportar como convergente.
 - c) Convexo-côncava: possui uma face convexa e a outra côncava. Quando o índice de refração da lente (n_2) for maior que o do meio (n_1), ela atuará como convergente, pois a face convexa é predominante na refração da luz. Por outro lado, se o índice do meio (n_1) for maior que o da lente (n_2), a lente se comportará como divergente, pois a face côncava é predominante.

A figura 9 ilustra os seis tipos de lentes, divididas em convergentes e divergentes:

Figura 9 - Tipos de lentes convergentes e divergentes.



Fonte: Mariane Mendes Teixeira (s.d.).

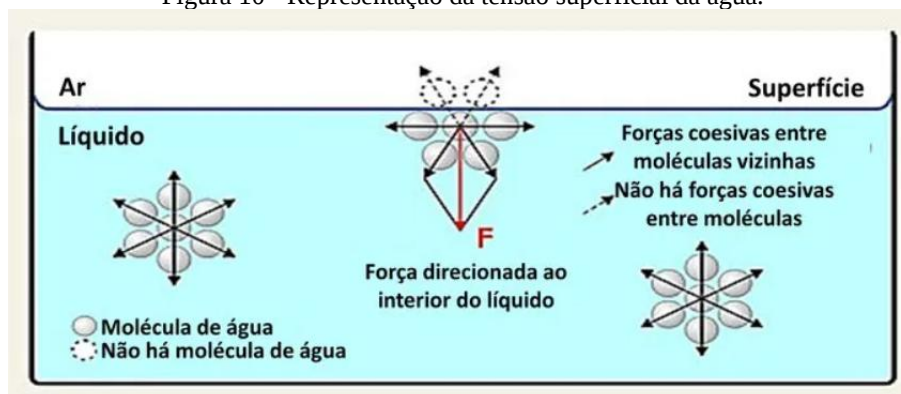
3.2.3 Tensão superficial da água

De acordo com Carolina Batista (s.d), a tensão superficial é um fenômeno que resulta na formação de uma película fina sobre a superfície de um líquido, causada pela desigualdade nas atrações entre suas moléculas. Esse efeito é mais evidente em líquidos com fortes forças intermoleculares, como a água. As forças de atração entre as moléculas de um líquido são chamadas de forças de coesão.

No interior do líquido, as moléculas de água são atraídas igualmente em todas as direções pelas moléculas vizinhas, resultando em forças coesivas equilibradas. Contudo, na superfície, as moléculas agem apenas com as moléculas abaixo e ao lado, pois não há moléculas de água no ar. Essa desigualdade nas forças de atração faz com que as moléculas na superfície fiquem mais coesas, formando uma película elástica conhecida como tensão superficial.

A figura 10 ilustra o fenômeno da tensão superficial. No interior do líquido, cada molécula de água é atraída em todas as direções pelas moléculas vizinhas, resultando em forças coesivas equilibradas. Já na superfície, as moléculas de água são atraídas apenas pelas moléculas abaixo e ao lado, pois acima delas há apenas ar. Isso gera uma força resultante direcionada ao interior do líquido, formando uma película elástica na superfície, característica da tensão superficial.

Figura 10 - Representação da tensão superficial da água.



Fonte: Carolina Batista (s.d.).

A tensão superficial está presente no cotidiano, como na formação de gotas de água e na capacidade de alguns insetos de caminhar sobre a superfície da água.

3.3 Mecânica clássica

3.3.1 Queda livre

No século IV a.C., Aristóteles acreditava que objetos mais pesados caíam mais rapidamente que os mais leves, com velocidades proporcionais aos seus pesos. Entretanto, cerca de dezenove séculos depois, Galileu questionou essa ideia, sugerindo que todos os corpos caem com a mesma aceleração, independentemente do seu peso, desde que a resistência do ar seja desprezada. Experimentos realizados posteriormente comprovaram que a teoria de Galileu estava correta, demonstrando que todos os objetos independentemente de suas massas, caem com a mesma aceleração em um mesmo local, quando sua resistência do ar pode ser desconsiderada. Além disso, se a queda ocorrer em uma distância relativamente pequena em comparação ao raio da Terra e a rotação do planeta for desconsiderada, a aceleração permanece constante, caracterizando assim o movimento de queda livre (Young & Freedman, 2016).

A figura 11 ilustra essa ideia por meio do experimento realizado por Galileu na Torre de Pisa, na Itália. Segundo relatos, ele deixou cair duas esferas de massas diferentes para demonstrar que ambas atingiriam o solo ao mesmo tempo, provando que a Teoria de Aristóteles estava errada.

Figura 11 - Experimento de Galileu na Torre de Pisa.



Fonte: Marco Aurélio da Silva (s.d.).

Esse movimento segue uma trajetória retilínea com aceleração constante, caracterizando assim um Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV). De acordo com Young e Freedman (2016), essa aceleração constante é chamada de aceleração da gravidade, sendo representada pela letra g . Na superfície da terra (próximo a ela), o valor de g é aproximadamente $9,80 \text{ m/s}^2$, que também pode ser expresso como 980 cm/s^2 ou $32,2 \text{ pés/s}^2$. Já na superfície da lua, onde a atração gravitacional é menor, o valor aproximado é $1,6 \text{ m/s}^2$. No entanto, próximo à superfície do sol, onde a atração gravitacional é extremamente intensa, o valor de g chega a 270 m/s^2 .

Diante disso, temos alguns exemplos de queda livre no nosso dia a dia, como uma fruta caindo de uma árvore ou um objeto que escorrega da mesa. Quando a queda ocorre de uma altura pequena em relação ao solo e a resistência do ar é desprezada, esses movimentos se aproximam bastante das condições de uma queda livre.

3.3.2 Equações do movimento de queda livre

Quando um corpo é solto a partir do repouso, sua velocidade inicial é zero ($v_0 = 0$). Sob a ação da gravidade (g), o corpo começa a acelerar e leva um tempo (t) para percorrer uma determinada altura (h). É importante destacar que a posição, a velocidade e o tempo não dependem da massa do corpo, ou seja, o peso do objeto não influencia nesses valores (Rafael Asth, s.d.).

Diante disso, o movimento de queda livre pode ser descrito por um conjunto de equações que relacionam essas variáveis.

3.3.2.1 Equação da velocidade em função do tempo

Segundo Asth (s.d), a velocidade de um corpo em queda livre varia linearmente com o tempo. A equação é dada por:

$$v(t) = v_o + gt \quad (7)$$

Onde:

- v é a velocidade final (m/s);
- v_o é a velocidade inicial (m/s; geralmente igual a zero quando o corpo é solto do repouso);
- g é a aceleração da gravidade (aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$);
- t é o tempo da queda (s).

3.3.2.2 Equação da posição em função do tempo

A posição de um corpo em queda livre pode ser expressa pela seguinte equação:

$$s(t) = s_o + v_o t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (8)$$

Em que:

- s é a posição final (m);
- s_o é a posição inicial (m; geralmente igual a zero);
- v_o é a velocidade inicial (m/s; geralmente igual a zero);
- t é o tempo (s);
- g é a aceleração da gravidade (aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$).

Segundo Asth (s.d), essa equação descreve como a posição do corpo muda com o tempo, considerando a aceleração causada pela gravidade.

3.3.2.3 Equação do tempo de queda

Segundo Asth (s.d), o tempo que um corpo leva para chegar ao chão, a partir do repouso, pode ser calculado pela seguinte equação:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (9)$$

Onde:

- t é tempo (s);
- h é a altura a partir da qual o corpo é solto (m);
- g é a aceleração da gravidade (m/s^2).

Essa relação serve para determinar o tempo de queda com base na altura. Também pode ser usada para calcular a altura, basta isolar h :

$$h = \frac{t^2 g}{2} \quad (10)$$

A partir dessa equação, concluímos que a distância percorrida por um corpo em queda livre aumenta proporcionalmente ao quadrado do tempo da queda.

3.3.2.4 Equação de Torricelli

De acordo com Asth (s.d), a equação de Torricelli permite calcular a velocidade de um corpo sem conhecer o tempo. Ela é expressa por:

$$v^2 = v_0^2 + 2g\Delta S \quad (11)$$

Onde:

- v é a velocidade final (m/s);
- v_0 é a velocidade inicial (m/s);
- g é a aceleração da gravidade (m/s^2);
- ΔS é distância percorrida (m).

Essa equação é particularmente usada em problemas onde o tempo não é fornecido, mas a altura e a velocidade inicial são conhecidas.

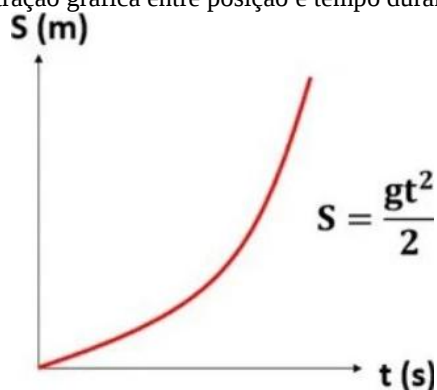
3.3.3 Representações gráficas do movimento de queda livre

3.3.3.1 Gráfico da posição em função do tempo

A figura 12 mostra a posição (S) em função do tempo (t) durante a queda livre, com uma curva parabólica indicando uma variação não linear da posição ao longo do tempo. Devido à aceleração constante da gravidade, a variação da posição aumenta com o tempo, resultando em distâncias maiores percorridas em intervalos de tempo iguais. O eixo vertical representa a

posição (ou altura) e o eixo horizontal indica o tempo. A curvatura parabólica para cima do gráfico demonstra que a aceleração gravitacional é constante e positiva.

Figura 12 - Ilustração gráfica entre posição e tempo durante a queda livre.

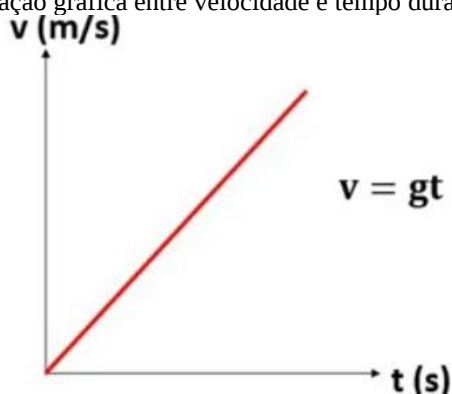


Fonte: (Rafael Asth, s.d.).

3.3.3.2 Gráfico da velocidade em função do tempo

A figura 13 abaixo ilustra a velocidade (v) em função do tempo (t) durante a queda livre, apresentando uma linha reta que indica uma relação linear entre a velocidade e o tempo. A inclinação da reta representa a aceleração da gravidade ($\approx 9,8 \text{ m/s}^2$), mostrando que a velocidade aumenta linearmente com o tempo. O eixo vertical representa a velocidade e o eixo horizontal indica o tempo. A linearidade do gráfico confirma que a aceleração é constante, resultando em um aumento fixo da velocidade a cada segundo.

Figura 13 - Ilustração gráfica entre velocidade e tempo durante a queda livre.



Fonte: (Rafael Asth, s.d.).

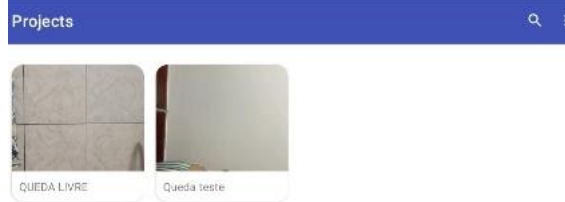
3.3.4 Aplicativo VidAnalysis

De acordo com Júnior e Da Costa Brozeguini (2020), o VidAnalysis é um aplicativo educacional para Android, desenvolvido pelo austríaco Richard Sadek, que permite a análise de fenômenos físicos, especialmente em cinemática, através de vídeos. Disponível em versões paga e gratuita (com anúncios), o aplicativo requer vídeos com boa iluminação e destaque no

objeto em movimento. É recomendado que o movimento esteja contido em toda a tela de análise e que haja uma referência de medida no Sistema Internacional (SI).

Na tela inicial do aplicativo, a parte superior, como mostrado na figura 14, contém a aba “Projects” (projetos), uma lupa para pesquisar os projetos e nos três pontos, a opção “Help” (ajuda), que contém instruções e informações.

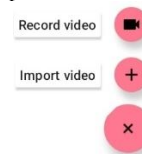
Figura 14- Parte superior da tela inicial do aplicativo.



Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

Já na parte inferior da tela inicial, há o ícone de mais, com duas opções: “Record vídeo”, que permite gravar um vídeo para realizar a análise e “Import vídeo”, que permite importar vídeos do dispositivo para realizar a análise.

Figura 15 – Parte inferior da tela inicial do aplicativo.



Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

Após a análise, o aplicativo gera cinco gráficos diferentes no padrão SI:

1. Time-x-Distance – Distância x Tempo (direção x);
2. Time-y-Distance – Distância x Tempo (direção y);
3. X-Distance- Y- Distance – Distância (y) x Distância (x);
4. Time- x-Velocity – Velocidade x Tempo (direção x);
5. Time- y-Velocity – Velocidade x Tempo (direção y);

Além disso, o aplicativo também fornece uma tabela de dados (Datatable) da análise.

3.4 Termodinâmica

3.4.1 Formas de propagação de calor

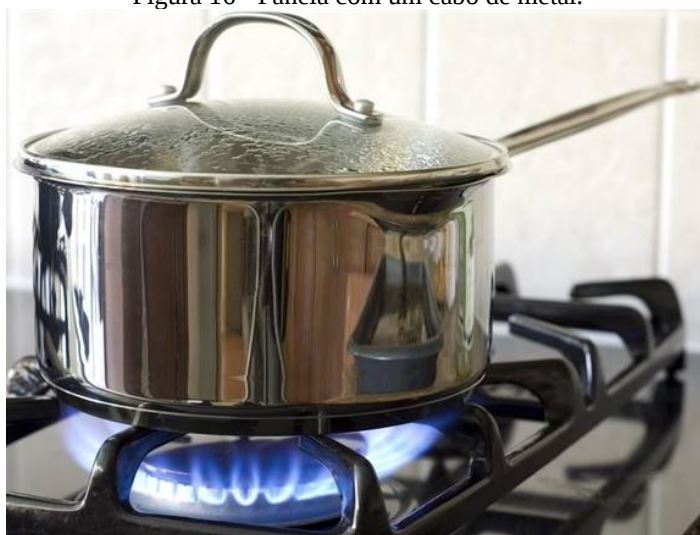
A propagação de calor é um fenômeno que ocorre de três formas: condução, convecção e radiação. Cada uma delas está presente em nosso dia a dia. Por exemplo, utilizamos painéis de alumínio devido à sua eficiência na transferência de calor entre o fogão e o interior da panela,

enquanto as paredes das geladeiras são projetadas com materiais que dificultam a transferência de calor para seu interior (Young e Freedman, 2015).

3.4.1.1 *Condução*

A condução é uma das formas de propagação de calor, que ocorre quando a energia é transferida de um material de maior temperatura para um de menor temperatura. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2023), essa propagação pode ser observada, por exemplo, em uma panela com um cabo de metal, como mostra a Figura 16. A energia térmica da panela passa para o cabo devido às vibrações intensas dos elétrons e átomos na panela. Essas vibrações mais intensas em altas temperaturas, espalham-se por meio de colisões entre átomos, fazendo com que a temperatura mais elevada se propague em direção ao cabo.

Figura 16 - Panela com um cabo de metal.



Fonte: Metrôpoles (2018).

A variação da condução térmica depende do material utilizado, pois alguns materiais absorvem e transferem mais energia térmica com maior facilidade do que outros. Os condutores térmicos, como os metais (cobre, prata e ferro), com alta condutibilidade térmica facilitam a transferência de calor. Por outro lado, os isolantes térmicos, como plástico, borracha e madeira, são amplamente usados por sua capacidade de isolar a passagem de calor (Gouveia, s.d.).

Para determinar o fluxo de calor durante a condução térmica, a Lei de Fourier estabelece uma equação que considera fatores como a quantidade de calor recebido, o tempo, a temperatura, a área e a espessura do material. Essa equação é dada por:

$$Q = \frac{k \times A \times (T_Q - T_F) \times t}{d} \quad (12)$$

Onde:

- Q: quantidade de calor (J);
- K: coeficiente de condutibilidade térmica do material (W/ m.k);
- A: área da superfície (m²);
- T_Q: temperatura quente (K);
- T_F: temperatura fria (K);
- t: tempo (s);
- d: espessura do material (m).

A Tabela 2 mostra os coeficientes de condutibilidade térmica (k) de alguns materiais, incluindo metais, gases e materiais de construção.

Tabela 2 - Coeficientes de condutibilidade térmica de alguns materiais.

Substância	k (W/m. k)
Metais	
Ferro	67
Alumínio	235
Cobre	401
Gases	
Ar (seco)	0,026
Hélio	0,15
Hidrogênio	0,18
Materiais de Construção	
Lã de pedra	0,043
Fibra de vidro	0,048
Vidro de janela	1,0

fonte: Halliday, Resnick e Walker (2023).

3.4.1.2 Convecção

De acordo com Gouveia (s.d.), a convecção térmica é uma das formas de propagação de calor que ocorre em fluidos (líquidos e gases), sendo caracterizada pelo movimento das partículas do próprio fluido. Esse fenômeno recebe esse nome devido à formação de correntes de convecção circulares, que surgem em função da diferença de densidade entre as regiões do fluido com maior e menor energia térmica. Com a variação da temperatura do fluido, a densidade também se altera, criando um movimento contínuo que transfere calor de regiões mais quente para regiões mais frias.

Um exemplo de convecção pode ser observado na chama de uma vela, como mostrado na Figura 17. O ar próximo à chama é aquecido, expandindo-se e tornando-se menos denso. Esse ar aquecido sobe devido à força de empuxo, enquanto o ar mais frio e denso desce para ocupar o espaço deixado. Essa movimentação do fluido, impulsionada pela diferença de temperatura e densidade, permite que a energia térmica seja transferida de forma contínua (Halliday, Resnick e Walker, 2023).

Figura 17 - Chama da vela.



Fonte: Quintal da física (2015).

3.4.1.3 Radiação

A radiação térmica é uma das formas de propagação de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. Halliday, Resnick e Walker (2023) afirmam que essa transferência de energia não precisa de um meio material, o que permite que o calor seja transferido até mesmo por meio do vácuo. Por exemplo, ao se aproximar de uma fogueira, a energia térmica é transmitida do fogo para o corpo por meio de radiação térmica, como mostra a Figura 18. Esse mesmo princípio explica como o calor do Sol chega à Terra através do vácuo.

Figura 18 – Transferência de calor por radiação em uma fogueira.



Fonte: Rosimar Gouveia (s.d.).

A radiação ocorre em três etapas: emissão, absorção e transferência. Corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação, e a intensidade e comprimento de onda dessa radiação dependem da temperatura do corpo. Quando essa radiação incide sobre outro

corpo, parte da energia pode ser absorvida, elevando a temperatura do corpo, enquanto a outra parte pode ser refletida ou transmitida. A transferência de calor por radiação ocorre predominantemente na faixa do infravermelho, permitindo a propagação de energia mesmo na ausência de material.

A intensidade da radiação térmica emitida por um corpo pode ser calculada pela Lei de Stefan-Boltzmann, expressa pela equação:

$$P = \sigma \times A \times T^4 \quad (13)$$

Onde:

- P: Potência emitida (Watts);
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$);
- A: Área da superfície emissora (m^2);
- T: Temperatura absoluta do corpo (K).

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esse trabalho adotou uma metodologia baseada em experimentos práticos, com o objetivo de facilitar o entendimento e a aplicação dos conceitos físicos estudados. Foram escolhidos cinco experimentos, utilizando materiais de baixo custo e encontrados no dia a dia. Os experimentos realizados foram: bexigas eletricamente carregadas, lente d'água, queda livre utilizando o aplicativo VidAnalysis, propagação de calor por condução e propagação de calor por convecção.

4.1 Experimento 1: Bexigas eletricamente carregadas

Este experimento teve como objetivo mostrar a existência de cargas elétricas e suas propriedades por meio da eletrização de bexigas. A metodologia foi dividida em etapas, que incluíram a preparação dos materiais e a execução do experimento.

Materiais Utilizados

- Quatro bexigas (verde, amarela, azul e vermelha);
- Cordão (aproximadamente 1 metro).

Procedimento Experimental

As bexigas (verde, amarela, azul e vermelha) foram preenchidas com ar de forma que ficassem pequenas e firmes na mão. Em seguida, a bexiga verde foi atritada contra o cabelo de uma pessoa, conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Processo de eletrização da bexiga por atrito com o cabelo.



Fonte: Autoria própria (2024).

A bexiga amarela foi mantida neutra e amarrada em um pedaço de cordão (aproximadamente 50 centímetros) para melhorar a visualização, conforme mostrado na Figura 20. A bexiga verde, que após ser atritada com o cabelo, adquiriu carga elétrica. Em seguida, foi aproximada da bexiga amarela neutra e as observações foram realizadas.

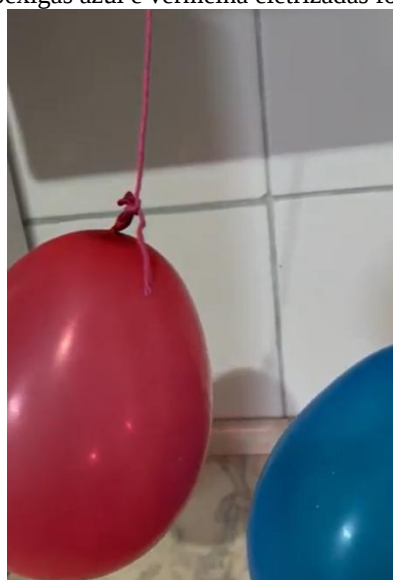
Figura 20 – Bexiga amarela neutra amarrada no cordão.



Fonte: Autoria própria (2024).

Posteriormente, as bexigas azul e vermelha foram atritadas da mesma maneira. A bexiga vermelha foi então amarrada a outro pedaço de cordão de 50 centímetros, após ser atritada. As duas bexigas eletrizadas foram aproximadas, conforme ilustrado na Figura 21 e as observações foram registradas.

Figura 21 – As bexigas azul e vermelha eletrizadas foram aproximadas



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2 Experimento 2: Lente d'água

Esse experimento teve como objetivo demonstrar a formação de uma lente utilizando água e arame, explorando conceitos ópticos como refração e formação de imagens. A metodologia foi dividida em etapas, que incluíram a preparação dos materiais e a execução do experimento.

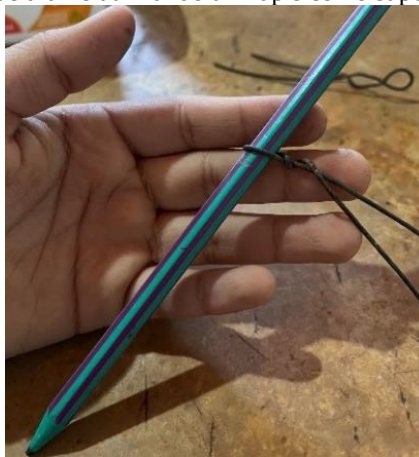
Materiais Utilizados

- Um pedaço de arame (aproximadamente 20 centímetros);
- Um lápis;
- Um recipiente com água;
- Um texto com letras pequenas.

Procedimento Experimental

O arame foi enrolado em torno de um lápis para criar uma argola, que serviu como estrutura para a lente d'água, conforme ilustrado na Figura 22.

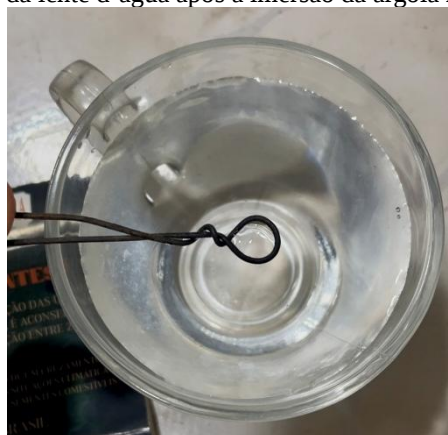
Figura 22 - Formação da argola de arame utilizando um lápis como suporte para a criação da lente d'água.



Fonte: Autoria própria (2024).

Posteriormente, a argola foi mergulhada completamente no recipiente com água, permitindo que a água aderisse à argola circular por meio da tensão superficial, como ilustrado na Figura 23. Essa etapa formou a lente d'água.

Figura 23 – Formação da lente d'água após a imersão da argola no recipiente com água.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por último, a lente d'água foi aproximada de um texto com letras pequenas e as observações foram registradas.

4.3 Experimento 3: Queda livre utilizando o aplicativo VidAnalysis

Este experimento teve como objetivo analisar o movimento de queda livre de uma bola de papel utilizando o aplicativo VidAnalysis. A metodologia foi dividida em etapas, que incluíram a preparação dos materiais e a execução do experimento.

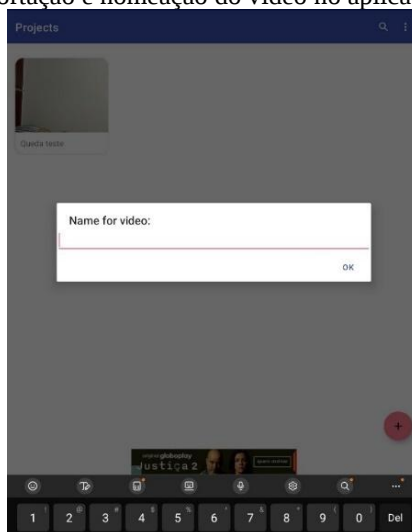
Materiais Utilizados

- Folhas de papel;
- Fita adesiva;
- Tablet;
- Suporte para tablet.

Procedimento Experimental

A bola de papel foi confeccionada utilizando folhas de papel e fita adesiva. Após preparar a bola, o tablet foi posicionado em um suporte para gravar o movimento de queda livre da bola de papel. O vídeo gravado foi importado para o aplicativo VidAnalysis, clicando no ícone de “mais” e, em seguida, em “Import Video”. O vídeo foi nomeado, conforme ilustrado na Figura 24.

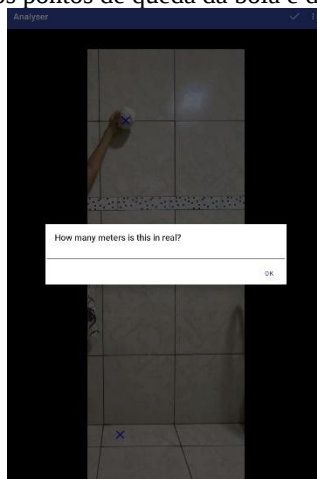
Figura 24 - Importação e nomeação do vídeo no aplicativo VidAnalysis.



Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

Posteriormente, o vídeo importado foi selecionado, e a função “Analyser” foi aberta para identificar o momento em que a bola começou a cair. Em seguida, clicou-se em “Start Analysis”. Após iniciar a análise, foram feitas as marcações nos pontos em que a bola estava na mão e no chão, e a distância real entre esses pontos foi digitada, conforme mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Marcação dos pontos de queda da bola e digitação da distância real.



Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

Logo depois, o plano cartesiano foi posicionado, com o eixo das ordenadas (y) representando a altura inicial da bola e o eixo das abscissas (x) representando o chão. Após o ajuste, clicou-se na seta de confirmação, conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26 – Ajuste do plano cartesiano no aplicativo VidAnalysis.



Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

Por último, foram realizadas as marcações em cada ponto correspondente à posição da bola durante a queda, até que ela tocasse no chão. O resultado da análise foi salvo clicando no ícone de disquete e o arquivo foi nomeado.

4.4 Experimento 4: Propagação de calor por condução

Este experimento teve como objetivo demonstrar a propagação de calor por condução, comparando materiais bons e maus condutores térmicos. A metodologia foi organizada em etapas, que abrangeram a preparação dos materiais e a execução do experimento.

Materiais Utilizados

- Duas latinhas de refrigerante;
- Velas;
- Fio de cobre;
- Palito de madeira (churrasco);
- Papel alumínio;
- 6 pregos;
- Fósforo;
- 6 tampas de tubos de creme dental;
- 2 pires de xícara.

Procedimento Experimental

Inicialmente, foi feito um furo na borda superior de cada latinha de refrigerante para fixar o palito de madeira e o fio de cobre com um prego.

Em seguida, as tampas de tubos de creme dental e vela derretida foram usados para o molde de fixação dos pregos no palito de madeira e no fio de cobre, conforme ilustrado na Figura 27.

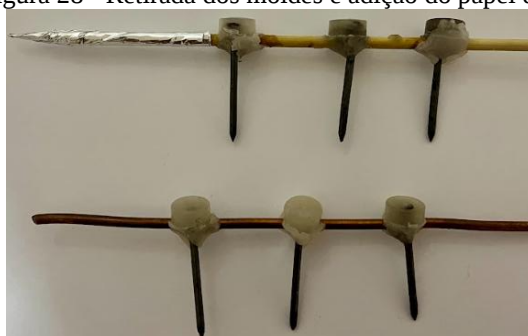
Figura 27 - Moldagem dos pregos no palito de madeira e fio de cobre.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após cinco minutos, quando os moldes de fixação dos pregos estavam secos, os copinhos de pasta de dente foram retirados, e um pedaço de papel alumínio foi adicionado ao palito de madeira, conforme mostrado na figura 28.

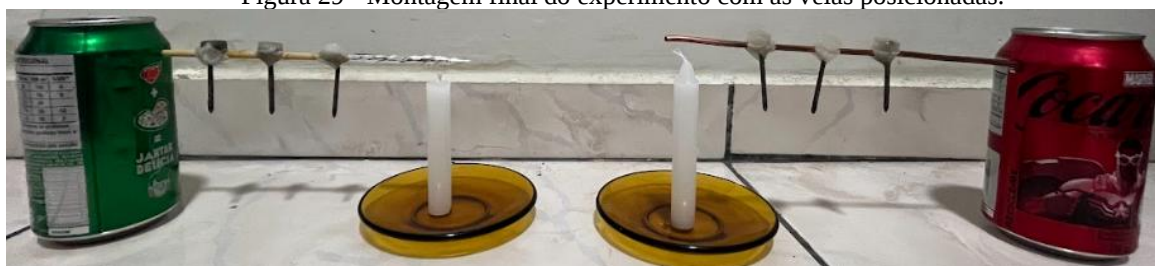
Figura 28 - Retirada dos moldes e adição do papel de alumínio.



Fonte: Autoria própria (2024).

Posteriormente, o palito de madeira com papel alumínio e o fio de cobre foram fixados nos furos feitos nas bordas superiores das latinhas. Em seguida, as velas foram colocadas em pires de xícara, conforme ilustrado na figura 29.

Figura 29 - Montagem final do experimento com as velas posicionadas.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por último, as velas foram acesas e as observações foram realizadas, conforme mostrado na Figura 30.

Figura 30 - Velas acesas para observações.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.5 Experimento 5: Propagação de calor por convecção

Este experimento teve como objetivo demonstrar a propagação de calor por convecção em um gás, utilizando um catavento de latinha e o aquecimento gerado por velas. A metodologia foi organizada em etapas, que abrangeram a preparação dos materiais e a execução do experimento.

Materiais Utilizados

- Uma latinha de refrigerante;
- Três palitos de churrasco;
- Uma base de madeira;
- Velas;
- Um pedaço de linha (aproximadamente 30 centímetros);
- Fósforo;
- Régua;
- Recipiente redondo;
- Lápis de tinta;

- Pistola e cola quente;
- Tesoura.

Procedimento Experimental

Inicialmente, foram feitos dois cortes na latinha de refrigerante, retirando a parte superior e inferior com o auxílio de uma tesoura, conforme ilustrado na Figura 31.

Figura 31 - Cortes para retirar a parte superior e inferior da latinha.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após a remoção das extremidades, a latinha foi transformada em um retângulo cortando as laterais. Em seguida, um recipiente redondo foi utilizado como molde para desenhar um círculo no retângulo, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32 – Moldagem do círculo no retângulo de latinha.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após o círculo ser marcado, um furo foi feito no centro. Logo depois, o círculo foi dividido em 8 partes iguais com o auxílio de uma régua e recortado com uma tesoura, conforme ilustrado na Figura 33.

Figura 33 - Círculo dividido em 8 partes iguais.



Fonte: Autoria própria (2024).

Cada uma das 8 partes foi torcida, formando o catavento. Em seguida, a ponta de um palito de fósforo foi afinada e a linha foi amarrada, conforme mostrado na Figura 34.

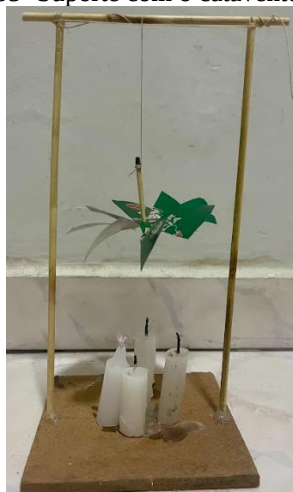
Figura 34 - Catavento e linha amarrada ao fósforo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Posteriormente, o suporte foi construído com uma base de madeira e três palitos de churrasco colados com cola quente. O catavento foi amarrado ao suporte e as velas foram posicionadas, conforme ilustrado na Figura 35.

Figura 35- Suporte com o catavento e velas.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por último, as velas foram acesas e as observações foram realizadas, conforme mostrado na Figura 36.

Figura 36 - Velas acesas no suporte.



Fonte: Autoria própria (2024).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

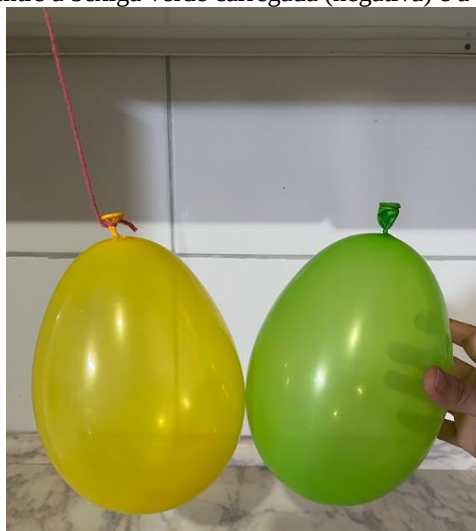
5.1 Experimento 1: Bexigas eletricamente carregadas

O experimento com bexigas carregadas permitiu observar de forma prática os fenômenos de eletrização por atrito e indução, confirmando os conceitos teóricos relacionados às cargas elétricas e a lei de Coulomb.

Na primeira parte do experimento, a bexiga verde foi atritada contra o cabelo, transferindo elétrons do cabelo para a bexiga. Como consequência, a bexiga verde ganhou elétrons (carga negativa), caracterizando um processo de eletrização por atrito.

Em seguida, a bexiga amarela foi mantida neutra e amarrada a um cordão para facilitar a visualização. Quando a bexiga verde carregada foi aproximada da bexiga amarela neutra, observou-se uma atração entre elas, conforme ilustrado na Figura 37.

Figura 37 - Atração entre a bexiga verde carregada (negativa) e a bexiga amarela neutra.



Fonte: Autoria própria (2024).

Esse fenômeno é explicado pela eletrização por indução. A bexiga verde (carregada negativamente) provocou uma redistribuição das cargas na bexiga amarela. Como cargas de sinais opostos se atraem, os elétrons livres na superfície da bexiga amarela foram repelidos para o lado oposto, deixando a região mais próxima da bexiga verde com cargas positivas.

Assim, mesmo sem perder ou ganhar elétrons, a bexiga amarela foi influenciada pela bexiga verde, ficando com um lado mais positivo e outro mais negativo. Isso gerou uma atração entre as duas bexigas, conforme afirma a Lei de Coulomb. No entanto, essa atração ocorre apenas enquanto a bexiga carregada estiver próxima. Assim que ela se afasta, as cargas da bexiga neutra se redistribuem, ou seja, voltam ao normal.

Na segunda parte, as bexigas azul e vermelha foram atritadas da mesma maneira, adquirindo cargas de mesmo sinal (negativo, devido ao ganho de elétrons). A bexiga vermelha foi amarrada a um cordão após ser eletrizada. Em seguida, as duas bexigas eletrizadas foram aproximadas, conforme mostrado na Figura 38. Observou-se que elas se repeliam, o que está de acordo com a Lei de Coulomb, que afirma que cargas de mesmo sinal se repelem.

Figura 38 – Repulsão entre as bexigas eletrizadas.



Fonte: Autoria própria (2024).

A força de repulsão observada segue a Lei de Coulomb, que estabelece que a força elétrica é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as bexigas. Assim, à medida que a distância entre as bexigas aumenta, a força de repulsão diminui rapidamente.

O experimento mostrou os princípios da eletrostática de forma clara, como a eletrização por atrito e indução, a repulsão entre cargas de mesmo sinal e a atração entre cargas de sinais opostos. Além disso, o experimento permite explicar a Lei de Coulomb, mostrando que a força elétrica depende tanto das cargas envolvidas quanto da distância entre elas.

5.2 Experimento 2: Lente d'água

O experimento da lente d'água permitiu observar de forma prática os fenômenos de refração da luz e a formação de imagens ampliadas, facilitando o entendimento dos conceitos teóricos relacionados à óptica e à tensão superficial.

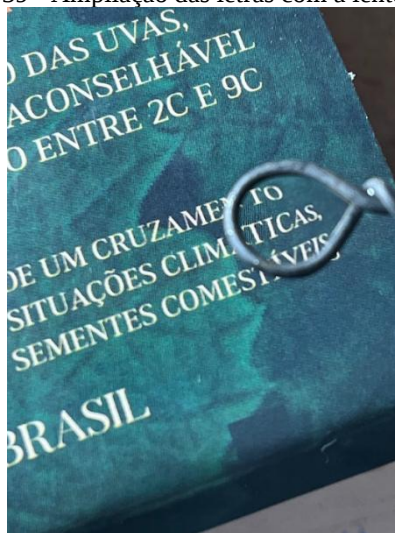
A lente d'água foi criada ao mergulhar uma argola de arame em um recipiente com água. A tensão superficial da água permitiu que ela aderisse à estrutura circular (argola de arame), formando uma película que atuou como uma lente. A lente formada possui uma forma convexa,

sendo classificada como uma lente convergente biconvexa, com duas faces curvas, centro mais espesso e as bordas finas.

A tensão superficial da água, o formato da estrutura de arame e o peso da água são os fatores que explicam a formação da lente convexa. A tensão superficial acontece devido às forças de coesão entre as moléculas de água, formando uma película elástica na superfície. Quando as forças de coesão são distribuídas uniformemente, essa película assume uma forma convexa. Além disso, o formato circular da argola de arame contribui para que a água se distribua também de forma uniforme, assumindo uma curvatura convexa. O peso da água, embora seja mínimo, também influencia na formação da lente, fazendo com que a película de água se curve para baixo, o que contribui para a formação de uma lente biconvexa.

Ao aproximar a lente d'água do texto com letras pequenas, observou-se que as letras aumentaram, ou seja, foram ampliadas, conforme mostrado na Figura 39. Isso ocorre devido à refração da luz ao passar da água (meio mais denso) para o ar (meio menos denso). Como a água ($n_{\text{água}} = 1,33$) possui um índice de refração maior que o do ar ($n_{\text{ar}} = 1,00029$), a luz sofre um desvio ao atravessar a lente, convergindo os raios luminosos e formando uma imagem ampliada. A Lei de Snell explica esse fenômeno, descrevendo a relação entre os ângulos de incidência e refração, que dependem dos índices de refração dos meios envolvidos.

Figura 39 - Ampliação das letras com a lente d'água.



Fonte: Autoria própria (2024).

A formação da lente também é influenciada pela tensão superficial da água. Devido às moléculas de água se manterem unidas, uma película elástica foi formada na superfície da argola, mantendo a estrutura da lente. Isso pode ser explicado pela desigualdade nas forças de atração entre as moléculas de água no interior do líquido e na superfície, resultando em uma película que suporta a forma convexa da lente.

Esse experimento demonstrou os princípios da óptica, como a refração da luz e a formação de imagens por lentes convergentes (Lei de Snell). Além disso, também mostrou a importância da tensão superficial da água e do formato da estrutura de arame na formação da lente, com ajuda do peso da água.

5.3 Experimento 3: Queda livre usando o aplicativo VidAnalysis

Nesta seção, será apresentado e analisados os dados obtidos do experimento de queda livre realizado com o aplicativo VidAnalysis. O experimento consistiu na análise do movimento da queda de uma bola de papel, destacando as grandezas de posição e velocidade em função do tempo. A tabela a seguir apresenta os dados coletados durante a análise, contendo as seguintes informações de tempo, distância e velocidade:

Tabela 3 - Dados da queda livre da bola de papel.

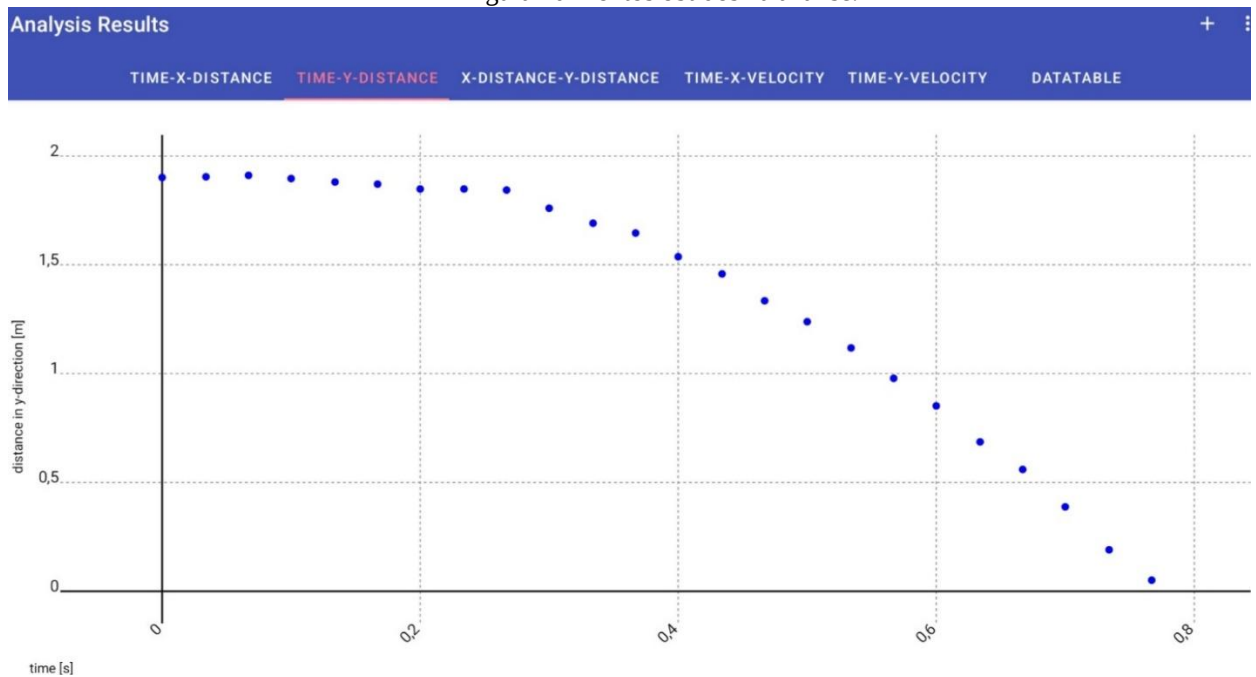
t [s]	y [m]	v [m/s]
0,000	1,901	0,000
0,034	1,905	0,094
0,067	1,911	0,194
0,100	1,896	-0,438
0,134	1,880	-0,472
0,167	1,871	- 0,292
0,200	1,848	-0,681
0,234	1,848	0,000
0,267	1,844	-0,146
0,300	1,760	-2,528
0,334	1,691	-2,029
0,367	1,646	-1,361
0,400	1,537	-3,306
0,434	1,458	-2,312
0,467	1,335	-3,744
0,500	1,239	-2,917
0,534	1,118	-3,539
0,567	0,979	-4,230
0,600	0,852	-3,841

0,634	0,687	-4,861
0,667	0,560	-3,841
0,700	0,388	-5,202
0,734	0,191	-5,804
0,767	0,051	-4,230

Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

O gráfico a seguir ilustra a posição da bola em função do tempo durante o experimento de queda livre, utilizando o aplicativo VidAnalysis. Os pontos azuis representam os dados experimentais coletados.

Figura 40- Pontos obtidos na análise.



Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

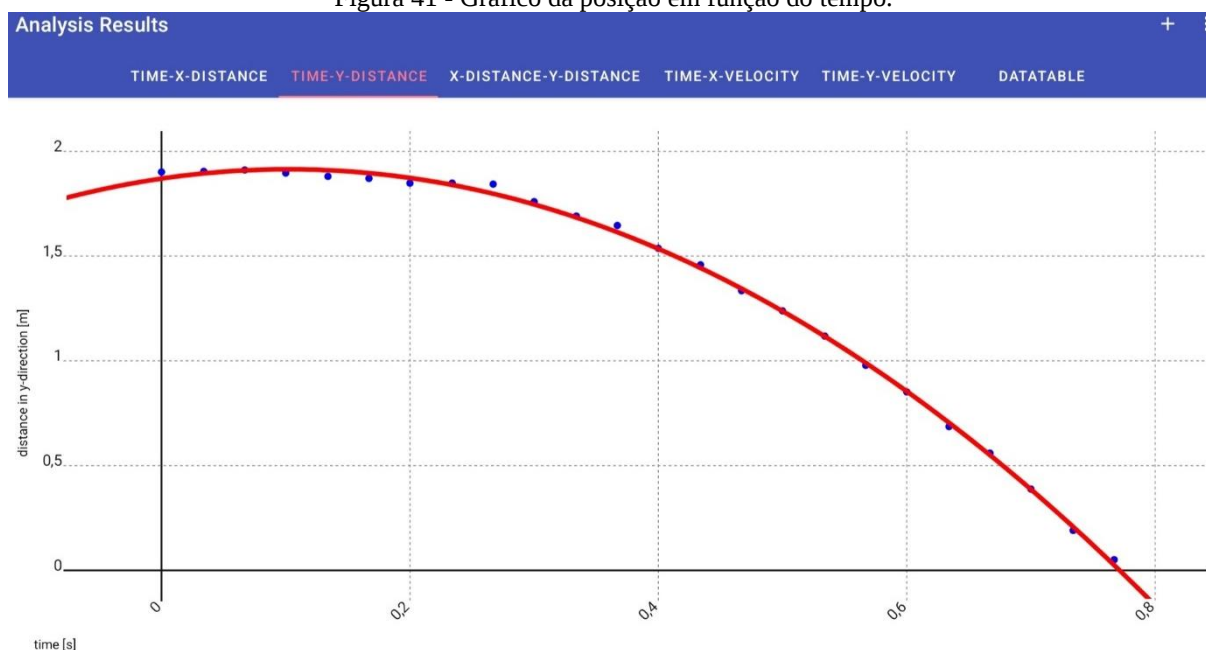
Conforme demonstrado anteriormente, a relação da posição em função do tempo é quadrática, descrita pela equação $s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$. A partir da figura 40, a função que melhor se ajusta aos dados coletados é:

$$s(t) = -4,27t^2 + 0,87t + 1,87 \quad (14)$$

O coeficiente de $-4,27 \text{ m/s}^2$ sugere uma aceleração da gravidade estimada em aproximadamente $-8,54 \text{ m/s}^2$. Este valor é inferior ao valor teórico esperado de $-9,8 \text{ m/s}^2$, possivelmente devido à influência de fatores como resistência do ar e imprecisões nas medidas. O coeficiente de $0,87 \text{ m/s}$ indica a velocidade inicial da bola, enquanto $1,87 \text{ m}$ representa a

posição inicial. Ao inserir essa função no aplicativo clicando no sinal de mais, o gráfico gerou a seguinte curvatura:

Figura 41 - Gráfico da posição em função do tempo.



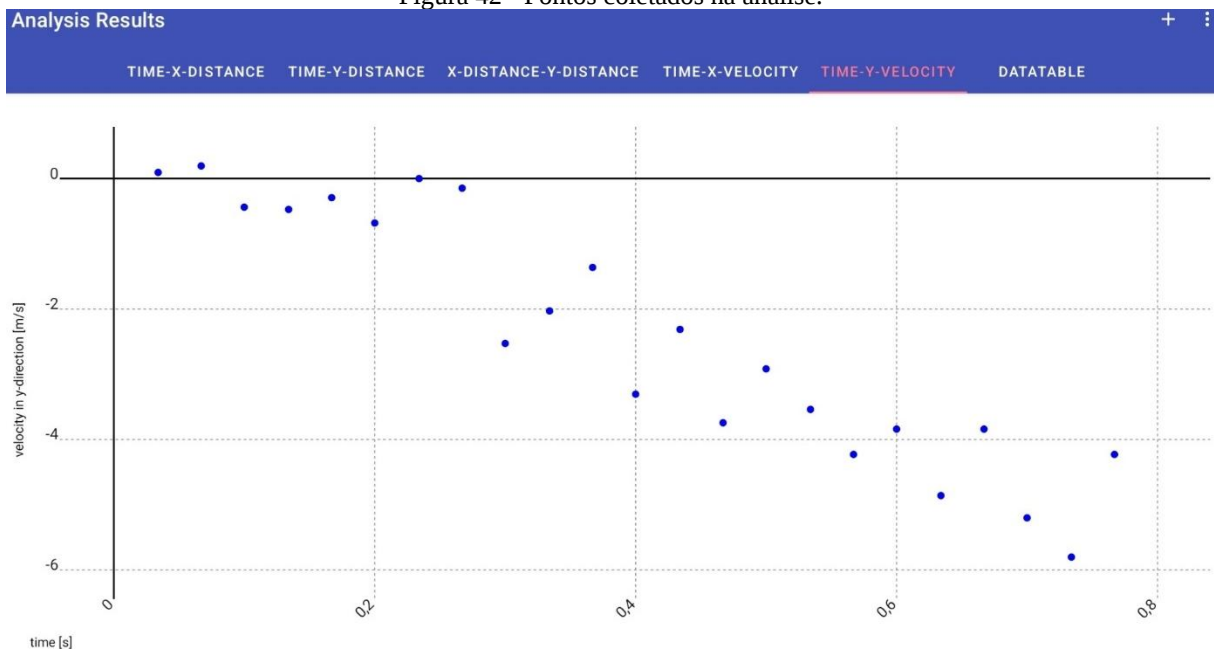
Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

A curva parabólica apresentada no gráfico descreve como a posição muda ao longo do tempo. À medida que o tempo avança, o termo quadrático negativo da função faz com que a posição diminua, resultando em uma concavidade voltada para baixo. Essa forma é característica de um movimento uniformemente acelerado, onde aceleração é constante e negativa, indicando um movimento sob a influência da gravidade.

Embora a aceleração da gravidade obtida seja um valor menor que o teórico, a forma parabólica do gráfico confirma que a trajetória da bola de papel está de acordo com a teoria do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), conforme esperado para objetos em queda livre. A discrepância observada entre os valores experimentais e teóricos pode ser atribuída a fatores externos, como a forma irregular da bola de papel e a resistência do ar. Além disso, a própria metodologia empregada no experimento pode ter influenciado esse resultado. Por exemplo, a marcação dos pontos de queda da bola no aplicativo VidAnalysis pode ter contribuído para esse valor da aceleração gravidade.

O gráfico a seguir ilustra a velocidade em função do tempo durante a queda livre, utilizando o aplicativo VidAnalysis. Os pontos azuis representam os dados experimentais coletados.

Figura 42 - Pontos coletados na análise.



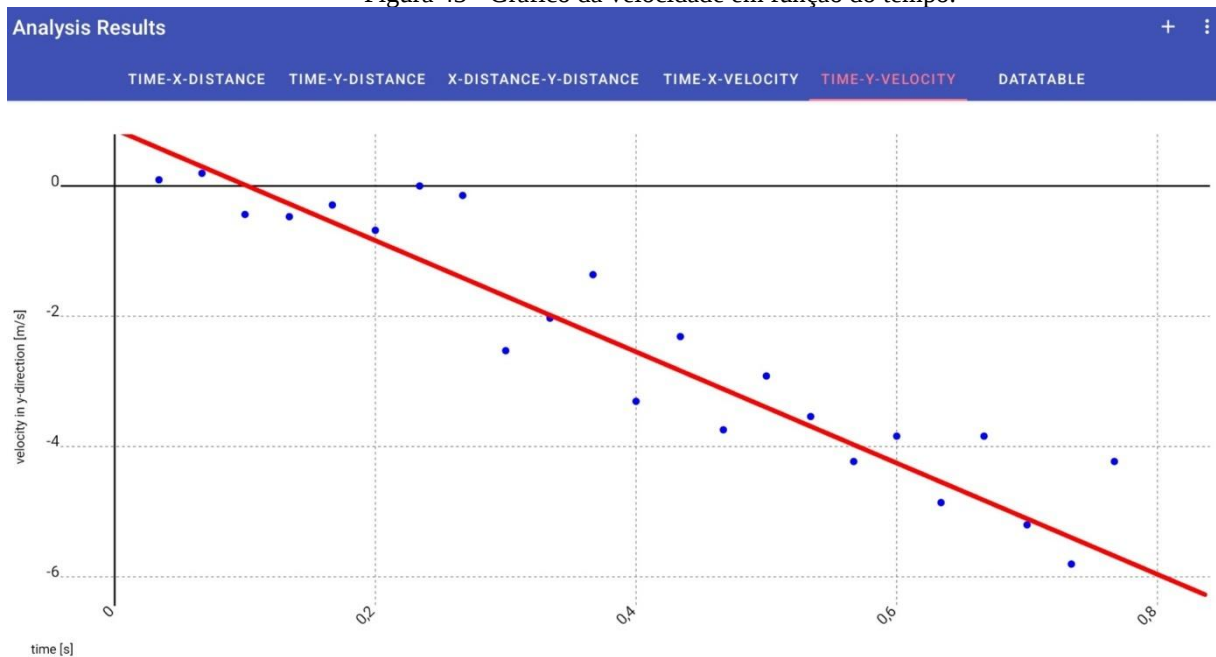
Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

Esse gráfico apresenta uma relação linear, expressa pela equação $v(t) = v_o + gt$. A função que melhor ajusta aos dados obtidos é:

$$v(t) = -8,54t + 0,87 \quad (15)$$

Neste caso, o coeficiente de $-8,54 \text{ m/s}^2$ representa o valor da aceleração da gravidade e a inclinação da reta, que é um valor inferior ao valor teórico esperado de $-9,8 \text{ m/s}^2$, possivelmente devido à influência de fatores como resistência do ar e imprecisões metodológicas. O coeficiente de $0,87 \text{ m/s}$ indica a velocidade inicial da bola. Ao adicionar essa função no aplicativo clicando no sinal de mais, o gráfico formou a seguinte reta:

Figura 43 - Gráfico da velocidade em função do tempo.



Fonte: Aplicativo VidAnalysis (2024).

A presença da reta no gráfico indica que a relação entre a velocidade e o tempo é linear, o que é característica de um movimento acelerado. Neste contexto, a aceleração constante é negativa, indicando que o objeto está se movendo sob a influência da gravidade. Foi possível observar uma dispersão nos pontos experimentais em torno da linha de tendência (reta vermelha), que pode ter ocorrido devido fatores experimentais, como a resistência do ar e a possíveis erros na metodologia, como a precisão na marcação dos pontos de queda.

Para calcular o erro percentual do valor da gravidade, utilizamos a seguinte equação:

$$Erro\ Percentual = \frac{|Valor\ teórico - Valor\ experimental|}{Valor\ teórico} \times 100\% \quad (16)$$

Nesse caso, o valor teórico da aceleração da gravidade é de $-9,8 \text{ m/s}^2$ e o valor experimental obtido foi $-8,54 \text{ m/s}^2$. Substituindo esses valores na equação (14), temos:

$$Erro\ Percentual = \frac{|(-9,8) - (-8,54)|}{-9,8} \times 100\%$$

$$Erro\ Percentual = 12,86\%$$

Esse valor indica que aceleração obtida experimentalmente é cerca de 12,86% menor do que o valor teórico. Como mencionado anteriormente, essa diferença pode ser atribuída à

resistência do ar e a possíveis imprecisões na metodologia, como a calibração do plano cartesiano e a precisão na marcação dos pontos de queda.

O experimento de queda livre utilizando o aplicativo VidAnalysis demonstrou ser uma ferramenta boa para análise de movimentos físicos e a aplicação de conceitos teóricos de mecânica clássica, como o Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) e a aceleração da gravidade. O aplicativo permitiu a coleta de dados e a visualização gráfica de grandezas como a posição e velocidade em função do tempo, além da estimativa da aceleração da gravidade. Apesar de uma discrepância entre o valor experimental da aceleração da gravidade ($-8,54 \text{ m/s}^2$) e valor teórico ($-9,8 \text{ m/s}^2$), os resultados obtidos de acordo com a teoria do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), confirmando que a queda livre é um movimento sob a influência da gravidade. A utilização do VidAnalysis mostrou ser acessível para estudar os fenômenos físicos permitindo uma interação entre a teoria e a prática de forma mais dinâmica.

5.4 Experimento 4: Propagação de calor por condução

O experimento de propagação de calor por condução permitiu observar de forma prática diferentes materiais, comparando um bom condutor de calor (fio de cobre) e um mau condutor de calor (palito de madeira).

Foi possível observar que o fio de cobre é um excelente condutor térmico ($k = 401 \text{ W/m.K}$), demonstrando uma rápida propagação de calor. Após acender as velas, os pregos fixados no fio de cobre começaram a cair em intervalos de tempo específicos:

- Prego 1 (P1): caiu após 1 minuto e 17 segundos;
- Prego 2 (P2): caiu após 2 minutos e 15 segundos;
- Prego 3 (P3): caiu após 3 minutos e 40 segundos.

Esse comportamento está de acordo com a Lei de Fourier, que descreve como o calor se propaga em materiais condutores. No caso do cobre, por possuir alta condutibilidade térmica, transferiu calor ao longo do fio, fazendo com que os pregos caíssem à medida que a parafina da vela que os fixava fosse derretida.

Já o palito de madeira foi observado como um mau condutor ($k = 0,12 \text{ W/m.K}$), não permitiu uma propagação significativa de calor. Como resultado, os pregos continuaram fixos no palito de madeira e apenas o papel alumínio queimou. A madeira atua como um isolante térmico, o que dificulta a transferência de calor. O papel alumínio adicionado ao palito de

madeira, queimou devido ser um bom condutor de calor ($k = 235 \text{ W/m.K}$). No entanto, como estava em contato com a madeira (isolante), o calor não se propagou ao longo do palito.

A figura 44 mostra os resultados obtidos: no palito de madeira, apenas o papel alumínio colocado na extremidade foi queimado, e os pregos continuaram fixos. Já o fio de cobre, ao absorver calor, os três pregos caíram.

Figura 44 – O papel alumínio queimado na extremidade do palito de madeira e os pregos do fio de cobre caídos após absorverem calor.



Fonte: Autoria própria (2024).

O experimento demonstrou os princípios de condução térmica, diferenciando a capacidade de transferência de calor entre materiais isolantes e condutores. Além disso, descreveu a Lei de Fourier, que relaciona a quantidade de calor transferido com a condutibilidade térmica do material.

5.5 Experimento 5: Propagação de calor por convecção

O experimento de propagação de calor por convecção permitiu observar de forma prática como o calor se propaga em um fluido (ar), utilizando um catavento de latinha e o aquecimento gerado por velas. Essa prática facilitou o entendimento dos conceitos teóricos relacionados à termodinâmica, em especial ao fenômeno de convecção térmica.

Durante o experimento, após acender a vela, foi possível observar que o catavento começou a girar após alguns segundos, conforme mostrado na figura abaixo. Esse movimento ocorreu devido ao aquecimento do ar próximos as velas, que se expandiu e tornou-se menos denso, subindo e criando uma corrente de convecção.

Figura 45 - Catavento girando devido ao aquecimento das velas.



Fonte: Autoria própria (2024).

A velocidade de rotação do catavento variou conforme a intensidade do calor das velas. Inicialmente, o movimento foi lento, devido a estabilidade das correntes de convecção. Logo depois, o movimento ficou mais rápido, conforme as correntes de convecção se intensificaram.

O movimento do catavento confirma a ocorrência de convecção térmica, conforme visto no referencial teórico. A convecção é definida como um processo de transferência de calor que ocorre em fluidos (líquidos e gases) devido a diferença de densidade entre as regiões quentes e frias. No experimento, observou-se que o ar aquecido pelas velas subiu, enquanto o ar frio desceu, transferindo calor e fazendo com que o catavento girasse.

A velocidade de rotação foi influenciada pela intensidade do calor produzido pelas velas. Quanto maior a quantidade de calor, maior a diferença de temperatura entre o ar quente e frio, resultando em correntes de convecção intensas, resultando em um movimento mais rápido do catavento. Além disso, fatores como a distância entre o catavento e as velas podem ter influenciado a velocidade de rotação.

O experimento mostrou de forma prática como ocorre a convecção térmica, afirmando que o calor pode ser transferido por meio do movimento de fluidos. Além disso, destacou a importância de fatores como a intensidade do calor e a distância entre o catavento e as velas na eficiência da propagação de calor.

6 CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido destacou a relevância e a viabilidade de utilizar experimentos de baixo custo para o ensino de ciências, especialmente na área da física. Durante o trabalho foram investigados cinco experimentos: bexigas eletricamente carregadas, lente d'água e queda livre usando o aplicativo VidAnalysis, propagação de calor por condução e propagação de calor por convecção. Esses experimentos demonstraram de forma prática como os conceitos físicos ocorrem, usando materiais de baixo custo e acessíveis. A proposta de cada experimento foi estruturada para proporcionar uma conexão entre prática e a teoria, para facilitar o entendimento dos fenômenos físicos.

Os objetivos deste estudo foram alcançados, pois permitiram identificar experimentos de baixo custo que possam ser aplicados efetivamente no ensino de ciências. Os resultados mostraram que essa abordagem prática é eficiente e capaz de promover um aprendizado interativo, mesmo em ambientes com restrições financeiras.

Assim, constatou-se que a interação de experimentos de baixo custo ao ensino de ciências é uma solução viável para superar limitações, mantendo a qualidade de ensino e facilitando o entendimento dos conceitos físicos. O experimento bexigas eletricamente carregadas demonstrou a interação entre cargas elétricas, evidenciando os princípios da eletroestática. A lente d'água permitiu observar fenômenos ópticos, como a refração da luz e a formação de imagens ampliadas. Já o experimento de queda livre possibilitou uma análise do movimento de uma bola de papel, utilizando o aplicativo VidAnalysis para coletar os dados e gerar gráficos. Por último, os experimentos de propagação de calor por condução e convecção explicaram como o calor se propaga em diferentes materiais e fluidos, destacando a condutividade térmica e as correntes de convecção.

Portanto, pode-se concluir que este estudo contribui significativamente para o ensino de ciências, destacando que os experimentos de baixo custo são ferramentas valiosas e acessíveis. As práticas experimentais de baixo custo no ensino de ciências não apenas proporcionaram resultados satisfatórios, mas também ampliaram o conhecimento sobre os princípios físicos, tornando o aprendizado mais dinâmico e atrativo.

REFERÊNCIAS

ALVES, B. S. (2024). A importância do uso do laboratório de ciências no ensino fundamental. *Ciências Biológicas*, 28(131). DOI: 10.5281/zenodo.10685251. Disponível em: <https://revistaft.com.br/a-importancia-do-uso-do-laboratorio-de-ciencias-no-ensino-fundamental%c2%b9/>. Acesso em: 09 ago. 2024.

ARAÚJO, Fernando Grillo; KILLNER, Gustavo Isaac. A física contemporânea no ensino médio: uma proposta utilizando o conceito de refração negativa. *Experiências em Ensino de Ciências*, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 804-818, 2023. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/1336>. Acesso em: 26 mar. 2025.

ASTH, Rafael. Queda livre. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/queda-livre/>. Acesso em: 10 out. 2024.

ASTH, Rafael. Refração da luz: o que é, leis e índice. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/refracao-da-luz/>. Acesso em: 04 out. 2024.

BATISTA, Carolina. Tensão superficial da água. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/tensao-superficial-agua/>. Acesso em: 05 out. 2024.

GAGNO JÚNIOR, Fernando; BROZEGUINI, Jardel da Costa. Análise de fenômenos físicos em vídeos: uma proposta de ensino associada ao uso de smartphones em sala de aula. *Pesquisa e Ensino*, Barreiras-BA, v. 1, p. 1-22, 2020.

GOUVEIA, Rosimar. Condução térmica: fundamentos, aplicações e exercícios. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/conducao-termica/>. Acesso em: 07 dez. 2024.

GOUVEIA, Rosimar. Convecção térmica: fundamentos, exemplos e aplicações práticas. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/conveccao-termica/>. Acesso em: 07 dez. 2024.

GOUVEIA, Rosimar. Irradiação térmica: o que é, como ocorre, exemplos. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/irradiacao-termica/>. Acesso em: 07 dez. 2024.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica. Volume 2. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023. [livro eletrônico]. ISBN 9788521638568. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521638568/>. Acesso em: 07 dez. 2024.

HALLIDAY, David; RISNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos da física, volume 3: eletromagnetismo. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, David; RISNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos da física, volume 4: óptica e física moderna. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MELO, Pâmella Raphaella. Processos de eletrização. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/processos-eletrizacao.htm>. Acesso em: 27 set. 2024.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. O movimento de queda livre. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/o-movimento-queda-livre.htm>. Acesso em: 10 out. 2024.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. Tipos de lentes esféricas. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/lentes-1.htm>. Acesso em: 05 out. 2024.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros: volume 2: eletricidade e magnetismo, óptica. Tradução e revisão técnica de Naira Maria Balzarette. 6. Ed. [11ª Reimp.]. Rio de Janeiro: LTC, 2024.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física I: Sears e Zemansky: Mecânica. Colaborador A. Lewis Ford. Tradução de Daniel Vieira. Revisão técnica de Adir Moysés Luiz. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física II: Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas. Colaborador A. Lewis Ford. Tradução de Daniel Vieira. Revisão técnica de Adir Moysés Luiz. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015. ISBN: 9788540181400.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Sears e Zemansky: eletromagnetismo. Colaborador A. Lewis Ford. Tradução de Lucas Pilar da Silva e Daniel Vieira. Revisão técnica de Adir Moysés. 14. Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física IV: Sears e Zemansky: Ótica e Física Moderna. Colaborador A. Lewis Ford. Tradução de Daniel Vieira. Revisão técnica de Adir Moysés Luiz. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.