



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA

PATRIKY SOUZA ROCHA

**UMA PROPOSTA DE ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA ALUNOS DO
FUNDAMENTAL II E MÉDIO: "EGG DROP COMPETITION"**

FORTALEZA

2021

PATRIKY SOUZA ROCHA

UMA PROPOSTA DE ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA ALUNOS DO
FUNDAMENTAL II E MÉDIO: "EGG DROP COMPETITION"

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Física do Centro
de Ciências da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do grau de
licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Ascânio Dias Araújo

FORTALEZA

2021

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

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

R575p Rocha, Patriky Souza.

Uma proposta de atividade experimental para alunos do fundamental II e médio: "Egg drop competition" / Patriky Souza Rocha. – 2021.

68 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Ascânio Dias Araújo.

1. Atividade Experimental. 2. Egg Drop competition. 3. Desafio . 4. Software Tracker. 5. Mecânica. I. Título.

CDD 530

PATRIKY SOUZA ROCHA

UMA PROPOSTA DE ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA ALUNOS DO
FUNDAMENTAL II E MÉDIO: "EGG DROP COMPETITION"

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de licenciado em Física.

Aprovada em: 02 de setembro de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ascânio Dias Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Raul Peixoto da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, pelo apoio e o investimento em mim. À Kelcilene, minha amada. À todos que contribuíram com minha evolução.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

À minha mãe, Adriana, e ao meu pai, Gerardo, por todo apoio emocional e financeiro.

A minha noiva Kelcilene por ter incentivado-me, mesmo que indiretamente, a cursar Física. Sempre apoiando e aconselhando-me em todos os momentos desta minha graduação. Certamente, se não fosse por ela, não teria cursado Física.

Ao Prof. Dr. Ascânio Dias Araújo, por além de orientar-me em minha monografia ter tratado a mim e minha turma como filhos, agradeço também cada palavra dita em sala de aula, conselhos, vivências, oportunidades e por compartilhar seu conhecimento da física com todos nós.

Ao Colégio Sete de Setembro pela oportunidade de estágio, na qual aprendi mais do que ensinei aos meus queridos alunos da monitoria. À professora Yasmine, que foi minha coordenadora de estágio, pelos ensinamentos e a convivência escolar.

Aos meus amigos de estágio pelos ensinamentos e convivências que foram importantes para minha formação profissional.

Aos meus queridos amigos de graduação, João Vitor, Thalison, Leonardo, João Paulo e muitos outros, pelas resenhas, ensinamentos, companhia, companheirismos e cada risada que demos, levando um alívio cômico a um curso tão puxado.

Ao Prof. James do Colégio Sete de Setembro por mostrar a ideia que compõe esse trabalho e seu auxílio na elaboração dele.

Ao meu amigo Gabriel Silvério (Mossoró) por me ajudar neste trabalho e ser um verdadeiro companheiro de estudos.

À CAPES pela bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID).

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade e qualidade em ensino.

Um homem não faz nada sozinho, sempre existe algo para mudar sua forma de pensar, meu eterno obrigado.

“Tenho orgulho dos momentos que eu não desisti... e é isso que um cara vencedor faz: só não para.”

(Rodrigo Gomes)

RESUMO

Nesta monografia propomos uma atividade experimental chamada de desafio do ovo. Uma prática comum em alguns estados da América do Norte, com a participação de crianças e jovens. Esta atividade reúne conhecimentos de Física e Engenharia e tem como proposta uma aprendizagem significativas desses conhecimentos, além de ilustrar uma aplicação prática desses assuntos. A monografia começa com os assuntos da Física envolvidos no desafio, como fundamentação teórica. Em seguida, mostra a ferramenta Tracker como apoio na modelagem do lançamento, bem como um exemplo de aparato e modelagem. A monografia também mostra uma proposta de edital de competição com algumas regras a serem seguidas. Por fim, apresento uma proposta de sequência didática para aplicação nas turmas.

Palavras-chave: *Egg Drop Competition*; Experimentação; Mecânica.

ABSTRACT

In this monograph we propose an experiment called the Egg Challenge. A practice common in some states of the North America, that both child and young people are used to participate. This project unite knowledge of Physics and Engineering, with the proposal of a significant learning and practical application of these topics. The monograph begins with a presentation of the Physics topics involved in this challenge. Then, we showed the Tracker tool, that will work as a support in the modeling of the launch, as well as an exemple of a modeling apparatus. The monograph also shows a propose of competition notice with some rules to be followed. Finally, I propose of a teaching sequence for the application in classes.

Keywords: Egg Drop Competition; Experimentation; Mechanics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Gráfico da velocidade pelo tempo com aceleração constante.	22
Figura 2	– Gráfico da velocidade pelo tempo com aceleração constante e com a área demarcada.	22
Figura 3	– Uma caixa com determinada massa sendo deslocada de uma posição inicial A para a posição final B com uma força (F) constante.	24
Figura 4	– Uma caixa com determinada massa caindo de uma posição inicial A para uma posição final B com uma força peso (P) constante.	26
Figura 5	– Uma caixa com determinada massa caindo de uma posição inicial A para a posição final B com uma força peso (P) constante e uma força de resistência contrária ao movimento.	27
Figura 6	– Partida de Vôlei feminino mostrando um ataque e um bloqueio adversário. Imagem do cotidiano para contextualizar o conceito de sistema.	29
Figura 7	– Partida de tênis de mesa mostra dois jogadores rebatendo a bola um para o outro. Exemplo contextualizado para ilustrar o impulso em um corpo.	31
Figura 8	– Dois patinadores trocando pares de forças de ação-reação.	32
Figura 9	– No diagrama de forças, observa que apesar de as forças normal e gravitacional serem externas, sua soma vetorial é nula e o momento linear total se conserva.	33
Figura 10	– Foto de um violento acidente entre dois veículos na rua Itapicuru(SP). O carro das fotografias superiores é um Chrysler de uso particular, enquanto o veículo da foto inferior, placa A 1-569, é um veículo de praça (possivelmente um Chevrolet). Imagens extraídas do jornal A Gazeta de 30 de setembro de 1929.	35
Figura 11	– Carros antigos são até quatro vezes mais fatais em acidentes (Foto: Divulgação / ANCAP)	36
Figura 12	– Representação da queda de um paraquedista, foi feito um diagrama de força para representar a força de arrasto do corpo. Neste caso, percebe-se que é oposta ao vetor velocidade. Quando o vetor força peso for igualado ao vetor força de arrasto, o corpo atingirá a velocidade terminal.	38
Figura 13	– Gráfico do movimento de uma bola que foi solta do alto de uma torre. As linhas tracejadas correspondem ao gráfico do movimento no vácuo. a) Gráfico da velocidade em função tempo. b) Gráfico da posição em função tempo.	39

Figura 14 – Partícula em um movimento circular uniforme. O vetor vermelho representa a velocidade angular dela.	40
Figura 15 – Partícula em um movimento circular. O vetor vermelho representa a velocidade angular e o amarelo a aceleração angular da partícula.	41
Figura 16 – Momento de inércia de vários corpos com densidades uniformes.	42
Figura 17 – Figura que representa a fotografia estroboscópica, onde mostra que o tempo de queda é o mesmo para uma queda livre e um lançamento horizontal.	45
Figura 18 – As grandezas do movimento do Tracker para o estudo quantitativo.	46
Figura 19 – Interface do <i>Software Tracker</i> com uma análise de lançamento horizontal. Na figura é possível ver as principais funções do programa.	46
Figura 20 – Exemplo do aparato para lançamento.	47
Figura 21 – Interface do <i>Software Tracker</i> com uma análise da queda livre do aparato. Na figura é possível ver as principais funções do programa.	48
Figura 22 – Dados obtidos pela modelagem.	48
Figura 23 – Gráfico da altura em função do tempo para o aparato da Figura 21.	49
Figura 24 – Gráfico da velocidade no eixo y em função do tempo com o " <i>fit</i> " da curva, para o aparato da Figura 21.	49
Figura 25 – Fluxograma com a estruturação da resolução de um problema.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela que mostra o ganho ou perda de pontos para determinada ocorrência. 44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
TAME	Texas Alliance for Minorities in Engineering

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área
a	Aceleração
d	Deslocamento
D	Diâmetro
E_c	Energia cinética
F	Força
f	Força de arrasto
g	Aceleração da gravidade
I	Momento de inércia
I'	Impulso
K_r	Energia cinética de rotação
m	Massa
P	Peso
p	Momento linear
R	Raio
S	Espaço final
S_0	Espaço inicial
t	Tempo
U	Energia potencial
V	Velocidade
V_{af}	Velocidade relativa de afastamento
V_{ap}	Velocidade relativa de aproximação
W	Trabalho
α	Aceleração angular
Δ	Variação
τ	Tempo característico

ε	Coeficiente de restituição
ω	Velocidade angular
θ	Ângulo
Σ	Somatório

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Princípios Físicos envolvidos no desafio	20
2.1.1	<i>Cinemática de um corpo em queda livre</i>	20
2.1.2	<i>Energia e sua conservação</i>	24
2.1.3	<i>Leis de Newton, impulso e colisões</i>	27
2.1.3.1	<i>Momento linear</i>	28
2.1.3.2	<i>Conceito de sistema</i>	28
2.1.3.3	<i>Conceito de força externas e internas</i>	30
2.1.3.4	<i>Impulso</i>	30
2.1.3.5	<i>Conservação do momento linear</i>	32
2.1.3.6	<i>Colisões</i>	34
2.1.3.6.1	<i>Coefficiente de restituição ou de elasticidade (ϵ)</i>	34
2.1.4	<i>Resistência do Ar</i>	36
2.1.5	<i>Movimento de Rotação</i>	39
2.2	Uma breve introdução sobre o Desafio Egg Drop Competition	42
2.3	Regras de competição e diretrizes de construção	43
2.4	Software livre: TRACKER VIDEO ANALYSIS AND MODELING TOOL	44
2.5	Exemplo de um Recipiente e de um lançamento	47
2.6	Metodologia de resolução de problemas	50
3	PROPOSTA METODOLÓGICA	52
3.1	Sequência didática	52
3.1.1	<i>Aula 1 - Apresentação do projeto</i>	52
3.1.2	<i>Aula 2 - Leis de Newton e queda livre de um corpo</i>	53
3.1.3	<i>Aula 3 - Resistência do ar</i>	53
3.1.4	<i>Aula 4 - Energia Mecânica e sua Conservação</i>	53
3.1.5	<i>Aula 5 - Efeitos da Rotação</i>	53
3.1.6	<i>Aula 6 - Impulso e Colisões</i>	53
3.1.7	<i>Aula 7 - 1º Processo de Construção</i>	54
3.1.8	<i>Aula 8 - 2º Processo de Construção</i>	54

3.1.9	<i>Aula 9 - 1º Ajuste das Construções</i>	54
3.1.10	<i>Aula 10 - 2º Ajuste das Construções</i>	54
3.1.11	<i>Aula 11 - 3º Ajuste de Construções e Produção do relatório</i>	54
3.1.12	<i>Aula 12 - Orientações para o dia da competição</i>	55
3.1.13	<i>Dia da competição</i>	55
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICES	59
	APÊNDICE A–MODELO DE RELATÓRIO EXPERIMENTAL	59
	ANEXOS	62
	ANEXO A–EDITAL ORIGINAL DA COMPETIÇÃO	62

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo conhecimento vem desde os primórdios da raça humana, nossos antecessores buscavam compreender fatos relacionados à natureza para sua sobrevivência. Ao longo do tempo, os conhecimentos adquiridos foram divididos em áreas (Física, Química, Biologia, etc.) e têm finalidade atual de conhecimento de mundo e a formação crítica da população, como mostra uma das competências gerais da Base Nacional Comum Curricular (BNCC):

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

A Física é uma ciência que busca compreender e descrever a natureza, esses entendimentos são responsáveis por libertar a sociedade da ignorância e trazer avanços científicos e tecnológicos para o mundo. Contudo, muito se fala entre jovens e adultos o porquê de estudar matérias exatas, pois para eles este conhecimento é inútil. A física apresentada para eles é baseada em fórmulas para memorização que são aplicadas em provas sem saber o real significado das equações. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) mostram que:

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas (BRASIL, 2000).

Nesse trabalho, apresentamos uma atividade complementar experimental que tem como objetivo propor a realização do desafio do ovo para os estudantes com o intuito de fortalecer o processo de ensino aprendizagem bem como interesse pelo seguimento de carreiras científicas e tecnológicas. Nesse trabalho de monografia será utilizado a metodologia de resolução de problemas. Para isso é necessário uma mudança no contexto escolar, no tocante à utilização dos laboratórios didáticos. Para Borges as propostas curriculares que conflitam a ineficiência do ensino de ciências têm como uma das suas causas fundamentais do insucesso a ausência do laboratório (BORGES, 2002).

Atualmente em escolas públicas, nas quais há pouco investimento, os laboratórios estão na sua maioria inutilizáveis, isso se deve, sobretudo, à estrutura precária em que esses laboratórios se encontram ou mesmo pela falta de equipamentos. Neste contexto de ausência de laboratórios utilizáveis, o presente projeto destaca o uso de materiais de baixo custo e materiais recicláveis que pode ser realizado por alunos de todas as classes sociais e econômicas, incluindo aqui aqueles que estudam em escola públicas que carecem de estrutura laboratorial.

O desafio proposto consiste em um lançamento de um ovo dentro de uma cápsula. O problema a ser solucionado está na idealização e construção da cápsula que tem como objetivo a proteção do ovo que será lançado em uma queda livre. Esse desafio se assemelha aos desafios que as agências espaciais enfrentam nos lançamentos de equipamentos para a exploração de outros planetas. Portanto, é imprescindível que os estudiosos busquem soluções com base na Física e na Engenharia para impedir a quebra do aparato lançado. Vale destacar que, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), que é configurada nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), propõe que é extremamente importante aproximar o aluno das questões relacionadas à ciência e tecnologia em todo o cenário social, o que lhe dá a oportunidade de ter uma compreensão ampla da formação científica e tecnológica inserida na sociedade (BRASIL, 2000).

Na primeira parte do trabalho, apresento alguns dos assuntos da Física em uma forma contextualizada que serão abordados no projeto, como por exemplo: queda livre dos corpos e resistência do ar. Em seguida, apresento uma introdução ao Desafio *Egg Drop Competition* incluindo regras e diretrizes de construção que foram adaptadas com base no edital do projeto do *Don Harrington Discovery Center*. Esse material pode ser encontrado no Anexo A. No próximo tópico é mostrado um *Software* gratuito de vídeo análise para a modelagem da queda dos aparatos no qual é possível obter gráficos relacionados ao movimento de queda livre do corpo. Na sequência, é mostrado um exemplo de aparato, lançamento e sua respectiva modelagem. Na seção posterior, é dada uma breve introdução à metodologia de resolução de problemas que será utilizada na construção dos aparatos.

Na segunda parte do trabalho, é proposto uma sequência didática a ser trabalhada com os alunos, que está dividida em 13 encontros, sendo um deles o dia da competição. A sequência didática foi estabelecida levando em consideração a possibilidade de mudança nas ideias de construções dos aparatos por parte dos alunos após o conteúdo ministrado, sendo responsável por propiciar aos alunos reflexões e discussões com o seu grupo, sobre se as ideias

inicialmente propostas são capazes de realmente resolver o problema proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Princípios Físicos envolvidos no desafio

A proposta da atividade experimental visa o entendimento de alguns conceitos presentes na Física, mais especificamente na Mecânica Newtoniana. A partir do objetivo da competição, pode-se explicar esses fenômenos Físicos que além de auxiliar o estudante na própria disciplina poderá ajudar na construção de seu aparato. Tais fenômenos são: a cinemática de um corpo em queda livre, a energia e sua conservação, leis de Newton, o movimento de rotação, o impulso e colisões. Nas seções seguintes haverá uma breve introdução a esses tópicos da mecânica clássica.

Durante a etapa de planejamento e montagem de um aparato de proteção do ovo, infere-se que o estudante pense no tipo de material a ser utilizado, já prevendo o grau do impacto com solo, logo o estudante deverá ser criativo e escolher um material apropriado. Geralmente se utiliza material deformável (elásticos, borrachas, esponjas). Feito o aparato, o aluno põe o objeto em queda livre e observa o impacto com o solo. O objeto de estudo irá desde a montagem até a realização do experimento que envolve a queda livre e impacto com o solo.

2.1.1 *Cinemática de um corpo em queda livre*

O estudo de corpos em queda livre não é um assunto da atualidade com interesse sobre o tema que remota da antiguidade. Atualmente sabemos que os corpos caem com um movimento retilíneo uniformemente acelerado, que a gravidade é responsável pela aceleração dos corpos e que o tempo de queda independe da massa do corpo. Esse problema foi estudado por Galileu Galilei, que recebeu a educação aristotélica convencional.

Aristóteles (século IV a. C.) falava que a matéria era composta em termos de "Quatro Elementos": Terra, Água, Fogo e Ar, e que cada um teria o seu "lugar natural": Os Corpos com maiores densidades (terra e água) ficavam embaixo e com menores densidades (fogo e ar), em cima, ou seja, um elemento que é deslocado de seu estado natural tende a voltar para seu estado e isso explicava o porquê da queda dos corpos pesados. Ademais, os corpos com maiores massas caem com mais rapidez, isso tudo na visão aristotélica. De fato, isso está interligado com a observação direta da realidade. Quando realizamos um experimento com uma bala de canhão e uma folha de papel em queda livre, certamente para o observador, a bala de canhão chegará primeiro e torna-se natural a conclusão de que ela tem maior velocidade.

Após começar estudando Medicina pela Universidade de Pisa, Galileu mudou para matemática e após alguns anos tornou-se professor de matemática nessa universidade. Foi na cidade italiana que Galileu procurou verificar de forma experimental as ideias de Aristóteles, suas afirmações diziam que esferas de mesmo tamanho caíam aproximadamente na mesma velocidade. No entanto, o problema de Galileu foi medir o tempo, ele teve a ideia de medir com um relógio de água (a quantidade de água escorrida de um recipiente para outro com fluxo constante) enquanto um corpo descia em uma rampa levemente inclinada. Em seu livro: "Diálogo sobre os dois Principais Sistemas do Mundo", publicado em 1632, mostra o diálogo entre três personagens onde Salviati, personagem que representa Galileu, explica tais situações para os outros: Simplicio (um defensor de Aristóteles) e Sagrado (um observador imparcial).

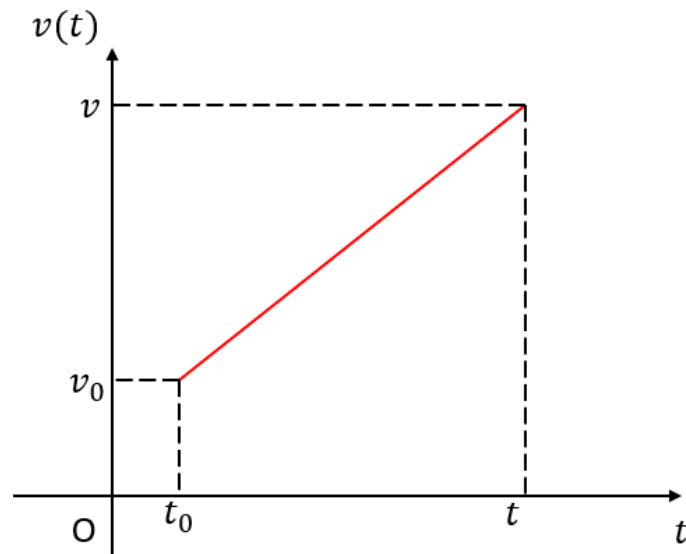
"Foi tomada uma prancha de madeira, com cerca de 12 cúbitos de comprimento, meio cúbito de largura e três dedos de espessura; tendo feito esta canaleta bem reta, lisa e polida, e tendo-a forrada com pergaminho, também tão liso e polido como possível, fizemos rolar ao longo dela uma bola de bronze dura, lisa e bem redonda. Tendo colocado a prancha numa posição inclinada, elevando uma extremidade um ou dois cúbitos acima da outra, rolamos a bola, como estava dizendo, ao longo da canaleta, anotando, da forma que vamos descrever, o tempo necessário para a descida. Repetimos este experimento mais de uma vez, afim de medir o tempo com tal precisão que o desvio entre duas observações nunca excedesse um décimo de um batimento do pulso. Tendo executado esta operação e tendo-nos assegurado de que o resultado merecia confiança, fizemos rolar a bola de apenas 1/4 do comprimento da canaleta; e tendo medido o tempo de descida, encontramos precisamente a metade do anterior. Tentamos a seguir outras distâncias, comparando o tempo para o comprimento total com aquele para a metade, ou 2/3, ou 3/4, ou qualquer outra fração; em tais experiências, repetidas cem vezes, sempre encontramos que os espaços percorridos estavam entre si como os quadrados dos tempos, e que isto valia para qualquer inclinação do plano, ou seja, da canaleta, ao longo da qual fazíamos rolar a bola... Para a medida do tempo, empregamos um grande recipiente com água, colocado numa posição elevada; uma canaleta de pequeno diâmetro foi soldada ao fundo do recipiente, deixando escoar um filete de água, que era coletado num copinho no decurso de cada descida, fosse ela ao longo de todo o canal ou apenas de uma parte dele; a água assim coletada era pesada, após cada descida, numa balança de muita precisão; as diferenças e razões desses pesos nos davam as diferenças e razões dos tempos, e isto com tanta precisão que, embora a operação fosse repetida muitas e muitas vezes, não havia discrepância apreciável entre os resultados".(NUSSENZVEIG, 2013)

A pergunta que pode ser feita é: os resultados obtidos por Galileu foram satisfatórios? Os historiadores da ciência se opõem, alguns considerando que os resultados alcançados tenham sido improváveis e outros acreditem que Galileu conseguiu resultados satisfatórios (HULSENDEGER, 2004).

Para estudar o movimento de queda livre tem-se que descrever o movimento como um todo. A trajetória pode ser considerada retilínea (em uma região que tenha pouca ação

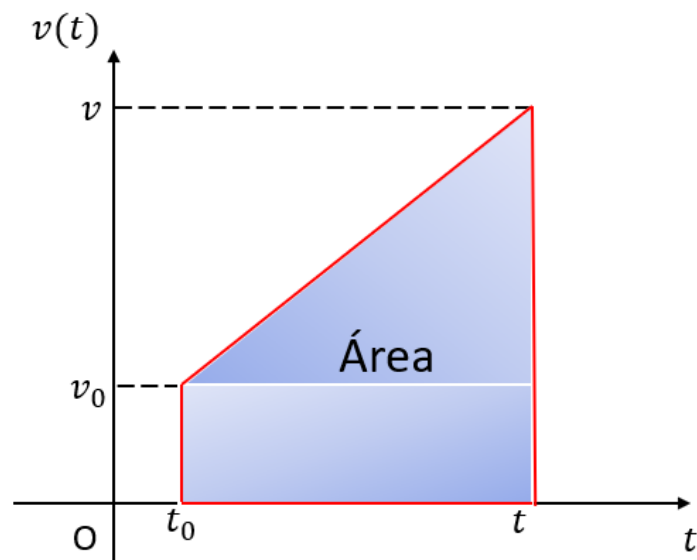
dos ventos) e sabe-se que o movimento é acelerado pela gravidade. A partir do gráfico da velocidade pelo tempo chega-se na função horária da posição. Considerando a aceleração constante no tempo, obteremos o gráfico de uma função afim (Figura 1), em que a área do gráfico é numericamente igual a distância percorrida pela partícula.

Figura 1 – Gráfico da velocidade pelo tempo com aceleração constante.



Fonte: Autor.

Figura 2 – Gráfico da velocidade pelo tempo com aceleração constante e com a área demarcada.



Fonte: Autor.

A área da Figura 2 é um trapézio retângulo, mas podemos dividir em duas áreas, um triângulo retângulo e um retângulo, pela geometria plana o cálculo das áreas é:

$$A_{\text{triângulo}} = \frac{\text{base} \cdot \text{altura}}{2} \quad (2.1)$$

e

$$A_{\text{retângulo}} = \text{base} \cdot \text{altura} \quad (2.2)$$

Substituindo os valores contidos no gráfico, sabendo que aceleração é a inclinação do gráfico da Figura 1 e sabendo que a área total é igual a soma das áreas, temos:

$$A_{\text{total}} = \Delta S = S(t) - S_0 = v_0 \cdot (t - t_0) + \frac{a(t - t_0) \cdot (t - t_0)}{2} \quad (2.3)$$

Finalmente é obtido a função horária da posição:

$$S(t) = S_0 + v_0 \cdot (t - t_0) + \frac{a(t - t_0)^2}{2}, \quad (2.4)$$

na qual a aceleração é constante e equivale, aproximadamente a $9,81 \text{ m/s}^2$. Note que, em todo esse cálculo foi desprezada a resistência do ar, essa atitude trás resultados satisfatórios dependendo se o corpo possui uma boa aerodinâmica. Caso o objeto tenha uma grande área e sem uma boa aerodinâmica, então teremos uma força oposta ao movimento, ou seja, freando o corpo. Um simples experimento com duas folhas de papeis, uma amassada em forma de bola e a outra plana que são soltas da mesma altura, apesar de terem mesma massa, a em forma de bola chegará primeiro por conta da sua melhor aerodinâmica.

Para encontrar a função da velocidade no tempo, lembramos o conceito de aceleração, que é a taxa de variação da velocidade no tempo, logo:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V - V_0}{t - t_0}. \quad (2.5)$$

Portanto,

$$V(t) = V_0 + a(t - t_0) \quad (2.6)$$

Finalmente, pode-se obter a função da velocidade em função da posição, para isso basta isolar o tempo da Equação 2.6 e substituir na Equação 2.4. Realizando as operações matemáticas, chega-se na Equação 2.7:

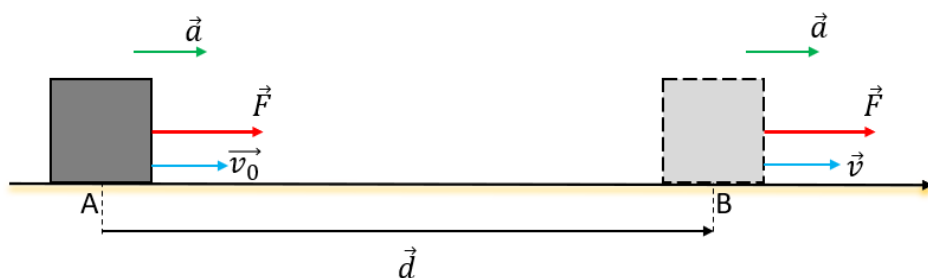
$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta S \quad (2.7)$$

A Fórmula 2.7 é a conhecida Equação de Torricelli, que permite calcular a velocidade final da partícula em um movimento retilíneo uniformemente variado. Utilizando desses princípios físicos e dos artifícios matemáticos, pode-se descrever todo o movimento da queda do ovo. O próximo tópico mostrará os conceitos de energia mecânica relacionados ao desafio.

2.1.2 Energia e sua conservação

No primeiro momento é necessário definir o conceito do trabalho de uma força. Para empurrar uma caixa de uma posição inicial à uma posição final fazendo uma força, ou seja, colocando-a em movimento é necessário um gasto de energia. Se alguém realiza esse trabalho gasta uma energia proveniente de sua alimentação, para conseguir mover a caixa. Nossa concepção do cotidiano mostra que quanto maior a massa da caixa mais força será preciso aplicar e mais energia será necessária para realizar esse movimento.

Figura 3 – Uma caixa com determinada massa sendo deslocada de uma posição inicial A para a posição final B com uma força (F) constante.



Fonte: Autor

Supondo que essa força (\vec{F}) seja constante ao longo do deslocamento, portanto, não mude seu módulo, direção e sentido, o trabalho de uma força (W) é definido como sendo o produto escalar da força pelo deslocamento.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (2.8)$$

Vale ressaltar que essa força da Figura 3 é paralela ao deslocamento, ou seja, se a força fizer um ângulo qualquer com o deslocamento o que importará para realização do trabalho é a componente F_x da força, caracterizando o trabalho como uma grandeza escalar.

Considerando que é feita uma força (\vec{F}) sobre um bloco de massa (m) que está sobre uma superfície horizontal sem atrito, como mostra a Figura 3, pela segunda lei de Newton (Equa-

ção 2.17), essa caixa terá uma aceleração (\vec{a}) proporcional à força aplicada. O deslocamento da caixa pode ser obtido através da equação de Toricelli (Equação 2.7), logo o trabalho (W) é dado por,

$$W = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}. \quad (2.9)$$

Sendo $mv^2/2$ a energia cinética do corpo. Podemos enunciar o teorema da energia cinética, que estabelece: o trabalho total das forças externas é igual à variação da energia cinética.

$$W = \Delta E_c. \quad (2.10)$$

Com isso, tem-se um significado físico para compreender a energia cinética. "A energia cinética de uma partícula é igual ao trabalho total realizado para acelerá-la a partir do repouso até sua velocidade presente.(HUGH; FREEDMAN, 2016)".

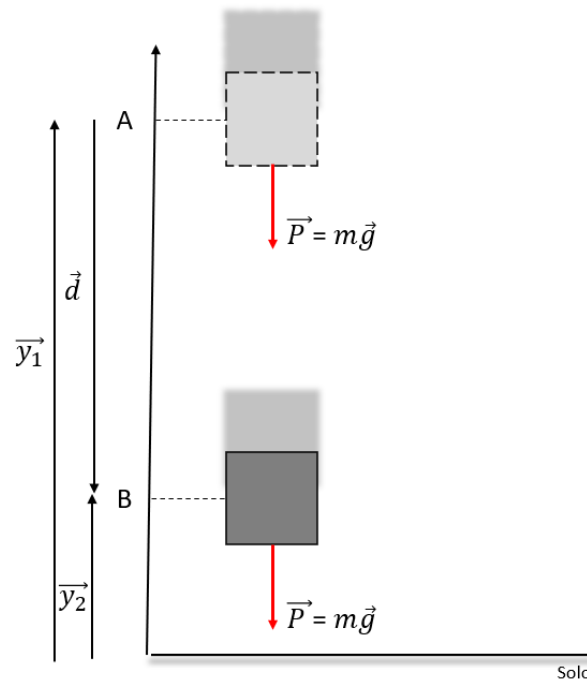
No próximo caso, um corpo de determinada massa cai de uma altura (h), como mostra a Figura 4. A força peso atuante no bloco realiza trabalho para o levar de uma posição y_1 para uma posição y_2 , pela Equação 2.8:

$$W_{peso} = mgd = mg(y_2 - y_1) \quad (2.11)$$

Assim, o trabalho realizado pela força peso na queda de um corpo pode ser calculado como sendo igual ao negativo da variação da energia potencial gravitacional.

$$W = -\Delta U_{grav} \quad (2.12)$$

Figura 4 – Uma caixa com determinada massa caindo de uma posição inicial A para uma posição final B com uma força peso (P) constante.



Fonte: Autor

Nessa situação é mostrado que deve existir uma energia associada com a posição dos corpos, ela é chamada de energia potencial, pois fornece a possibilidade da realização de um trabalho. Observa-se que quanto maior a altura, maior será a energia potencial gravitacional associada.

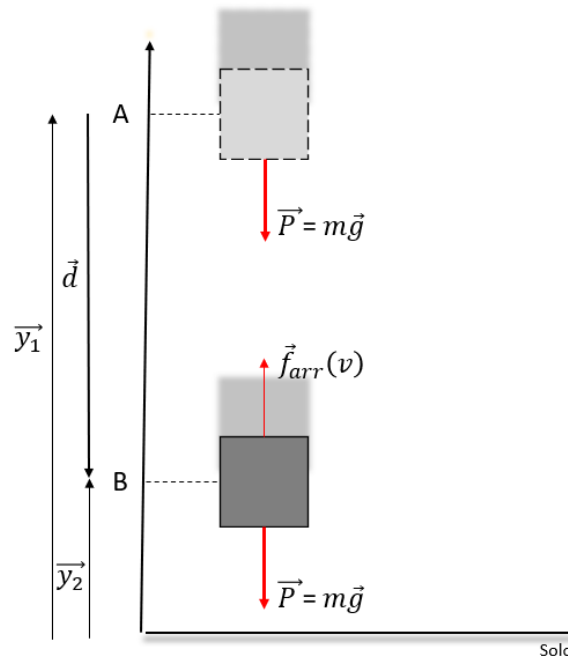
Para forças conservativas, que o cálculo do trabalho não muda para diferentes caminhos entre dois pontos, temos que a energia mecânica total do sistema é conservada. Neste caso a energia fica se transformando entre cinética e potencial. Igualando o cálculo do trabalho segundo as Equações 2.10 e 2.12 e organizando os termos, tem-se:

$$E_{c,1} + U_{grav,1} = E_{c,2} + U_{grav,2}. \quad (2.13)$$

O índice 1 da Equação 2.13 é a energia cinética e potencial gravitacional no estado inicial do sistema e o índice 2 é no estado final. Vale enfatizar que a Equação 2.13 só é válida se somente a força gravitacional realizar trabalho.

Isto é válido para uma idealização, na prática existem outras forças realizando trabalho como a força de arraste (atrito). Considere o mesmo bloco da Figura 4 agora como uma força de arraste, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Uma caixa com determinada massa caindo de uma posição inicial A para a posição final B com uma força peso (P) constante e uma força de resistência contrária ao movimento.



Fonte: Autor

Com a presença de uma força adicional dissipativa ao sistema é necessário adicionar ao trabalho total o trabalho realizado pela força de arraste na forma.

$$W_{total} = W_{grav} + W_{outra}. \quad (2.14)$$

Utilizando os conceitos anteriores, isso implica que:

$$E_{c,1} + U_{grav,1} + W_{outra} = E_{c,2} + U_{grav,2}. \quad (2.15)$$

Portanto, a Equação 2.15 diz que: "O trabalho total realizado por outras forças além da gravidade é igual à variação da energia mecânica total do sistema (HUGH; FREEDMAN, 2016)".

2.1.3 Leis de Newton, impulso e colisões

No nosso cotidiano é comum observarmos colisões, algumas drásticas como choque de veículos, outras que se torna um "Hobby" como um jogo de sinuca. Quando um evento desse tipo acontece normalmente tratamos como uma situação comum e aleatória do nosso dia a dia e esquecemos os conceitos Físicos envolvidos. O conceito essencial é a conservação do momento linear em um sistema isolado, definido como um sistema sem a presença de forças externas.

2.1.3.1 *Momento linear*

O momento linear é uma grandeza física relacionada à inércia de um corpo definido pelo produto da massa do corpo pela sua velocidade. Newton, em seu livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, define o momento linear (ou *motion*). "A quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria."(NEWTON, 2016). Matematicamente podemos representar o momento linear (\vec{p}) como:

$$\vec{p} = m \vec{v}. \quad (2.16)$$

Trata-se de uma grandeza do tipo vetorial e sua direção e sentido coincidem com a direção e sentido da velocidade. A forma geral do momento linear está relacionada com a segunda lei de Newton. "A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida."(NEWTON, 2016). Ele ainda nos diz que uma força imprimida é uma ação exercida em um corpo com a finalidade de alterar o seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta (NEWTON, 2016). Matematicamente podemos expressar desta forma:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}. \quad (2.17)$$

Essa relação mostra que a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre um corpo é dada pela taxa de variação do momento linear do corpo em relação ao tempo. O momento linear é conservado em sistemas fechados, mas antes de formular sua conservação, deve-se conhecer o conceito de sistema.

2.1.3.2 *Conceito de sistema*

O conceito de momento linear é especialmente importante quando ocorre interação entre dois ou mais corpos em um sistema isolado. Para estudar a dinâmica do sistema com base nas Leis de Newton e ver o porquê de sua importância, tem-se que definir os corpos que fazem parte do sistema.

1. Corpos que pertencem ao sistema: São corpos que possam se movimentar livremente e que não possuam massa infinitamente grande comparada aos demais corpos pertencentes ao sistema.
2. Corpos que não pertencem ao sistema: Em oposição ao Item 1, são corpos fixos ou que possuem massa infinitamente grande quando comparada às demais massa do sistema.

Figura 6 – Partida de Vôlei feminino mostrando um ataque e um bloqueio adversário. Imagem do cotidiano para contextualizar o conceito de sistema.



Fonte: Beto Doloriert (2019).

Vamos considerar a seguinte situação da Figura 6. Podemos destacar os corpos que estão interagindo entre si, ou seja, estabelecendo pares de força ação-reação: As jogadoras dos dois times, bola, mastro, quadra, rede, juiz, gandula e placas de propaganda.

A terra interage com todos os corpos pela ação do seu campo gravitacional ocasionando em cada corpo uma característica definida como peso. A quadra está interagindo com o mastro e os jogadores através de um par de forças de contato (normal). Um time, joga a bola para o outro, estabelecendo com a bola um par de força de contato. A bola pode ocasionalmente colidir com o mastro, rede ou a quadra, por exemplo.

Como dito na segunda Lei de Newton, corpos aceleram quando existe uma força resultante atuando, mas existem corpos no sistema que não se movimentam quando aplicado força sobre eles, como o mastro, a quadra e as placas de propaganda. Neste caso podemos dizer

que esses corpos estão fixos ou que possuem uma massa muito grande, portanto, sua aceleração é nula quando é aplicada uma força. Dizemos que os corpos fixos fazem parte do ambiente e não do sistema. Portanto, podemos dividir esse exemplo em dois tópicos, ambiente e sistema:

1. Ambiente: Rede, mastro, quadra e placas de propaganda.
2. Sistema: Jogadoras, bola, juiz e gandula.

Para um movimento em queda livre o objeto de estudo torna-se ainda mais simples, visto que os agentes são somente o corpo que irá colidir (Sistema) e o solo (Ambiente). Dentre os corpos que estão no sistema, em relação às forças, ainda podemos os dividir em forças externas e internas.

2.1.3.3 *Conceito de força externas e internas*

Agora, consideremos todas as forças que agem no sistema do exemplo da Figura 6, ou seja, estamos falando das forças que agem nos seguintes corpos: Jogadores, bola, juiz e gandula.

Forças internas que agem no sistema - Dizemos que a força é interna quando o corpo que "exerce a força" e o corpo que "sofre a referida força" pertencem ao sistema. Como por exemplo:

1. A força que a jogadora imprime na bola.
2. A força que a bola aplica na jogadora.

Forças externas que agem no sistema - São as forças que "os corpos que estão no ambiente" exercem nos "corpos que pertencem ao sistema". Como por exemplo:

1. A força normal que a quadra exerce nas jogadoras.
2. A força que a quadra aplica na bola.
3. A força peso que a terra exerce na bola e nas jogadoras.
4. A força de atrito que a quadra aplica nas jogadoras.

2.1.3.4 *Impulso*

Considere o seguinte exemplo: em uma partida de tênis de mesa os jogadores repassam a bola de um lado para o outro, com o objetivo de marcar pontuação (Figura 7). Nas competições olímpicas é fácil ver o jogador rebatendo a bola com uma certa força (jogada conhecida popularmente como "corte").

Quando o jogador rebate dizemos que ele impulsionou a bola, em outras palavras,

Figura 7 – Partida de tênis de mesa mostra dois jogadores rebatendo a bola um para o outro. Exemplo contextualizado para ilustrar o impulso em um corpo.



Fonte: Divulgação/ITTF (2018).

aumentou a velocidade da bola e consequentemente aumentou o momento linear. Equacionando a situação, temos:

1. A bola vem em sua direção com uma certa velocidade inicial: V_0
2. Quando impulsiona a bola, aplica uma força, supondo que ela tenha valor constante ($F = ma$), em um intervalo de tempo bem curto (Δt).
3. A bola volta ao oponente com velocidade final igual a: $V_{final} = V_0 + a\Delta t$
4. Multiplicando a equação do item 3 pela massa da bolinha, que deve ser constante durante seu movimento, obtemos:

$$p_{final} = p_{inicial} + F\Delta t \quad (2.18)$$

A equação 2.18 acima diz que a quantidade de movimento MV_f que a bola possuirá depois da raquetada é a quantidade de movimento inicial MV_0 que ela tinha antes "mais" a quantidade de movimento que ela ganhou depois da raquetada. Esse acréscimo da quantidade de movimento expresso pelo termo matemático $F\Delta t$ da Equação 2.18 é chamado de "Impulso aplicado pela a força F no intervalo de tempo Δt , que podemos representar pela letra I " (NETO, 2014). Logo, realizando uma simples operação matemática, temos que o impulso é igual a

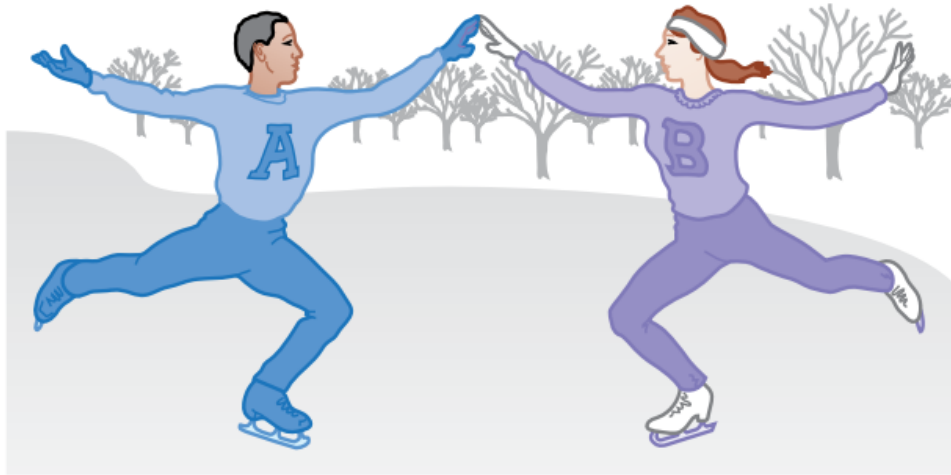
variação da quantidade de movimento (Equação 2.19).

$$\vec{I}' = \Delta \vec{p} \quad (2.19)$$

2.1.3.5 Conservação do momento linear

Para falarmos da conservação do momento linear, vamos exemplificar uma situação de interação entre dois corpos. Supomos dois patinadores no gelo e que esses se empurram mutuamente, logo, eles deslizam ao longo de uma superfície de gelo como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Dois patinadores trocando pares de forças de ação-reação.

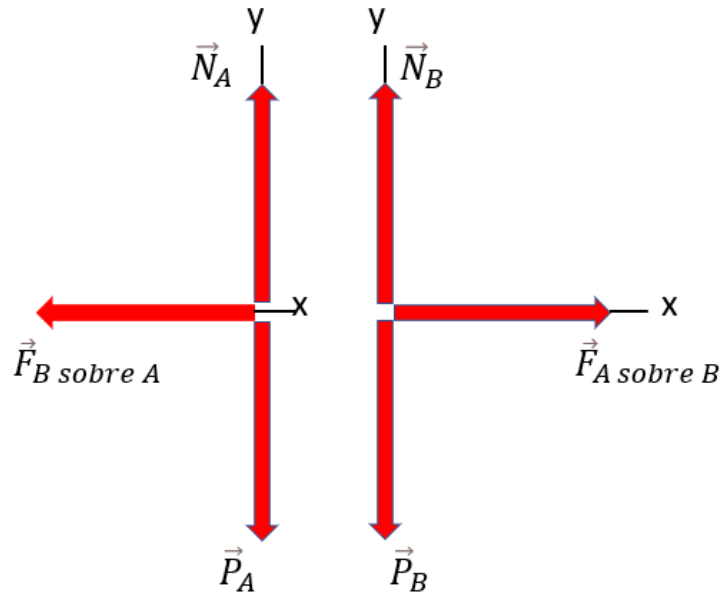


Fonte: Hugh e Freedman (2016)

Cada partícula exerce uma força sobre a outra, em concordância com a terceira Lei de Newton. "A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas."(NEWTON, 2016). Logo as forças possuem o mesmo módulo, a mesma direção, mas sentidos opostos, consequentemente, os impulsos que atuam sobre as pessoas possuem o mesmo módulo, mesma direção, mas sentidos opostos. Como mostra a Equação 2.19, os vetores momento linear também são iguais e contrários. No caso do exemplo da Figura 8, não é um sistema isolado, pois existem forças externas como mostra a esquematização na Figura 9.

Como a força que A faz em B e a força que B faz em A formam um par de ação e

Figura 9 – No diagrama de forças, observa que apesar de as forças normal e gravitacional serem externas, sua soma vetorial é nula e o momento linear total se conserva.



Fonte: Autor

reação, o momento linear é conservado. Pela terceira Lei de Newton, temos:

$$\vec{F}_{A\text{sobre}B} = -\vec{F}_{B\text{sobre}A} \quad (2.20)$$

Em uma simples operação matemática e utilizando a Equação 2.17 para as duas forças, obtemos a seguinte expressão:

$$\vec{F}_{A\text{sobre}B} + \vec{F}_{B\text{sobre}A} = \frac{d(\vec{p}_a + \vec{p}_b)}{dt} = \vec{0} \quad (2.21)$$

Pode-se concluir que as taxas das variações dos momentos lineares também são iguais e contrárias, logo $\vec{p}_a + \vec{p}_b$ é igual a zero e o momento linear total do sistema é constante. Tem-se, então, o seguinte enunciado geral:

"Quando a soma vetorial das forças externas que atuam sobre um sistema é igual a zero, o momento linear total do sistema permanece constante"(HUGH; FREEDMAN, 2016).

Esse é o enunciado da lei da conservação do momento linear, percebe-se que é uma consequência evidente da terceira lei de Newton.

2.1.3.6 Colisões

No senso comum quando se fala em colisões é de se imaginar choques de veículos em altas velocidades, mas não só isso, esse termo pode ser entendido como uma interação entre dois corpos em um curto intervalo de tempo, dessa interação pode as partículas trocar energia e momento. Existem até colisões onde as partículas não se tocam. No contexto de espalhamento, quando existe uma interação de longo alcance que não permite o toque entre as partículas. Pode-se classificar três tipos de colisões, as elásticas(ou perfeitamente elásticas), inelásticas e as parcialmente elásticas, para isso devemos conhecer o conceito de coeficiente de restituição ou de elasticidade.

2.1.3.6.1 Coeficiente de restituição ou de elasticidade (ϵ)

O coeficiente de restituição é definido como sendo a razão entre as velocidade relativa de afastamento dos corpos com a velocidade relativa de aproximação dos corpos, matematicamente, tem-se a relação:

$$\epsilon = \frac{|V_{af}|}{|V_{ap}|} \quad (2.22)$$

É importante salientar que o coeficiente de restituição (ϵ) não depende da massa do corpo e sim do material no qual o corpo é constituído. Trata-se de uma grandeza adimensional, pois é definida pela razão de duas grandezas com a mesma unidade.

É fácil ver que os valores de ϵ pertencem ao intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$. Esses valores para o coeficiente restituição estabelece o que ocorre antes e depois da colisão, ou seja, se irá ter percas, ou não, de energia. Observamos que se o ϵ for igual a um, a velocidade relativa de aproximação é igual a velocidade relativa de afastamento, portanto a velocidade não alterou, logo, energia cinética do sistema foi conservada. Na física, principalmente quando se trata de didática é notório desprezamos efeitos complexos nos fenômenos físicos, como resistência do ar, viscosidade do líquido, dentre outros. Colisões nas quais não há percas de energia são valores teóricos, ou seja, é considerado uma situação hipotética de colisão. Em uma colisão, temos as fases de deformação e restituição, como por exemplo, uma bola colide com a parede, deforma e depois se restitui, nesse processo devemos ter perca de energia pelo som, aquecimento das moléculas na área de contato com os dois corpos e pela deformação do corpo sem o processo de restituição (como é o caso dos automóveis).

Um exemplo notável do dia a dia é a deformação de veículos em acidentes de trânsito. É comum nossos avós falarem que antigamente as coisas eram bem feitas e com materiais melhores, dentre os fatos mencionados, provavelmente irá falar dos automóveis. Seus argumentos são baseados em que os veículos eram resistentes e em possíveis colisões não tinham as deformações de hoje, como mostra a Figura 10 de um acidente do ano de 1929, é possível ver a pouca deformação do veículo em comparação os testes de colisão de 2011 como observado na Figura 11.

Figura 10 – Foto de um violento acidente entre dois veículos na rua Itapicuru(SP). O carro das fotografias superiores é um Chrysler de uso particular, enquanto o veículo da foto inferior, placa A 1-569, é um veículo de praça (possivelmente um Chevrolet). Imagens extraídas do jornal A Gazeta de 30 de setembro de 1929.



Fonte: São Paulo Antiga (2011).

Hoje sabemos que os veículos se deformam em uma proporção maior para proteger a cabine. Os engenheiros chamam de carroceria com deformação programada, pois têm o objetivo de deformar o carro e absorver a energia do impacto. Os fabricantes fazem marcações na estrutura para que o metal possa se deformar de forma prevista. Essa estrutura reduz as elevadas desacelerações abruptas no corpo, que são perigosas, pois os órgãos internos mantêm a velocidade podendo ser fatal ao condutor. A deformação absorve boa parte da energia da colisão

protegendo a cabine e seus ocupantes.

Figura 11 – Carros antigos são até quatro vezes mais fatais em acidentes (Foto: Divulgação / ANCAP)



Fonte: Divulgação/ANCAP

2.1.4 Resistência do Ar

Quando corpos estão se movimentando em fluídos, como um carro que se movimenta no ar, existe uma força de arrasto que na maioria dos casos causa um retardamento no movimento. Essa força de resistência depende da velocidade do corpo e é oposta ao vetor velocidade. Isso considerando alguns objetos simétricos sem rotação, como mostra a Figura 12. Como a força de resistência do ar e velocidade são opostas, vamos considerar apenas os objetos que têm forças laterais nulas. Logo, a função força de arraste é do tipo:

$$\vec{f} = -f(v)\hat{v}, \quad (2.23)$$

onde \hat{v} é o versor velocidade que é igual ao vetor velocidade (\vec{v}) dividido pelo seu módulo ($|\vec{v}|$). É importante dizer que a função torna-se complicada quando a velocidade atinge valores próximos a velocidade do som. Entretanto, como nosso lançamento é de pequenas alturas (seis metros) o nosso objeto chegará no solo com uma velocidade máxima de aproximadamente dez metros por segundo, portanto, a função é válida para nosso problema. Para velocidades baixas, consideramos:

$$f(v) = bv + cv^2 = f_{linear} + f_{quadrática}, \quad (2.24)$$

onde os termos que compõem a força de arraste dependem do meio e da geometria do objeto. O termo linear é em geral proporcional à viscosidade do meio e do comprimento linear do corpo. O termo quadrático é proporcional à densidade do meio e à área da seção transversal do objeto. Essa relação com a área da seção transversal é fácil de demonstrar, basta pegar duas folhas de papéis idênticas, uma amassada na forma de esfera e outra plana, quando lançadas ao mesmo tempo, a esfera chegará primeiro ao solo, pois sua área da seção transversal é menor. Para uma esfera temos que as constantes da Equação 2.24 são:

$$b = \beta D \qquad c = \gamma D^2,$$

onde a constante D é o diâmetro, $\beta = 1,6 \times 10^{-4} \text{Ns}/\text{m}^2$ e $\gamma = 0,25 \text{Ns}^2/\text{m}^4$ são constantes da natureza do meio, medidas em Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP). Se dividirmos a força quadrática pela força linear, considerando um diâmetro, por exemplo, de sete centímetros e uma velocidade de cinco metros por segundo, o termo quadrático é seiscentos vezes maior que o linear, ou seja, a força de resistência do ar para objetos do cotidiano e para nosso problema é puramente quadrática sendo desprezível o termo linear. Como nosso problema é uma queda livre, precisamos estudar a resistência do ar quadrática em um movimento vertical.

Um exemplo notável da resistência do ar é um paraquedista, quando está em movimento de queda livre (paraquedas fechado) seu peso acelera o corpo e a resistência do ar freia. Como a resistência do ar depende da velocidade, chegará um momento que a força de resistência é igual ao peso, tendo uma resultante de forças nula e a pessoa atingirá uma velocidade limite (ou velocidade terminal). Quando o paraquedas é aberto a área de contato com o ar é aumentada, que por consequência tem um aumento na resistência do ar, que é responsável por frear o movimento e levar segurança ao paraquedista.

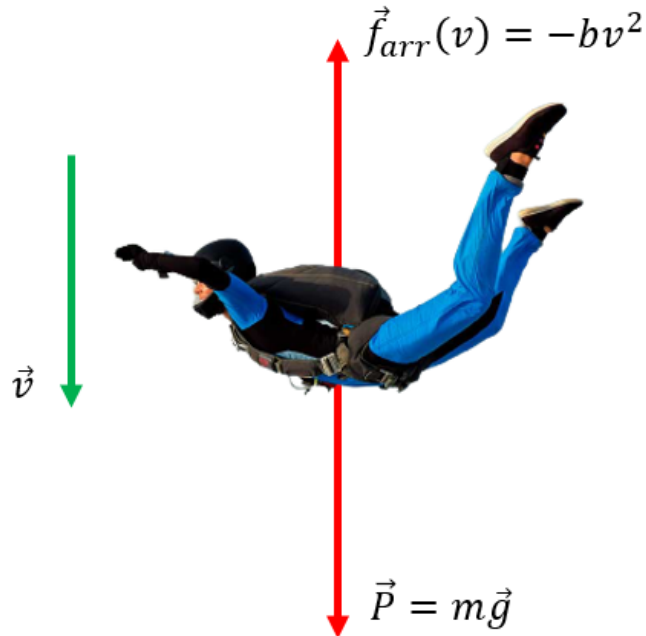
Utilizando a segunda lei de Newton (Equação 2.17), encontramos uma equação diferencial do tipo:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - cv^2. \qquad (2.25)$$

Neste caso, a velocidade terminal atingida pelo corpo quando a resultante das forças é nula é

$$v_{lim} = \sqrt{\frac{mg}{c}}. \qquad (2.26)$$

Figura 12 – Representação da queda de um paraquedista, foi feito um diagrama de força para representar a força de arrasto do corpo. Neste caso, percebe-se que é oposta ao vetor velocidade. Quando o vetor força peso for igualado ao vetor força de arrasto, o corpo atingirá a velocidade terminal.



Fonte: WOW Paraquedismo (2020). Adaptada pelo Autor.

Combinando as Equações 2.25 e 2.26 , temos:

$$\frac{dv}{dt} = g\left(1 - \frac{v^2}{v_{lim}^2}\right) \quad (2.27)$$

e desenvolvendo um pouco o calculo diferencial e integral, a partir da Equação 2.27 podemos encontrar facilmente que a função horária da velocidade é dada por

$$v = v_{lim} \tanh\left(\frac{gt}{v_{lim}}\right). \quad (2.28)$$

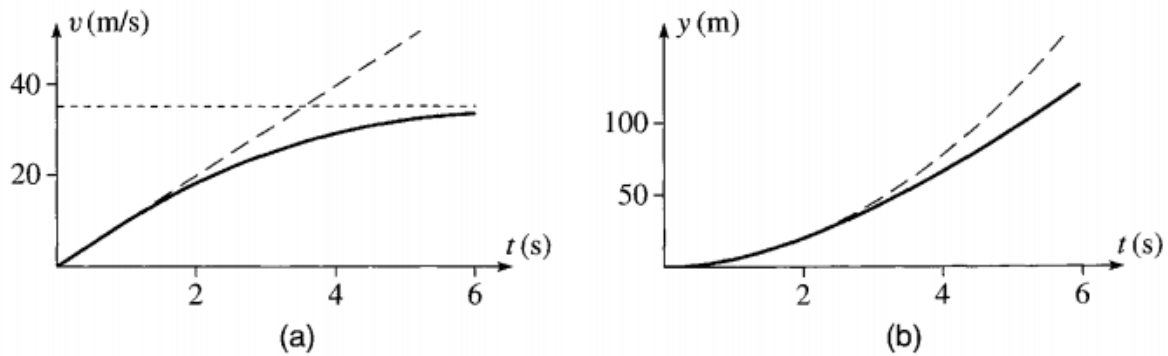
Para determinar a função horária da posição y do movimento, assim como fizemos na equação 2.4, é necessário realizar mais uma integração na velocidade, onde obtemos

$$y(t) = y_0 + v_{lim}\tau \ln\left(\cosh\left(\frac{t}{\tau}\right)\right). \quad (2.29)$$

Nesta equação o parâmetro (τ) sendo o tempo característico dado por $\tau = v_{lim}/g$. No livro texto do Taylor (2013) podemos encontrar um exemplo de uma bola largada de uma torre alta, cuja massa é de massa de 0,15 quilograma e um diâmetro de 7 centímetros. Utilizando

a Equação 2.26 encontramos uma velocidade limite de 35 metros por segundo. A representação gráfica do movimento da bola está representada na Figura 13.

Figura 13 – Gráfico do movimento de uma bola que foi solta do alto de uma torre. As linhas tracejadas correspondem ao gráfico do movimento no vácuo. **a)** Gráfico da velocidade em função tempo. **b)** Gráfico da posição em função tempo.



Fonte: Taylor (2013).

Nota-se que a velocidade real do corpo aproxima de uma velocidade limite enquanto a velocidade do corpo no vácuo cresce sem limites. A posição inicialmente cresce análogo ao movimento no vácuo, mas decai quando a velocidade aumenta e a resistência do ar fica mais significativa e o gráfico da posição em função do tempo se aproxima de uma reta, já que a força resultante é nula.

É notável que os passos para obter as equações descritas aqui fogem da proposta do ensino médio, mas a apresentação da mesma e o comportamento gráfico podem trazer uma noção significativa para o entendimento do comportamento de um corpo sujeito a um arrasto linear. Na próxima seção, é mostrado como o movimento de rotação pode influenciar no lançamento vertical do aparato.

2.1.5 Movimento de Rotação

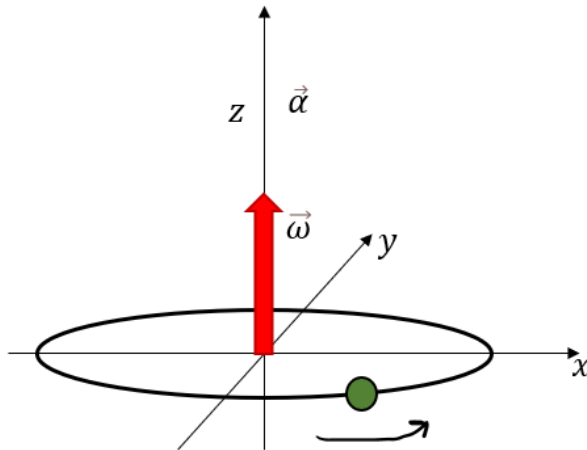
É bastante comum observar corpos realizando um movimento de rotação ao longo do dia, como por exemplo, as rodas dos veículos, os piões, ventiladores e até mesmo o movimento que a terra realiza em torno do próprio eixo que determina, para nós, dias e noites. Esse tópico é extenso e tentarei resumi-lo abordando as partes mais importantes para a atividade experimental.

Em um movimento de translação que variar o espaço linear em um determinado tempo, defini-se velocidade escalar média. Em um movimento de rotação existe uma variação angular em um determinado tempo, logo é necessário definir uma velocidade angular média (ω),

Equação 2.30. Essa velocidade é vetorial e é perpendicular ao plano de rotação, como mostra a Figura 14.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (2.30)$$

Figura 14 – Partícula em um movimento circular uniforme. O vetor vermelho representa a velocidade angular dela.



Fonte: Autor.

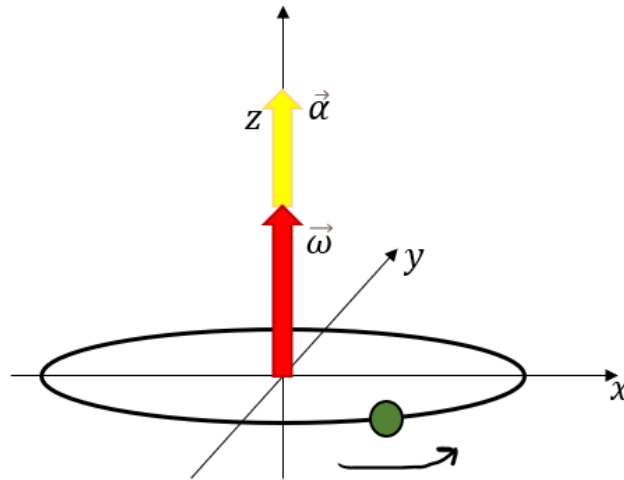
E quando há variação dessa velocidade angular, existirá uma aceleração angular média (α) dada por:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.31)$$

Este também é um vetor orientado na mesma direção que a velocidade angular como mostra a Figura 15. Ainda é possível relacionar a velocidade de translação com a velocidade de rotação, para isso vamos imaginar um corpo qualquer realizando um movimento de rotação em relação a um eixo. O eixo é o centro de uma circunferência e o corpo percorre seu arco, ele está a uma distância R do eixo. O tempo que o corpo leva para percorrer uma circunferência completa é definido como período. Comparando a velocidade linear com a angular, obtém-se a relação entre elas:

$$V = \omega R \quad (2.32)$$

Figura 15 – Partícula em um movimento circular. O vetor vermelho representa a velocidade angular e o amarelo a aceleração angular da partícula.



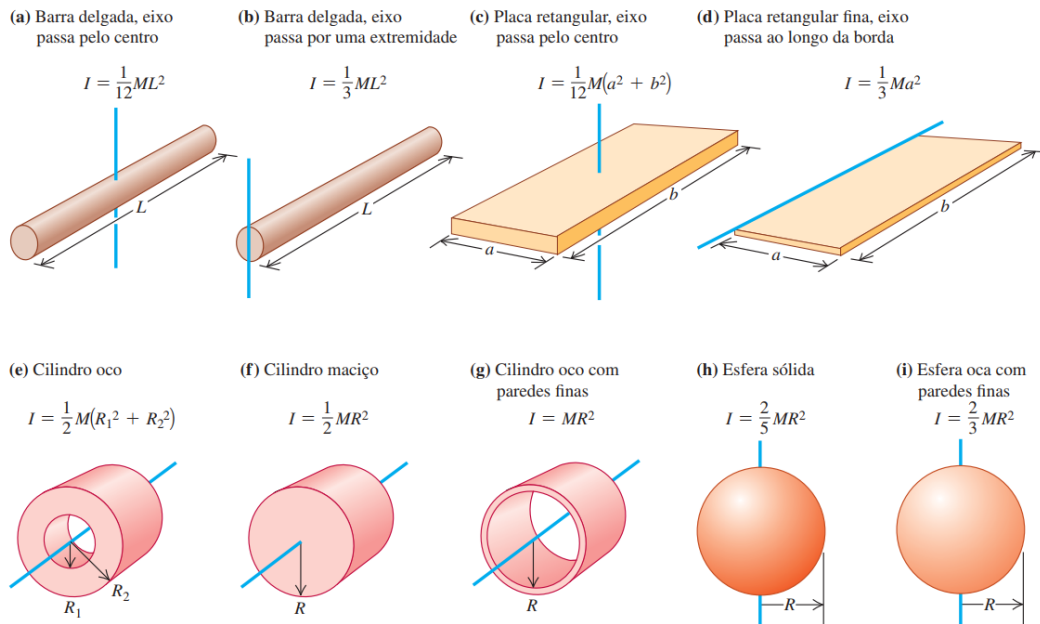
Fonte: Autor

Como complemento do Tópico 2.1.2, trataremos da energia no movimento de rotação. Espera-se que o corpo que rotacione em relação à algum eixo consuma energia para tal movimento. Substituindo a Equação 2.32 na Equação da energia cinética (2.9), obtemos a energia cinética de rotação:

$$K_r = \frac{1}{2}mR^2\omega^2, \quad (2.33)$$

onde o produto da massa pelo raio elevado ao quadrado é denominado momento de inércia do corpo em relação ao eixo de rotação. O momento de inércia é semelhante a massa na translação. Quanto maior o momento de inércia, maior será a energia para movimentar(girar) esse corpo. Ele depende da geometria do corpo e depende também da localização do eixo de rotação adotado. A Figura 16 mostra alguns valores de (I) para diferentes geometrias em relação aos seus respectivos eixos de rotação.

Figura 16 – Momento de inércia de vários corpos com densidades uniformes.



Fonte: Hugh e Freedman (2016).

2.2 Uma breve introdução sobre o Desafio Egg Drop Competition

O desafio "Egg Drop" traduzindo "Queda do ovo" não é muito popular nas escolas brasileira sendo mais popular nas escolas e universidades norte americanas. No Brasil algumas escolas particulares desafiam seus alunos a participarem dessa atividade divertida. Os participantes são encarregados de projetar um aparato para um ovo que permita ele ser jogado de uma determinada de altura em um piso rígido sem ser quebrado. A princípio é um problema de engenharia, mas certamente serão usados princípios físicos para resolver este desafio.

Todo ano o centro de ciências "Don Harrington Discovery Center" realiza a competição com parceria da Texas Alliance for Minorities in Engineering (TAME). Este trabalha para incentivar a participação de mulheres e minorias em carreiras de tecnologia, ciência e matemática, por meio de uma estrutura científica inovadora e prática para alunos do ensino fundamental e médio no Texas (ENGINEERING, 2021). O Don Harrington Discovery Center trata-se de um centro sem fins lucrativos e é localizado no Texas, EUA, que tem como objetivo estimular a aprendizagem despertando a curiosidade (HARRINGTON, 2019).

Como se trata de uma competição, a inscrição vem com um edital que contém algumas regras básicas e diretrizes de construção. Entretanto, o professor responsável por realizar essa atividade na escola pode alterar os critérios propostos. Na próxima seção serão mostradas regras básicas a serem seguidas visando a situação socio-econômica dos alunos da

rede pública estadual, utilizando-se de materiais de baixo custo ou recicláveis para realização do projeto.

2.3 Regras de competição e diretrizes de construção

Apesar de ter um objetivo simples e direto de não quebrar o ovo, por se tratar de uma competição é necessário constituir critérios de avaliação. Portanto, foram criadas regras da competição e diretrizes para a construção do aparato. Essas regras foram baseadas no edital original da "Don Harrington Discovery Center"(HARRINGTON, 2019)(Anexo A).

1. Os recipientes devem ser fabricados pelos participantes com o mínimo de auxílio do professor;
2. O aluno irá competir com uma única invenção com dimensões (altura, comprimento e largura) máximas permitidas de 35cm;
3. O objetivo é criar o mais leve, menor, mais rápido e o mais preciso recipiente de proteção;
4. O ovo será lançado em um piso de concreto coberto com uma fina camada de lona (alvo);
5. O recipiente deve ter capacidade para troca do ovo cru em um tempo de 60 segundos, caso o ovo seja danificado na troca terá perda de pontos. A tabela 1 mostra o total de pontos perdidos para cada ocorrência;
6. Aparatos fabricados com 50% de material reciclável ganharão pontos extras. O aluno deverá comprovar isso para os juízes;
7. No dia da competição, as equipes deverão entregar uma ficha técnica (relatório) juntamente com o recipiente para análise;
8. Um aluno irá lançar a capsula e o outro irá conduzir para análise dos juízes;
9. Um ovo quebrado será definido como aquele que está visivelmente vazando seu conteúdo. Fraturas capilares não irão ser consideradas rachaduras. Esta determinação fica a critério do(s) juiz(es);
10. Não poderá ser utilizado na construção: kits preexistentes, plástico bolha ou similares, paraquedas, outros gases com exceção do ar, líquidos ou outros materiais que possam "espurrar"líquidos, animais;
11. Esponjas ou similares serão permitidas apenas para criar os componentes do berço do ovo(região interna).
12. O não cumprimento dos itens acima levará o grupo a ser desqualificado, o juiz será responsável pela decisão, ficando critério dele prosseguir com o aparato justificando-o tal

ato.

Tabela 1 – Tabela que mostra o ganho ou perda de pontos para determinada ocorrência.

Ocorrência	Ganho	Perca
Danificar ovo em troca	0	50
Fabricar com 50% de material reciclável	50	0
Não acertar o alvo	0	50

Fonte: o autor.

A pontuação de cada grupo será baseada na equação 2.34 abaixo:

$$P = \frac{75Q}{(M + L^2 + T)} + R - D \quad (2.34)$$

P = Pontuação obtida;

Q = Valor referente à queda do ovo, se quebrar corresponderá ao valor 1 e 500 para o ovo inteiro;

M = Massa do recipiente sem o ovo (gramas);

L = Maior dimensão em qualquer direção (cm)(não podendo ultrapassar 35cm);

T = Tempo de queda (s)

R = Ganho de pontos para materiais recicláveis;

D = Perca total de pontos devido às ocorrências.

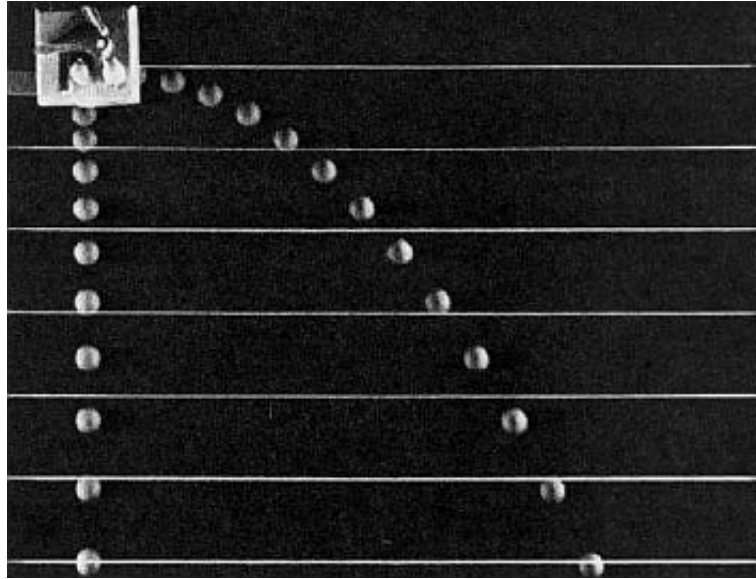
O ganhador será aquele que obtiver maior pontuação. O tempo de queda será computado através de uma filmagem do movimento e analisado por gráficos no *Software Tracker*. A próxima seção mostrará uma introdução ao uso deste programa.

2.4 Software livre: TRACKER VIDEO ANALYSIS AND MODELING TOOL

Imagens e vídeos têm auxiliado estudantes e professores há um bom tempo, um exemplo disso são as fotografias estroboscópicas como mostra a Figura 17. Com o avanço tecnológico surgiram vários *Softwares* voltados a educação, dentre eles, um laboratório de Física virtual, o *Tracker*.

Essa ferramenta excelente e gratuita criada pelo professor Douglas Brown, do Cabrillo College na Califórnia, tem como função a análise e modelagem de vídeo. Pode-se utilizar ela para diversas situações, mas seu principal objetivo é melhorar o aprendizado em Física (BROWN *et al.*, 2021). Basicamente, o programa analisa *frame* por *frame* e em cada um

Figura 17 – Figura que representa a fotografia estroboscópica, onde mostra que o tempo de queda é o mesmo para uma queda livre e um lançamento horizontal.



Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2020)

deles pode-se destacar alguns aspectos importantes do fenômeno, como por exemplo, a posição de um objeto em um determinado tempo. Com isso, o *Software* constrói gráficos e o usuário tem a liberdade de escolher suas variáveis como mostra a Figura 18.

A Figura 19 mostra a interface do programa, onde podemos ver alguns pontos importantes do aplicativo. Na tela central é onde fica o vídeo gravado pelo estudante ou professor, o usuário deve traçar um eixo de coordenadas e marcar o ponto de massa *frame* por *frame* (no intervalo escolhido), após feito isso o programa mostra os dados obtidos e a construção do gráfico do movimento. É importante ressaltar que o eixo de coordenadas do gráfico é escolhido pela pessoa, podendo ir da posição até a velocidade angular do corpo.

Figura 18 – As grandezas do movimento do Tracker para o estudo quantitativo.

- x: componente x da posição
- y: componente y da posição
- r: intensidade da posição
- θ_r : ângulo da posição
- vx: componente x da velocidade
- vy: componente y da velocidade
- v: intensidade da velocidade
- θ_v : ângulo da velocidade
- ax: componente x da aceleração
- ay: componente y da aceleração
- a: intensidade da aceleração
- θ_a : ângulo da aceleração
- θ : ângulo de rotação
- ω : velocidade angular
- α : aceleração angular
- step: número de pulso
- frame: quadro número
- px: componente x do momento
- py: componente y do momento
- p: intensidade do momento
- θ_p : ângulo do momento
- pixelx: pixel x-component
- pixely: pixel y-component
- K: energia cinética

Fonte: Software Tracker.

Figura 19 – Interface do *Software Tracker* com uma análise de lançamento horizontal. Na figura é possível ver as principais funções do programa.

Opções: massa, eixo, vetor, etc.

Gráfico

Salvar e importar arquivos

Ajuste de Frames

Dados obtidos.

t (s)	x (m)	y (m)
0.000	-5.027E-2	0.517
0.050	-1.634E-2	0.517
0.100	-2.890E-2	0.495
0.151	-4.925E-2	0.450
0.201	-6.013E-2	0.384
0.251	-6.013E-2	0.280
0.301	-6.728E-2	0.193
0.351	-8.139E-2	1.569E-2
0.401	-9.267E-2	0.148
0.451	-0.110	0.253
0.502	-0.125	0.336
0.552	-0.145	0.397
0.602	-0.160	0.432
0.652	-0.176	0.445
0.702	-0.189	0.432

Fonte: Autor.

Este aplicativo tem um grande potencial para o ensinamento de gráfico, visto que, após a realização do experimento deve-se analisar e compreender o gráfico obtido.

2.5 Exemplo de um Recipiente e de um lançamento

Foi criado, a nível de exemplo, um singelo recipiente de proteção para o ovo, que pode ser visto na Figura 20, ele foi feito com materiais recicláveis e tem como objetivo proteger o ovo da queda livre.

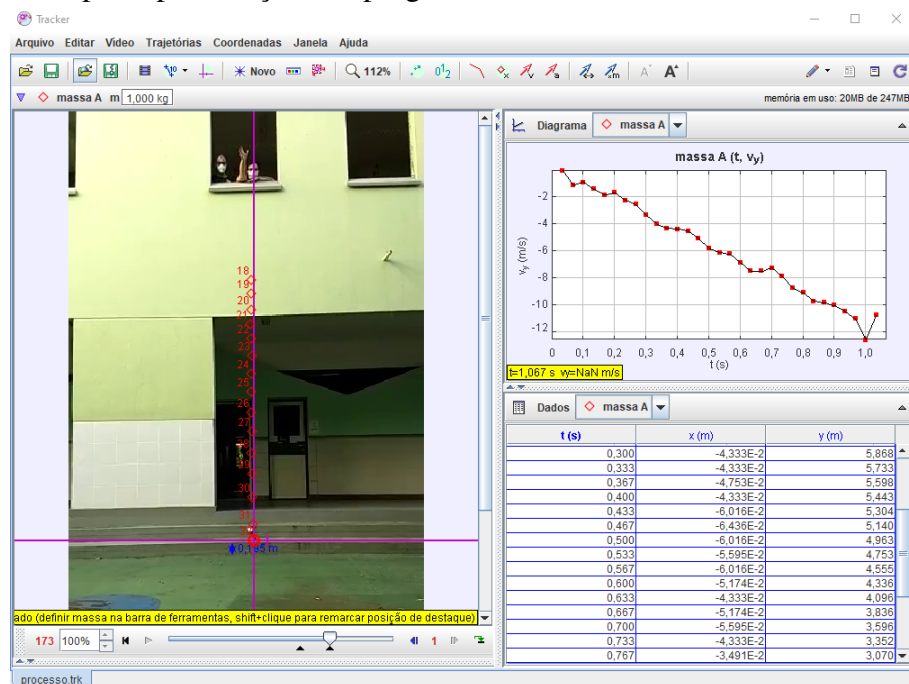
Figura 20 – Exemplo do aparato para lançamento.



Fonte: Autor.

O processo de criação e os materiais usado estão descritos no Modelo de Relatório que se encontra no Apêndice A. O lançamento foi realizado no Colégio Sete de Setembro, sede aldeota. O aparato foi filmado durante a queda e modelado de acordo com a Subseção 2.4. A Figura 21 mostra o exemplo de modelagem e a Figura 22 mostra os dados obtidos. Com estes dados o programa mostra gráficos que os eixos podem ser alterados pelo operador do Software (Figura 18).

Figura 21 – Interface do *Software Tracker* com uma análise da queda livre do aparato. Na figura é possível ver as principais funções do programa.



Fonte: Autor.

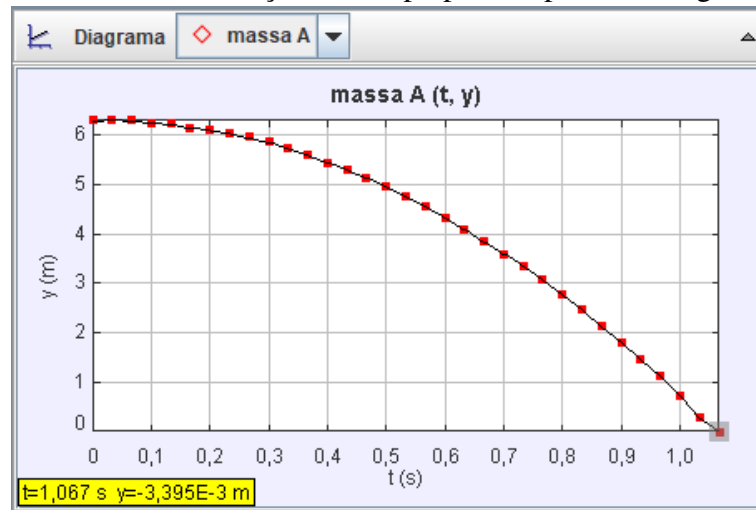
Figura 22 – Dados obtidos pela modelagem.

t (s)	x (m)	y (m)
0,300	-4,333E-2	5,868
0,333	-4,333E-2	5,733
0,367	-4,753E-2	5,598
0,400	-4,333E-2	5,443
0,433	-6,016E-2	5,304
0,467	-6,436E-2	5,140
0,500	-6,016E-2	4,963
0,533	-5,595E-2	4,753
0,567	-6,016E-2	4,555
0,600	-5,174E-2	4,336
0,633	-4,333E-2	4,096
0,667	-5,174E-2	3,836
0,700	-5,595E-2	3,596
0,733	-4,333E-2	3,352
0,767	-3,491E-2	3,070

Fonte: Autor.

Um exemplo de gráfico está na Figura 23 que mostra como a altura varia com o tempo. É possível notar a consistência com a Equação 2.4, que é uma função quadrática, logo, o gráfico é uma parábola com concavidade para baixo.

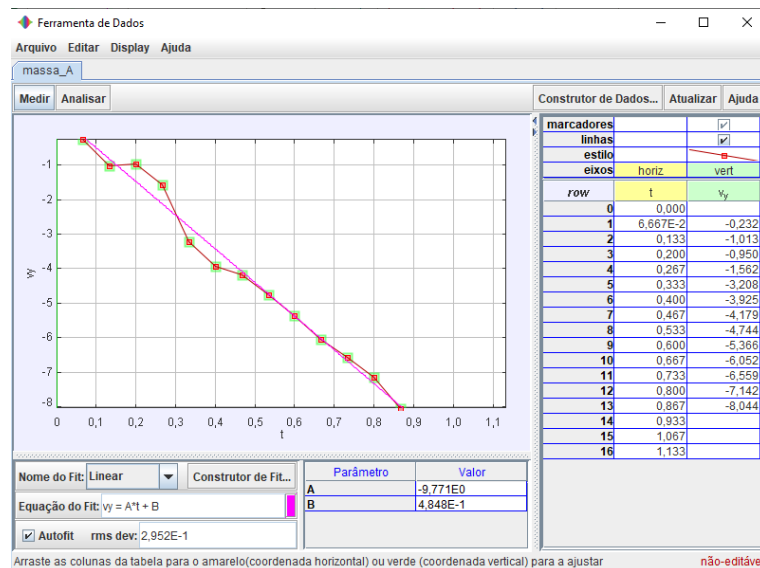
Figura 23 – Gráfico da altura em função do tempo para o aparato da Figura 21.



Fonte: Autor.

O lançamento foi mal-sucedido ocasionando a quebra do ovo, mas a nível de exemplo é possível ilustrar a experimentação. Os problemas relacionados à quebra foram corrigidos. Com estes dados, é possível obter o valor aproximado da aceleração da gravidade. Neste exemplo o valor obtido foi de $9,771 \text{ ms}^{-2}$ que é um erro de 0,4% no valor de $9,81 \text{ ms}^{-2}$, como mostra a Figura 24. Para aumentar a precisão dos dados do exemplo, para isso basta colocar uma régua de referência de ajuste de escala. Neste caso, a escala foi baseada no tamanho do degrau das escadas da Figura 21.

Figura 24 – Gráfico da velocidade no eixo y em função do tempo com o "fit" da curva, para o aparato da Figura 21.



Fonte: Autor.

2.6 Metodologia de resolução de problemas

Quando se fala no termo "resolução de problemas", especialmente no ambiente escolar, há uma concepção natural com a ação de resolver questões. Consequentemente, a palavra "problema" torna-se mediocrizada restringindo-a a essas atividades (MENEHELLI *et al.*, 2018). Um dos métodos utilizados para aprendizagem, principalmente nas matérias de Física e de Matemática, é a resolução de questões. De fato o método é eficaz, pois se trata do aprendizado por repetição. Entretanto, utilizar somente dessa estratégia como método de aprendizagem é problemático, pois fortalece a ausência de senso crítico e da visão científica voltada aos fenômenos naturais.

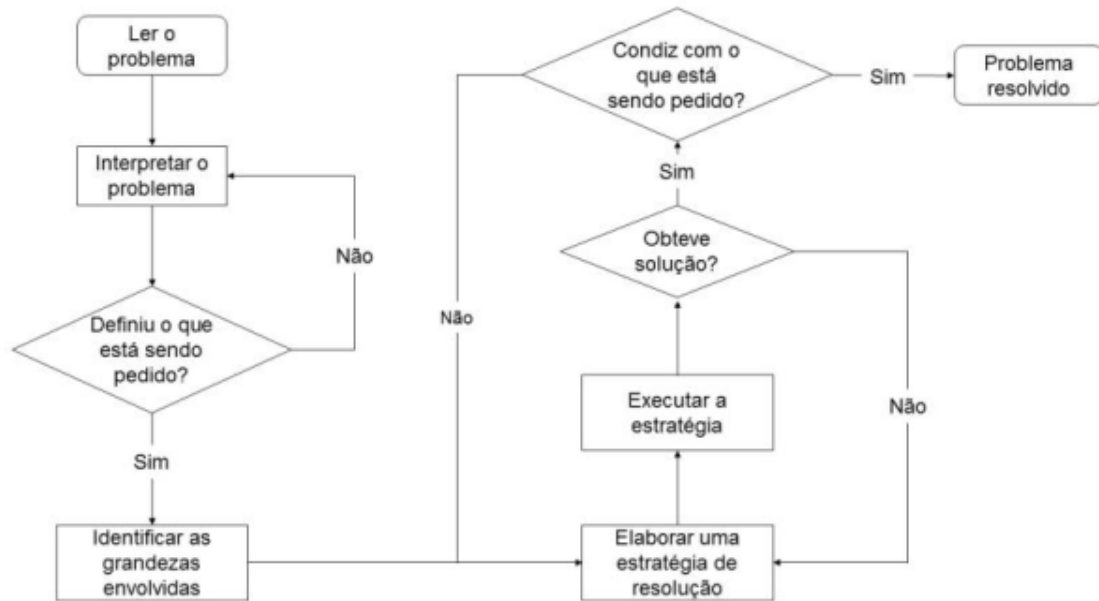
Esta metodologia diferenciada ficou mais conhecida a partir das publicações dos trabalhos de Polya (1995), principalmente no seu famoso livro "A arte de resolver problemas", apesar de ser um matemático e essa metodologia encaixar muito bem no ensino dessa disciplina pode-se utilizá-la em qualquer situação. O método de investigação de Polya é bem mais abrangente e não destinava apenas aos problemas matemáticos, mas se a busca pela solução do problema não estiver clara no enunciado da questão o método poderá ser utilizado em qualquer situação (ALLEVATO, 2014).

Podemos aplicar essa discussão no contexto do experimento da quebra do ovo. No desafio existe um problema que é impedir que um ovo quebre ao ser deixado cair de uma determinada altura. A solução não está clara, visto que, existem algumas regras a serem cumpridas. Portanto, soluções rápidas como o uso de paraquedas ou cozinhamento do ovo seriam descartadas, forçando o estudante a pensar em outros métodos utilizando princípios físicos e realizando testes até resolver o desafio.

O método de Polya (1995) segue uma sequência lógica de quatro passos na resolução de um problema: 1) Compreender o problema (O aluno deve identificar a incógnita, analisar os dados para saber se é possível satisfazê-la e se preciso traçar um desenho); 2) Elaborar um plano de resolução (Nesse passo o estudante deverá encontrar uma conexão entre os dados e a incógnita, caso não consiga poderá usar um problema auxiliar que seja correlato); 3) Executar o plano; 4) Examinar a solução obtida (Nesse caso tem-se que verificar o resultado e se é possível chegar ao mesmo resultado por um caminho diferente). Para melhor exemplificar esse método, Meneghelli *et al.* (2018) construíram um fluxograma como mostra a Figura 25.

Portanto, o desafio do ovo exige dos estudantes um comportamento ativo e uma diligência para propor soluções que resolvam o problema. Para isso será utilizadas práticas

Figura 25 – Fluxograma com a estruturação da resolução de um problema.



Fonte: (MENEGHELLI *et al.*, 2018)

laboratoriais para a construção do berço do ovo. Quando essa metodologia é interligada a essas práticas é possível que o entendimento de conceitos seja favorecido proporcionando uma visão correta dos trabalhos científicos aos estudantes (GONZALES, 1992).

3 PROPOSTA METODOLÓGICA

O desafio engloba muitos conteúdos, principalmente, da mecânica que é geralmente o conteúdo abordado no primeiro ano do ensino médio. Portanto, deve-se pensar no período da aplicação do desafio de acordo com o andamento da parte teórica. Para alunos do fundamental o desafio deve ser modificado para ser simplesmente introdutório, visto que, a parte de mecânica não é abordada.

Para a realização das atividades experimentais os estudantes deverão ser incentivados a trabalharem em grupo, pois essas práticas sociais contribuem para uma construção do conhecimento científico de forma colaborativa.

3.1 Sequência didática

Nos próximos tópicos tem-se um exemplo de uma sequência didática que foi dividida em treze encontros, incluindo a apresentação do projeto, a preparação, a montagem e o dia da competição. Cada encontro com uma hora de duração, salvo o dia da apresentação, que pode durar mais tempo.

É importante que o número de integrantes em um grupo não corresponda a um valor alto, pois todos devem contribuir com a construção do aparato, para o trabalho ser em conjunto, logo, o aconselhável é que não ultrapasse 5 integrantes por grupo.

Ressaltando que os próximos tópicos são idealizados, pois, com o período pandêmico, ficou inviável a aplicação do projeto, ficando, assim, como proposta de atividade.

3.1.1 Aula 1 - Apresentação do projeto

Esta aula estará reservada para a apresentação do problema, juntamente com as regras e diretrizes do desafio, mostrando aos alunos o que eles podem fazer para a construção do aparato. O professor também deve apresentar o *Software Tracker*, apresentado na Seção 2.2, e explicar como o aplicativo será usado para retirar os gráficos e contabilizar o tempo de queda. É importante mostrar exemplos de aparatos (que não poderá ser copiado) e um exemplo de relatório que os alunos terão que entregar no final da décima segunda aula. O orientador deve mandar que todos os alunos pensem nas possíveis soluções para resolver o problema.

3.1.2 Aula 2 - Leis de Newton e queda livre de um corpo

Ressaltando que é pressuposto que os alunos já tenham visto o conteúdo detalhadamente, logo as aulas devem ser curtas e aplicadas ao problema a fim de recordação. Os tópicos que poderão ser abordados nesta aula estão no Capítulo 2. No segundo momento, os grupos irão se reunir para discutir os aparatos propostos e decidir com base na vivência cotidiana e na primeira aula teórica duas soluções, uma principal e uma secundária.

3.1.3 Aula 3 - Resistência do ar

Nesta aula o professor pode discutir com os alunos os efeitos causados pela resistência do ar. Logo após, os alunos deverão se reunir para discutir entre si sobre as ideias propostas, podendo fazer alterações com base nas aulas 2 e 3. O professor deve prestar um mínimo de auxílio, portanto, com base na metodologia de resolução do problema, o orientador deve somente instigar aos alunos a pensarem se realmente aquela solução pode funcionar.

3.1.4 Aula 4 - Energia Mecânica e sua Conservação

Relembrar os conceitos de energia e seus tipos, diferenciando a cinética (translação e rotação) da potencial (gravitacional e elástica). Novamente, haverá discussão entre grupos para ajustes de suas ideias. Nessa parte o grupo já deverá ter escolhido uma solução principal.

3.1.5 Aula 5 - Efeitos da Rotação

O professor irá discutir com os alunos os efeitos causados pela rotação, introduzindo os conceitos de momento de inércia e energia de rotação, já que essa parte não se vê no ensino regular. Os tópicos que podem ser abordados nessa parte estão localizados na Subseção 2.1.5.

Penúltima vez que os alunos devem discutir sobre de seus modelos, usando os conhecimentos adquiridos ao longo das aulas teóricas. Lembrando que até este quinto encontro os alunos ainda não colocaram o projeto em prática, estarão fazendo somente o esboço.

3.1.6 Aula 6 - Impulso e Colisões

Última parte do conteúdo teórico, o professor deve ministrar aos alunos os conceitos de impulso e colisões, mostrando a importância do amortecimento da queda devido a colisão

com o solo.

Para finalizar a parte teórica, os alunos novamente se juntam para argumentar a respeito do seu projeto, podendo alterar suas ideias com base nas últimas aulas.

Em virtude disso, os alunos devem reunir todos os materiais que serão utilizados na montagem do aparato.

3.1.7 Aula 7 - 1º Processo de Construção

Os alunos devem começar a montagem de seus aparatos, o professor pode auxiliá-los. Para evitar a perda e o desgaste das estruturas do aparato seria melhor o depósito do aparato na própria escola.

3.1.8 Aula 8 - 2º Processo de Construção

O grupo tem que terminar seu protótipo para realização dos primeiros testes. O primeiro teste pode ser realizado com o berço sem o ovo de uma altura de dois metros. Caso os alunos não tenham terminado a tempo esse processo, pode-se pular esta etapa.

3.1.9 Aula 9 - 1º Ajuste das Construções

Caso o teste anterior tenha danificado a estrutura, os alunos devem ajustar e mudar de acordo o dano. Será realizado um novo teste filmado com a estrutura sem o ovo solta de uma altura de seis metros (a altura do campeonato). A filmagem serve para os alunos construírem seus primeiros gráficos através do programa.

3.1.10 Aula 10 - 2º Ajuste das Construções

Será realizado um novo ajuste e um novo teste filmado, desta vez com o ovo dentro do berço. Nesse momento o aluno deve novamente verificar a falhas para possíveis ajustes.

3.1.11 Aula 11 - 3º Ajuste de Construções e Produção do relatório

Último ajuste das construções e a produção de um relatório do projeto. O relatório deve conter os materiais usados, os desenhos do projeto, dimensão, peso, os gráficos obtidos no teste e um pequeno texto explicando o porquê o aparato foi montado daquela forma, lembrando os princípios físicos envolvidos.

3.1.12 Aula 12 - Orientações para o dia da competição

O professor deve orientar os alunos a como se comportarem no dia da competição, sobre o dia, a data, a hora, como será feito o lançamento, como será avaliado, dentre outros aspectos. Nesta aula 12 o professor deve verificar os relatórios que serão entregues e colocar junto com o projeto, para que os alunos no dia da competição entreguem para os juízes.

3.1.13 Dia da competição

O lançamento das cápsulas devem ocorrer de uma altura de seis metros, logo a escola deve possuir esta estrutura, que deve ser segura, pois como dito nas regras, o aluno irá lançar a capsula. Caso não seja possível, o professor poderá fazer alterações dessas regras.

A competição pode ser julgada à partir de um juiz, que observará o lançamento, juntamente com o relatório entregue. O aluno mostrará para o juiz se o conteúdo do ovo está vazando (Item 8 da Seção 2.3). Ao final da competição o organizador mostrará o vencedor que obteve maior pontuação calculada a partir da Equação 2.34. A premiação pode ocorrer na forma de medalhas e certificados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desinteresse dos alunos pela Física, em muitos casos, dar-se pelo modo como essa disciplina é abordada. Por isso, o ensino da Física tem que sofrer mudanças significativas, em alguns casos. A abstração dos conceitos é um dos fatores do desinteresse. Uma das soluções para a abstração é a utilização de atividades experimentais. Se essas puderem confrontar as concepções iniciais dos alunos, a aprendizagem torna-se mais significativa.

Neste trabalho foi apresentado uma proposta de atividade experimental para os alunos do ensino médio e fundamental como recurso suplementar para o aprendizado e motivador para o seguimento de carreiras científicas e tecnológicas. Acompanhada da metodologia de ensino através da resolução de problemas que proporciona a aproximação dos conceitos de Física com o mundo real dos estudantes, na qual fortalece a aprendizagem.

Espera-se que o estudo proposto nesta Monografia possa motivar estudantes e educadores na busca por soluções/problemas visando melhorar a relação ensino aprendizagem. Utilizando de estratégias como essa que envolvem uma competição, pode-se transformar o ambiente onde ocorrem as relações que definem o aprendizado em um lugar de muita descontração e parceria entre estudantes e educadores. Ações simples como esta devem aproximar a família da escola e ajudar na construção de um ambiente formador de cientistas e educadores.

REFERÊNCIAS

- ALLEVATO, N. S. G. Trabalhar através da resolução de problemas: Possibilidades em dois diferentes contextos. **VIDYA**, ISSN, v. 34, n. 1, p. 209–232, 2014.
- BETO DOLORIERT . **PartidadeVôlei**. 2019. Disponível em: <https://globoesporte.globo.com/volei/noticia/selecao-feminina-de-volei-bate-a-argentina-e-avanca-em-primeiro-lugar-no-sul-americano.ghtml>. Acesso em: 19 jan. 2021.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291–313, 2002.
- BRASIL. **Parâmetros Nacionais Curriculares Ensino Médio**. Brasília:Ministério da Educação: [S. n.], 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conaes-comissao-nacional-de-avaliacao-da-educacao-superior/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>.
- BROWN, D.; CHRISTIAN, W.; HANSON, R. M. **Tracker Video Analysis and Modelng Tool**. 2021. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 30 jun. 2021.
- DIVULGAÇÃO/ITTF, t. . J. 2018. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/esporte/2018/03/hugo-calderano-e-derrotado-em-final-inedita-para-o-tenis-de-mesa-brasileiro.shtml>. Acesso em: 19 jan. 2021.
- ENGINEERING, T. A. for Minorities in. **You can help launch the next generation of STEM professionals!** 2021. Disponível em: <https://www.tame.org/>. Acesso em: 28 jun. 2021.
- GONZALES, E. M. Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? enseñanza de las ciencias. v. 10, n. 2, p. 206–211, 1992.
- HARRINGTON, D. **6th Annual Egg Drop Engineering Competition**. 2019. Disponível em: <https://discoverycenteramarillo.org/event/5th-annual-egg-drop-engineering-competition/>. Acesso em: 28 jun. 2021.
- HUGH, D. Y.; FREEDMAN, R. A. **Física I: Mecânica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016. v. 1.
- HULSENDEGER, M. Uma análise das concepções dos alunos sobre a queda dos corpos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 377–391, 2004.
- MENEGHELLI, J.; CARDOZO, D.; PASSAMAI, J.; SILVA, V. da. Metodologia de resolução de problemas: concepções e estratégias de ensino. **Revista brasileira de ensino de ciência e tecnologia**, v. 11, n. 3, 2018.
- NETO, R. B. B. **Fundamentos de mecânica: Trabalho e energia, sistemas de partículas, dinâmica do centro de massa, sistemas com massa variável**. Fortaleza: Vestseller, 2014. v. 2.
- NEWTON, S. I. **Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural - Livro I**. [S. l.]: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Mecânica: Curso de física básica**. São Paulo: Blucher, 2013.

POLYA, G. **A arte de resolver problemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1995. Tradução e adaptação: Heitor Lisboa de Araújo.

SÃO PAULO ANTIGA. **Acidentes de trânsito na São Paulo antiga**. 2011. Disponível em: <https://www.saopauloantiga.com.br/acidentes-de-transito-na-sao-paulo-antiga/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

TAYLOR, J. R. **Mecânica Clássica**. *Porto Alegre*: Bookman, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Analisando Imagens e Vídeos com o Computador**. 2020. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html>. Acesso em: 01 out. 2020.

WOW PARAQUEDISMO. **Saltando de paraquedas sozinho: como ser um paraquedista**. 2020. Disponível em: <https://www.wowparaquedismo.com.br/blog/saltando-de-paraquedas-sozinho-como-ser-um-paraquedista/>. Acesso em: 06 mar. 2021.

APÊNDICE A – *MODELO DE RELATÓRIO EXPERIMENTAL*

Proposta de relatório que os alunos terão que entregar para análise do juiz.



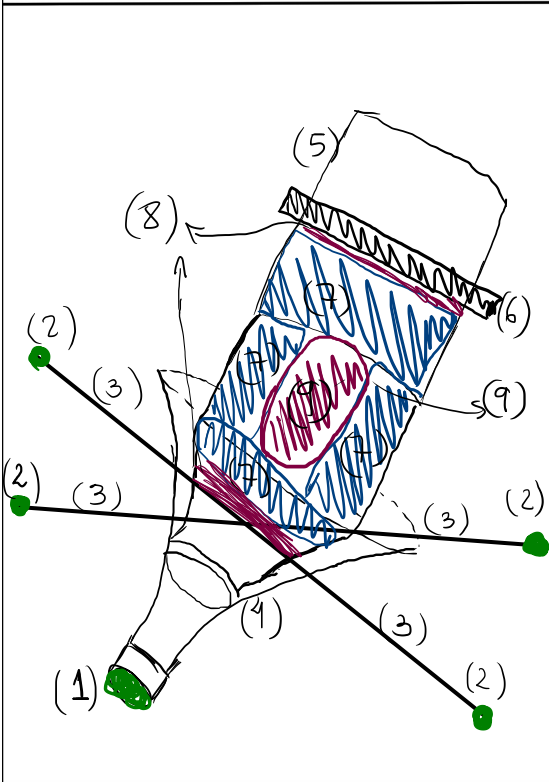
RELATÓRIO EXPERIMENTAL DO DESAFIO DO OVO.

Universidade Federal do Ceará
(85) 9 99999999

Professor: Patriky Souza Rocha

Equipe: Patriky Souza Rocha

Faça um desenho do seu projeto:



1) Materiais:

2-GARRAFAS PETS; 1-ESPONJA DE COZINHA; 1-RÉGUA ANTIGA; 1-BANDEJA DE ISOPOR; 2-PALITOS DE CHURRASCO; COLA QUENTE; 4-BORRACHAS REUTILIZADAS.

2) Dimensões:

a. Altura (cm): xx cm

b. Comprimento (cm): yy cm

c. Largura (cm): zz cm

3) Massa (g): ww g

4) Comente brevemente o porquê o aparato foi montado dessa forma, apontando os princípios físicos envolvidos.

- (1) Cola quente cobrindo a tampa para melhorar o amortecimento da colisão.
- (2) Borrachas para amortecimento da colisão dos palitos com o solo.
- (3) Palitos de churrasco para juntar as duas garrafas pets e evitar que a parte lateral choque com o solo.
- (4) Garrafa pet em forma de cone para melhorar a aerodinâmica do projeto.
- (5) Garrafa pet em forma de cilindro para criar o berço.
- (6) Régua para segurar as esponjas
- (7) Esponja para amortecer e proteger o ovo.
- (8) Pedacos de bandeja de isopor para aumentar a área de contato.
OVO → esponja → isopor
↓
diminui a pressão,
- (9) Ovo dentro no berço

5) Mostre os gráficos e suas respectivas legendas.

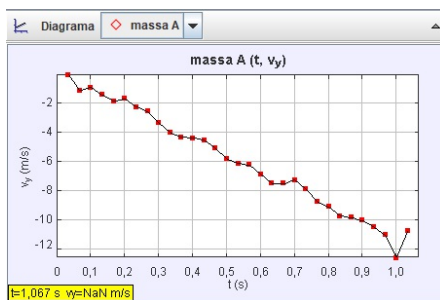


GRÁFICO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO, ELA CRESCE DE ACORDO COM O TEMPO. COM A TANGENTE É POSSÍVEL DETERMINAR A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE.

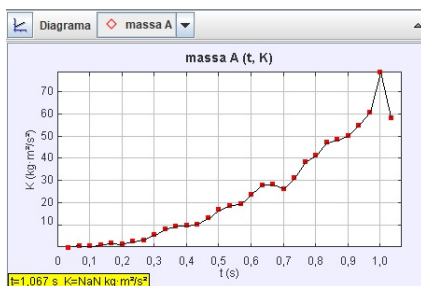


GRÁFICO DA ENERGIA CINÉTICA EM FUNÇÃO DO TEMPO. ELA É CRESCENTE POIS A ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL ESTÁ SE CONVERTENDO EM ENERGIA CINÉTICA.

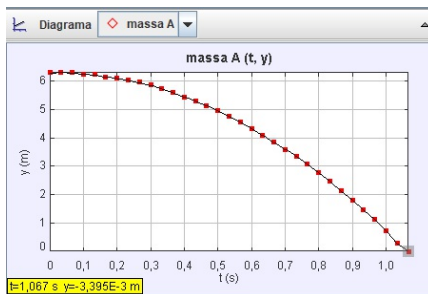


GRÁFICO DA POSIÇÃO y EM FUNÇÃO DO TEMPO. NOTE QUE É UMA PARÁBOLA COM COEFICIENTE NEGATIVO.

ANEXO A – EDITAL ORIGINAL DA COMPETIÇÃO

Edital de competição do Don Hareington Discovery Center, com informação sobre o evento, categorias de competição, inscrições, propósitos e regras que regem a competição.

2019
**EGG DROP ENGINEERING
 COMPETITION**
 RULES & REGULATIONS



EVENT DATE:	November 8, 2018
CHECK-IN TIME:	Begins at 8:30 AM
COMPETITION START:	9:00 AM
ENTRY FEE:	None. Competition entry includes admission to DHDC Exhibit Halls
WHO CAN COMPETE:	All area schools near and far are invited to participate
HOW TO REGISTER:	Complete online registration form at www.dhdc.org . Click <i>Teachers</i> , then <i>Education Events</i> .
AWARDS CEREMONY:	Approximately 30 minutes after conclusion of competition. Ceremony is tentatively scheduled for 12:00-12:30 pm. Competition end time will depend on number of entrants.



AWARDS CATEGORIES

- **1ST, 2ND, 3RD Place** – overall score in each of the following age divisions: Grades 5/6, Grades 7/8, and Grades 9-12.
- **Ingenuity Award** (most innovative design) – One (1) award for Intermediate Division (Grades 5-8) and one (1) award for High School Division (Grades 9-12)
- **Lean Green Egg Machine Award** (best use of recycled materials in device design) – One (1) award for Intermediate Division (Grades 5-8) and one (1) award for High School Division (Grades 9-12)
- Each student on the winning teams will receive the corresponding medal/trophy

2019
EGG DROP ENGINEERING
COMPETITION
RULES & REGULATIONS



REGISTRATION GUIDELINES

- Advance registration is required. Pre-registration deadlines is November 2nd. A limited number of on-site registrations may be allowed if space permits.
- Students will compete in one (1) of three age divisions: Grades 5/6, Grades 7/8, and Grades 9-12. Teams with students in grade levels that cross age divisions will be assigned to compete in the division of the highest grade-level student team member.
- Minimum of 2 students and maximum of 5 students per team.
- Schools may enter up to 10 teams per campus.

PURPOSE

The Egg Drop Competition is designed to provide students with the opportunity to develop their skills in engineering and design by inventing a container that will prevent an uncooked chicken egg (Grade A, Large) from breaking on impact when dropped from the predetermined height of 6.1 meters (20 feet). The competition provides are students with the opportunity to test their engineering and critical thinking skills while engaging in a real-world application of concepts learned in the classroom.

The smaller and lighter the container the higher the score, so students should plan their design accordingly.

COMPETITION RULES AND CONSTRUCTION GUIDELINESU

1. Containers shall be constructed by the student(s) with minimal adult help and no kits or pre-made designs may be used. The structure must be a unique invention developed by the students. The maximum dimension in any direction is 25 cm (consider the diagonal through the device) and the maximum volume allowed is 800 cm³.
2. The goal of the competition is to create the lightest, smallest egg-cradling device capable of protecting an uncooked, grade A large egg during a 6.1 meter (20-foot fall). Egg devices will be dropped onto a concrete floor covered with a thin, industrial carpet layer and a painter's tarp. The carpeting has no carpet pad underneath.

2019
EGG DROP ENGINEERING
COMPETITION
RULES & REGULATIONS



3. The container must have a label on the container with the following information clearly printed:
 - Team Number – assigned at team check in on competition date
 - School Name
 - Team Name
 - Age Division
 - Length, width, and height of device in cm
 - Overall volume of device in cm^3

4. If an egg-cradling device is to be dropped a certain direction, that direction must be specified with an arrow on the device. This arrow must be easily seen and is to point in the direction that the egg is to be dropped (arrow will always be pointing to the drop site, down).

5. Volume will be calculated by students based on one of 4 solid shapes (sphere, cylinder, box, or pyramid). Inside air volume/space shall NOT be subtracted out. The shape dimensions and volume value shall be noted on the container label. **Inaccurate values in the volume calculations or dimensions noted will result in a 100 point deduction from a team's overall score.**

6. The container shall be constructed with the ability to quickly unload an untreated/uncooked grade A large egg. A maximum of 30 seconds will be allowed to place the egg in the container, a maximum of 30 seconds will be allowed to remove the egg after the drop is completed. If the egg is damaged during the placement in the container, there will be a 50 point deduction. The team member will have one additional chance to place the egg into the device in the allotted time frame (an additional 30 seconds) without breaking the egg.

7. Entries constructed of at least 50% recycled materials will be eligible for a 50-point bonus which will be counted toward the team's overall score. Students must be able to demonstrate this element to the judges' satisfaction by being able to describe their construction process and point out the recycled materials used in the construction of their egg cradling device. The attachment should include the team name, age division, and team number; must travel with the egg-cradling device during competition; and should be referenced on the tag attached to the device.

2019
EGG DROP ENGINEERING
COMPETITION
RULES & REGULATIONS



8. One student from each team will enter the drop zone to retrieve the team's egg cradling device after its drop. The student shall then proceed to the scoring official in the drop zone and open the device to determine whether or not the egg was damaged during the drop.
9. A cracked egg will be defined as one which is visibly leaking its contents. Hairline fractures will not be considered cracks. This determination is at the discretion of the judge(s) at the scoring station, whose decisions are final.
10. **No pre-made plastic bubble wrap or other store bought packing materials are allowed. Styrofoam and foam type materials can be used only to create components for an egg-cradling device; they cannot be used as any part of the source of protection for the egg.**
11. No parachutes, tethers, or catch devices allowed. Live animals are also not allowed (i.e. the egg may not be dropped with the chicken as the capsule).
12. No gases other than air may be used.
13. Liquids or other materials, known as splatterables, will not be allowed as part of an egg-cradling device. Splatterables are defined as any substance that will splatter, such as certain foods or liquids. If a device is determined to contain splatterables, the device will be disqualified from competition, but may still be judged for one of the non-points awards. This determination is at the discretion of competition officials and/or judges, whose decisions are final.
14. Hazardous materials, such as flammable substances, glass or materials that can become shrapnel are not permitted in any part of the egg cradling device. Devices determined unsafe for competition will be disqualified, and will not be eligible for judging in the non-points award categories.
15. No alterations, repairs or repackaging of the egg-cradling device can be made once the loaded craft has left the judging station and/or before drop.
16. Failure to follow the design competition safety guidelines above could result in disqualification. These determinations will be at the discretion of competition officials and/or judges, whose decision are final.

2019
EGG DROP ENGINEERING
COMPETITION
RULES & REGULATIONS



SCORING PROCEDURES

The score will be based on the following equation:

$$\text{Score} = \left| \frac{75B_f}{(W + L^2 + V)} \right| + R - D$$

B_f = Break factor (500 for unbroken egg and 1 for broken egg)

W = Weight of container with no egg (grams)

L = Longest dimension in any direction (cm) (no dimension longer than 25 cm)

V = Volume (cm³) (not to exceed 800 cm³)

R = 50-point recycled materials bonus, if applicable

D = Total point deductions

*****In the event of a scoring tie, designs will be fully audited for all variables and points will be adjusted accordingly***