UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO 35

SAMUEL CORREA MACHADO

SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE LANÇAMENTO DE FOGUETES UTILIZANDO GARRAFAS PET PARA ESTUDANTES DE FORMAÇÃO DE DOCENTES

PONTA GROSSA

2025

SAMUEL CORREA MACHADO

SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE LANÇAMENTO DE FOGUETES UTILIZANDO GARRAFAS PET PARA ESTUDANTES DE FORMAÇÃO DE DOCENTES

Dissertação Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da UEPG, Polo 35, no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes
Coorientador:
Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz da Silva

PONTA GROSSA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

TERMO DE APROVAÇÃO

EPÍGRAFE

A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces.

(Aristóteles)

A tarefa do educador moderno não é derrubar florestas, mas irrigar desertos.

(C. S. Lewis)

Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para sua própria produção ou a sua construção.

(Paulo Freire)

O conhecimento prévio do aluno é chave para a aprendizagem significativa

(David Ausubel)

A ciência é muito mais que um corpo de conhecimentos. É uma maneira de pensar.

(Carl Sagan)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder saúde, sabedoria e força para concluir este trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço profundamente ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes, pela confiança depositada em mim, pela orientação paciente e dedicada, e por compartilhar seus vastos conhecimentos. Sua experiência e sugestões foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Sou grato ao meu colega de mestrado, Alessandro Lima Konopacki, pela valiosa parceria e incansável disposição em auxiliar. Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pelo empenho e dedicação dentro e fora do ambiente acadêmico. Além do mais, não posso deixar de agradecer ao Prof. Dr. Hernani Batista da Cruz por toda ajuda que vem proporcionando ao longo das décadas e pelos incontáveis conselhos. Também agradeço aos amigos: Prof. Dr. Rodrigo Alexandre Sayka, pela revisão e sugestões acatadas na escrita desta dissertação, e à Prof.ª Dr.ª Caroline Nocera Benetti pelo auxílio nas investigações experimentais realizadas em laboratório.

Um agradecimento especial à minha família, em especial aos meus pais, Eliane Correa Machado e Ricardo Correa Machado, por todo amor, apoio incondicional e incentivo. Agradeço também à minha amada noiva, Tainá Nakamura, pela paciência, compreensão, auxílio e por estar sempre ao meu lado.

Manifesto minha imensa gratidão ao Colégio Sagrada Família pela oportunidade de aplicar este produto educacional em um ambiente escolar acolhedor. Agradeço especialmente à coordenação pedagógica e à direção, em particular à Irmã Edite Bet, pelas valiosas sugestões. Registrado aqui minha profunda gratidão aos alunos do Curso de Formação de Docentes, cujo engajamento e dedicação foram fundamentais durante a aplicação do produto.

Agradeço ao Prof. Dr. Gerson Kniphoff da Cruz pelos auxílios, sugestões, diálogos e risadas proporcionadas em cada encontro e por ter apresentado o LAEPI (Laboratório de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e à Inovação) aos alunos que deram continuidade a este trabalho.

Por fim, agradeço à Universidade Estadual de Ponta Grossa, ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e à Fundação Araucária pelo suporte financeiro.

RESUMO

A construção e o lançamento de foguetes de garrafa PET, retornáveis ou não, são ótimos recursos para serem utilizados nas aulas de Física, independentemente do nível escolar. Além disso, observa-se a riqueza de conhecimentos que podem ser explorados por meio de sua utilização em sala de aula, especialmente no que se refere à interdisciplinaridade entre a Física e a Química. Dessa forma, esta dissertação tem como objetivo ensinar conteúdos de Física — tais como vetores, grandezas e decomposição vetorial; lançamento oblíquo sem e com resistência do ar; força de arrasto e velocidade terminal; centro de massa, centro de gravidade e centro de pressão; pressão hidrostática e pressão hidrodinâmica; sistema de massa variável; equação de estado para o gás ideal — assim como conteúdos de Química, incluindo reações químicas e balanceamento de equações químicas. O ensino dos conteúdos mencionados envolveu estratégias diversificadas, tais como aulas teóricas contextualizadas, atividades práticas experimentais, construção de foguetes de garrafa PET para lançamento, além do uso de softwares e simuladores computacionais. Como instrumento para concretizar e facilitar a apresentação desses conteúdos, optou-se por elaborar um caderno didático destinado aos alunos. Inicialmente, esse material foi concebido para ser utilizado em turmas do Ensino Fundamental Anos Finais (EFAF) e do Ensino Médio (EM). No entanto, a aplicação ocorreu em uma turma da segunda série do curso de Formação de Docentes (FD), integrado ao Ensino Médio, no Colégio Sagrada Família, localizado no município de Ponta Grossa – PR. A intervenção docente ocorreu no período da tarde entre os meses de outubro e novembro de 2024, período no qual foi implementada a metodologia proposta, fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e na teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky. Para avaliar o desempenho dos alunos, foram utilizados mapas mentais como instrumento de avaliação, os quais foram aplicados em dois momentos distintos: na primeira e na última aula. Esta abordagem teve como objetivo comparar a evolução dos alunos antes e depois da intervenção do professor, com o auxílio do caderno didático. O software IRAMUTEQ foi utilizado para analisar, de forma quantitativa e qualitativa, os mapas mentais construídos pelos alunos antes e depois da aplicação do caderno didático durante as aulas, através de nuvens de palavras e gráficos de similitude gerados pelo software. A aplicação deste trabalho não se encerrou em 2024 e perdura até maio de 2025. Os resultados obtidos no ano de 2025 são apresentados no Apêndice H.

Palavras-chave: Ensino de Física, Foguetes de Garrafa PET, Formação de Docentes, Química, Vygotsky, Ausubel.

ABSTRACT

The construction and launch of PET bottle rockets—whether returnable or not—are excellent resources for Physics classes at any school level. Moreover, this approach offers a wealth of knowledge that can be explored in the classroom, particularly regarding the interdisciplinary connections between Physics and Chemistry. Thus, this dissertation aims to teach Physics concepts—such as vectors, scalar and vector quantities, vector decomposition; oblique projectile motion with and without air resistance; drag force and terminal velocity; center of mass, center of gravity, and center of pressure; hydrostatic and hydrodynamic pressure; variable mass systems; and the ideal gas equation of state—as well as Chemistry topics, including chemical reactions and balancing chemical equations. The teaching of these concepts involved diverse strategies, such as contextualized theoretical lessons, hands-on experimental activities, building PET bottle rockets for launch, and the use of software and computational simulations. To facilitate and consolidate the presentation of these topics, a didactic workbook was developed for students. Initially, this material was designed for use in late Elementary School (EFAF) and High School (EM) classes. However, the implementation took place in a second-year Teacher Training (FD) class, integrated into High School, at Colégio Sagrada Família, located in Ponta Grossa, Paraná, Brazil. The teaching intervention occurred in the afternoon between October and November 2024, during which the proposed methodology—grounded in David Ausubel's theory of meaningful learning and Lev Vygotsky's socio-interactionist theory—was implemented. To assess student performance, mind maps were used as an evaluation tool, applied at two different times: during the first and last classes. This approach aimed to compare student progress before and after the teacher's intervention, supported by the didactic workbook. The IRAMUTEQ software was employed to quantitatively and qualitatively analyze the mind maps created by students before and after using the workbook, generating word clouds and similarity graphs. This study was not concluded in 2024 and continues until May 2025. The results obtained in 2025 are presented in Appendix H.

Keywords: Physics Teaching, PET Bottle Rockets, Teacher Training, Chemistry, Vygotsky, Ausubel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vetor $\vec{v}$ e suas componente $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$.

Figura 2 – Comparação entre as trajetórias parabólicas.

Figura 3 – Representação do cilindro imaginário contendo água.

Figura 4 – A força $\vec{F}_1$ é causada pela pressão da água na superfície superior do cilindro.

Figura 5 – A força $\vec{F}_2$ é exercida pela pressão da água na superfície inferior do cilindro.

Figura 6 – A força $\vec{P}$ atua em todo o cilindro.

Figura 7 – As três forças se equilibram.

Figura 8 – A pressão p aumenta com a profundidade h conforme a expressão (30).

Figura 9 – A lago extenso, mas raso, exerce apenas a metade da pressão exercida pela água em comparação com o lago pequeno, mas profundo.

Figura 10 – Um fluido escoando com vazão (é definido como a quantidade de fluido que atravessa a seção transversal ao longo do tempo) constante.

Figura 11 – Representação esquemática de uma barragem trapezoidal de altura h e do diagrama de pressão (setas em verde). O CP é um ponto pertencente ao sólido e é localizado no eixo de simetria (reta rosa tracejada) da seção transversal do sólido em contato com o fluido.

Figura 12 – O ponto em verde representa o CM e o ponto em rosa representa o CP de um iceberg que está flutuando na água. Quando os centros estão alinhados, o iceberg fica em equilíbrio, como indicado na figura à esquerda. Porém, quando os centros estão desalinhados, o iceberg tende a tombar para direita devido ao torque no sentido horário, como indicado na figura à direita.

Figura 13 – O foguete em ascensão é um sistema de massa variável devido ao consumo de combustível e à expulsão de gases.

Figura 14 – Material sendo depositado continuamente sobre uma esteira.

Figura 15 – Sistema de massa variável crescente.

Figura 16 – Sistema de massa variável decrescente.

Figura 17 – Modelo de gás ideal.

Figura 18 – Equipamento hipotético para analisar o comportamento de gases.

Figura 19 – Modelo mais realista de um gás.

Figura 20 – Contracapa do livro escrito por Lavoisier.

Figura 21 – Contracapa do livro escrito por John Dalton e publicado em 1808.

Figura 22 – Aluna finalizando seu mapa mental.

Figura 23 – Equipe comentando sobre as etapas do método científico.

Figura 24 – Equipe comentando sobre a etapa da experimentação.

Figura 25 – Alunas elaborando seus mapas mentais sobre vetores.

Figura 26 -Alunas discutindo o resultado obtido na atividade.

Figura 27 – Aluno(as) variando os parâmetros para obtenção de novas trajetórias parabólicas.

Figura 28 – Alunas realizando ajustes e fixação das aletas na garrafa PET.

Figura 29 – Aluno testando a estabilidade de voo do foguete.

Figuro 30 – Nuvem de palavras gerada pelo software IRAMUTEQ referente aos mapas mentais iniciais.

Figuro 31 – Nuvem de palavras gerada pelo software IRAMUTEQ referente aos mapas mentais finais.

Figura 32 – Gráfico de similitude gerado pelo software IRAMUTEQ a partir das palavras presentes nos mapas mentais feitos pelos alunos no início da aplicação do caderno didático.

Figura 33 – Gráfico de similitude gerado pelo software IRAMUTEQ a partir das palavras presentes nos mapas mentais feitos pelos alunos no final da aplicação do caderno didático.

Figura 34 – Comparação entre os mapas mentais produzidas pelo aluno A. (a) mapa mental feito pelo aluno A antes da aplicação do caderno didático. (b) mapa mental feito pelo aluno A depois da aplicação do caderno didático.

Figura 35 – Comparação entre os mapas mentais produzidas pelo aluno G. (a) e (b) mostram os mapas confeccionados pelo aluno G antes e depois da aplicação do caderno didático.

Figura 36 – Lançamento sendo realizado no mês de fevereiro no Colégio Sagrada Família, unidade Auxiliadora (15/02/2025).

Figura 37 – Alunos construindo foguetes com garrafas PET retornáveis (à esquerda). A coifa e as aletas foram fabricados por meio de impressão 3D. O resultado obtido é apresentado à direita (14/03/2025).

Figura 38 – Em (a), lançamento que ocorreu de forma não esperada, pois o foguete escapou da base no momento errado. Em (b), alunos interagindo para realizar outro lançamento (15/03/2025).

Figura 39 – Resultados dos lançamentos executados em uma área aberta (23/05/2025).

à esquerda). Resultado acerca do primeiro lançamento (à direita). Os testes foram realizados no dia 05/04/2025 (sábado) pela manhã.

Figura 41 – (a) Prof. Dr. Gerson mostrando aos alunos uma haste metálica e suas características. (b) Apresentação do foguete construído pelo Gerson. A visita ao laboratório LAEPI ocorreu na manhã do dia 02/05/2025.

Figura 42 – Alunos testando a estabilidade de voo dos novos foguetes, conforme mostrado em (a) e (b). Primeiramente, amarra-se o foguete a um fio de modo que o fio esteja sobre ou mais próximo do seu centro de massa (CM). O conjunto fio-foguete é posto em movimento de rotação em um plano paralelo ao solo. Caso o foguete apresente estabilidade, nota-se que, independentemente do sentido em que o foguete seja girado, a coifa (parte dianteira) deve estar à frente das aletas (parte traseira), e não o contrário. Teste realizados no dia 02/05/2025.

Figura 43 – (a) Aluno colocando os reagentes no interior da garrafa. (b) Foguete sendo lançado obliquamente, no dia 03/05/2025, pela manhã, no campus Uvaranas da UEPG.

Figura 44 – (a), (b) e (c) mostram os alunos resolvendo a prova da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) 2025.

Figura 45 – (a) A Prof.ª Dr.ª Caroline Nocera Benetti demonstrou o uso adequado dos equipamentos do laboratório durante a análise experimental da concentração de ácido acético presente no vinagre. (b) O aluno está verificando o resultado obtido para determinar a concentração do vinagre que será utilizado nos lançamentos. Foram analisadas quatro marcas de vinagres. Os primeiros testes em laboratório foram realizados no dia 13/05/2025, no Colégio Sagrada Família – Unidade Centro.

Figura 46 – Em (a) e (b), os alunos realizam uma segunda bateria de testes para determinar a concentração final do vinagre após o aquecimento, sob a supervisão da Prof.ª Dr.ª Caroline Nocera Benetti. Eles verificaram que ocorreu aumento na concentração de ácido acético presente em várias amostras de vinagre. (c) O líquido violeta claro dentro do Erlenmeyer é resultado da mistura de hidróxido de sódio, fenolftaleína e o vinagre pré-aquecido. A redução do volume de vinagre por aquecimento resultou no aumento da concentração do ácido acético presente no vinagre. Deve-se destacar que a redução do volume de vinagre por aquecimento foi realizada inicialmente em casa pelos alunos, e depois foi testada em laboratório no dia 17/05/2025, na Unidade Auxiliadora do Colégio Sagrada Família.

Figura 47 – Tanto em (a) quanto em (b), os alunos utilizaram os vinagres reduzidos, testados em laboratório, para verificar se há aumento na produção de gás carbônico no interior da garrafa. A maior produção de gás foi constatada por meio da medição da pressão no interior da garrafa. Os alcances e pressões internas aumentaram significativamente em relação os resultados anteriores. Os lançamentos ocorreram no dia 24/05/2025, pela manhã, no campus Uvaranas/ UEPG.

Figura 48 – Divulgação realizada pelo portal aRede sobre as atividades desenvolvidas no ano de 2025. Data de publicação: 15/05/2025.

Figura 49 – As atividades desenvolvidas neste ano também foram divulgadas no jornal da manhã. Data de publicação: 18/05/2025.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de trabalhos relacionados a foguetes de garrafa PET.

Tabela 2 – Orientações dos eixos e seus respectivos sinais.

Tabela 3 – Descrição dos termos que aparecem na expressão acima.

Tabela 4 – Substâncias e os valores, obtidos experimentalmente, das constantes a e b.

Tabela 5 – Apresentação das conexões por linhas mais finas à palavra FOGUETE.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONEDU – Congresso Nacional de Educação

ENMNPEF – Encontros Nacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

EBEF – Escola Brasileira em Ensino de Física

SNEA – Simpósio Nacional de Educação em Astronomia

SUMÁRIO

EPÍGRAFE 5
AGRADECIMENTOS 6
RESUMO 7
ABSTRACT 8
LISTA DE FIGURAS 9
LISTA DE TABELAS 12
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO 15
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA 15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA 16
1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA 16
1.3.1 PROBLEMAS 16
1.3.2 HIPÓTESE 17
1.4 JUSTIFICATIVA 17
1.5 OBJETIVOS 18
1.5.1 GERAL 18
1.5.2 ESPECÍFICOS 18
1.6 CAMPO DE EXPERIMENTAÇÃO DO PRODUTO 19
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO 20
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
2.2 REVISÃO METODOLÓGICA 22
2.2.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 22
2.2.2 ORIGEM DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA 22
2.2.3 OBJETIVOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA 23
2.2.4 BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA 24
2.2.5 MOTIVAÇÃO E APRENDIZAGEM PARA VYGOTSKY 25
2.2.6 INSTRUMENTOS E SIGNOS PARA VYGOTSKY 25
2.2.7 MEDIAÇÃO E INTERNALIZAÇÃO PARA VYGOTSKY 26
2.2.8 ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP) 26
2.2.9 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA PARA AUSUBEL 27
2.2.10 CONHECIMENTOS PRÉVIOS 28
2.2.11 SUBSUNÇORES E ORGANIZADORES PRÉVIOS 28
2.2.12 MAPAS MENTAIS E MAPAS CONCEITUAIS 29
CAPÍTULO 3 – A FÍSICA E A QUÍMICA DO LANÇAMENTO DE FOGUETE DE GARRAFA PET 31
3.1 A FÍSICA DO LANÇAMENTO DE FOGUETE DE GARRAFA PET 31

3.1.1 VETORES, GRANDEZAS E DECOMPOSIÇÃO VETORIAL 31
3.1.2 LANÇAMENTO OBLÍQUO SEM RESISTÊNCIA DO AR (IDEAL) 32
3.1.3 AS TRÊS LEIS NEWTON 34
3.1.4 FORÇA DE ARRASTO E VELOCIDADE TERMINAL 35
3.1.5 LANÇAMENTO OBLÍQUO COM RESISTÊNCIA DO AR (REAL) 37
3.1.6 CENTRO DE MASSA (CM) E CENTRO DE GRAVIDADE (CG) 39
3.1.7 PRINCÍPIO DE STEVIN E EXPRESSÃO DE BERNOULLI 40
3.1.8 CENTRO DE PRESSÃO (CP) 49
3.1.9 SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL 50
3.2 – EQUAÇÕES DE ESTADO PARA GÁS IDEAL E GASES REAIS 54
3.2.1 GÁS IDEAL, REAIS E A EXPRESSÃO DE ESTADO 54
3.2.2 EQUAÇÃO DE VAN DER WAALS 57
3.2.3 EQUAÇÃO DO VIRIAL 60
3.3 – A QUÍMICA DO LANÇAMENTO DE FOGUETE DE GARRAFA PET 64
3.3.1 REAÇÕES QUÍMICAS 64
3.3.2 BALANCEAMENTO QUÍMICO 68
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA 70
4.1 INTRODUÇÃO 70
4.2 PRODUTO DIDÁTICO 70
4.3 APLICAÇÃO DO PRODUTO 72
4.3.1 PRIMEIRA AULA (18/10/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 1 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO 72
4.3.2 SEGUNDA AULA (25/10/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 2 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO 75
4.3.3 TERCEIRA AULA (01/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 3 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO 77
4.3.4 QUARTA AULA (08/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 4 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO 80
4.3.5 QUINTA AULA (15/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 5 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO 81
4.3.6 SEXTA AULA (22/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 6 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO 83
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES 84
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS 95
REFERÊNCIAS 98
APÊNDICE A - DEMONSTRAÇÃO DA EXPRESSÃO DA TRAJETÓRIA COM RESISTÊNCIA DO AR 101

APÊNDICE B – CÓDIGO EM PHYTON PARA SIMULAR AS TRAJETÓRIAS SEM E COM RESISTÊNCIA DO AR 110
APÊNDICE C – DEMONSTRAÇÃO DA EXPRESSÃO DO FOGUETE DE TSIOLKOVSKY 114
APÊNDICE D – CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO 118
APÊNDICE E – MAPAS MENTAIS PRÉVIOS DOS ALUNOS SOBRE FOGUETES 255
APÊNDICE F – MAPAS MENTAIS SOBRE VETORES ANTES DA AULA SOBRE VETORES 260
APÊNDICE G – MAPAS MENTAIS FINAIS DOS ALUNOS SOBRE FOGUETES ... 264
APÊNDICE H – FOTOS DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM 2025 269
APÊNDICE I – ACEITE DO TRABALHO NO XI CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU) 2025 275
APÊNDICE J – ACEITE DO TRABALHO NO ENCONTROS INTEGRADOS EM FÍSICA E SEU ENSINO 2025 (IV ENCONTROS NACIONAL DO MNPEF – ENMNPEF E IX ESCOLA BRASILEIRA DE ENSINO EM FÍSICA – EBEF) 277
APÊNDICE K – PUBLICAÇÕES FEITAS PELO PORTAL AREDE E JORNAL DA MANHÃ 279

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A construção do foguete de garrafa PET é uma atividade experimental, desde a sua construção até o seu lançamento, que envolve conhecimentos teóricos de Física e Química. Portanto, "[...] a construção de um foguete de garrafa PET tem como objetivo a demonstração de alguns conceitos físicos e químicos" (Preato, Soares; Druzian, 2020, p. 1). Em Xavier et al. (2022) é verificado que a utilização de foguetes de garrafa PET permite investigar certos conceitos matemáticos das funções, especialmente da função quadrática, devido ao fato de que, neste caso, a trajetória é parabólica.

Em seu trabalho, Souza (2007), afirma que "[...] a teoria envolvida durante o lançamento, por meio de algumas aproximações, demonstra a aplicabilidade de conceitos comuns no ensino médio." Sendo assim, o foguete de garrafa PET é um recurso experimental, que ao ser implementado em sala de aula, pode proporcionar ao aluno o estabelecimento de conexões entre o conhecimento teórico e a aplicação prática.

Xavier (2022) destaca que:

> [...] o experimento foguete de garrafa PET se configura como um instrumento de ensino-aprendizagem de vários fenômenos físicos; bem como é uma oportunidade de aperfeiçoar todo o aprendizado teórico do aluno com demonstrações práticas de baixo risco e acessíveis economicamente.

O lançamento de garrafa PET contempla uma vasta quantidade de fenômenos naturais, como é afirmado por Souza (2007), e pode ser o recurso para engajar e motivar estudantes a se interessarem por questões de:

- Engenharia – planejamento e construção do foguete;
- Tecnologia – utilização de softwares para simulações computacionais;
- Inovação – uso de materiais alternativos na confecção do foguete;
- Química – proporção de reagentes para maximizar lançamento do foguete;
- Física – determinação da trajetória do foguete com e sem resistência do ar.

Portanto, tendo como referência os autores citados anteriormente, o tema escolhido para este trabalho é o estudo experimental e computacional do lançamento de foguetes de garrafa

PET, utilizando como fundamentação teórica as equações de movimento de projéteis e a teoria de balanceamento de equações químicas.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho apresentado nesta dissertação tem como produto uma sequência didática, contemplando a construção e o lançamento de foguetes de garrafa PET, que deve propiciar aprendizagem aos alunos do Ensino Médio deste tema. Porém, certos conteúdos teóricos de Física e de Química são pré-requisitos para compreender os fenômenos que estarão envolvidos.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

1.3.1 PROBLEMAS

Abreu (2018) ressalta que:

> Um sério problema enfrentado na educação básica é a falta de interesse dos estudantes por disciplinas que abordam os conhecimentos científicos de Física de modo excessivamente distante de suas vivências sociais. Para grande parte desse público, frequentar as aulas e fazer as lições constituem tarefas árduas e maçantes, geralmente, realizadas por pressão dos professores, da família e(ou) da sociedade.

Dentre outros problemas encontrados no ensino de Física na educação atual, é verificado em Silva (2018) que um: "[...] dos grandes problemas elencados é a continuidade do uso único das metodologias tradicionais."

A escassez de aulas de Física no Ensino Médio compromete o desenvolvimento dos estudantes na área das Ciências Exatas e da Natureza. Este déficit curricular não apenas limita a compreensão dos conceitos da Física, mas também prejudica a formação dos alunos e [...] cria-se uma resistência por parte dos alunos, fazendo com que eles evitem ou passem a não gostar de Física (Silva, 2018).

Além das situações apresentadas acima, deve-se salientar que a ausência de atividades experimentais nas aulas de Física no Ensino Médio também é recorrente, resultando assim em uma compreensão teórica superficial e descontextualizada, que não mostra as aplicações práticas da Física. Nesse sentido, Nascimento (2010) explica que os estudantes "[..] quase nunca

têm oportunidade de vivenciar alguma situação de investigação, o que lhes impossibilita aprender como se processa a construção do conhecimento físico.”

1.3.2 HIPÓTESE

A hipótese que será testada neste trabalho é a seguinte: a aprendizagem dos temas propostos neste trabalho será de fácil compreensão, desde que as aulas estimulem a participação ativa dos alunos e apresentem:

- Problematização;
- Contextualização histórica;
- Exemplos do dia a dia;
- Atividades, estudos dirigidos e tarefas de casa;
- Experimentos simples e simulações computacionais.

1.4 JUSTIFICATIVA

O estudo teórico e experimental envolvendo a construção e lançamento de foguetes de garrafa PET abrange diversos temas de Física e Química, abordados no Ensino Médio. Xavier (2020) relata que:

> Todas as etapas, da construção do experimento à teorização do funcionamento do foguete de garrafa PET; aliadas a uma metodologia de ensino [...], bem como a discussão acerca das variáveis que influenciam no lançamento e no voo [...], a modelagem matemática e o desenvolvimento das equações físicas envolvidas; têm grande potencial como ferramenta para o ensino de Física e conceitos matemáticos.

Além disso, substituir métodos de ensino que tratam o aluno como um receptor por propostas metodológicas ativas faz com que o estudante relacione os conteúdos da disciplina com suas experiências pessoais, o que o leva a pensar de forma crítica e a tomar decisões (NASCIMENTO, 2010).

É importante destacar que o aumento na quantidade de aulas da disciplina de Física no Ensino Médio pode gerar impactos positivos na formação dos alunos. Mais tempo dedicado à disciplina permite uma exploração mais completa dos conceitos. Essa imersão mais intensa na Física também estimula o desenvolvimento de habilidades cruciais, como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a capacidade de análise, que são valiosas em diversas áreas do

conhecimento. Além disso, um maior contato com a Física pode despertar nos alunos o interesse por áreas científicas e tecnológicas, motivando-os a seguir carreiras nessas áreas. A Física é fundamental para a inovação tecnológica e para a solução dos mais diversos desafios contemporâneos. Com mais aulas de Física, os alunos podem se tornar cidadãos mais informados e engajados, capazes de tomar decisões conscientes sobre questões importantes para a sociedade. Em seu trabalho, Nascimento (2010) afirma que:

> "[...] chega-se à conclusão de que em sala de aula o conhecimento físico precisa ter uma maior interação com os conhecimentos cotidianos dos alunos. Através dessa interação é que os conhecimentos científicos irão adquirir significações e real existência no mundo.

As aulas experimentais são cruciais no aprendizado de Física, oferecendo uma série de vantagens que vão além do ensino tradicional. Em primeiro lugar, proporcionam uma experiência de aprendizado mais envolvente e estimulante, transformando conceitos abstratos em demonstrações práticas e interativas. Os alunos podem visualizar e manipular diretamente os fenômenos físicos, o que facilita a compreensão e a memorização dos conteúdos. Sendo que, as aulas experimentais incentivam a curiosidade e o pensamento crítico, levando os alunos a questionarem, investigarem, dialogarem e a formularem suas próprias conclusões. Portanto, Junior (2020) destaca que "é necessário o uso da experimentação nas aulas de Física, para que o aprendizado tenha significado para o aluno, sensibilizando-o a ter uma visão mais crítica do mundo que está a sua volta."

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma proposta de ensino que promova a aprendizagem significativa de conceitos, físicos e químicos, relacionados ao lançamento de foguetes de garrafa PET, utilizando abordagens sociointeracionistas.

1.5.2 ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Construir um caderno didático para o aluno com textos complementares (que contextualizam historicamente os temas apresentados em cada capítulo), com atividades que devem ser realizadas em sala de aula, com tarefas para casa e com práticas experimentais simples;
- Averiguar se ocorreu aprendizagem significativa dos conceitos através da análise dos mapas mentais;
- Estimular a interação entre os alunos e o professor, tornando o processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico.

1.6 CAMPO DE EXPERIMENTAÇÃO DO PRODUTO

A aplicação do produto ocorreu nos meses de outubro e novembro de 2024, uma vez por semana no contraturno. Os participantes foram 13 estudantes, 12 meninas e 1 menino (na faixa etária de 15 a 16 anos de idade), da segunda série da Formação de Docentes (Magistério) do Colégio Sagrada Família. As atividades teóricas e várias atividades práticas foram realizadas no laboratório de Física do Colégio e na sala do Magistério, na região central da cidade de Ponta Grossa – PR. Os lançamentos dos foguetes construídos pelos alunos foram realizados num espaço aberto da Unidade Auxiliadora, do Colégio já citado.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foram analisados nove trabalhos que exploram a utilização de foguetes construídos a partir de garrafa PET e apresentados na Tabela 1, em ordem cronológica.

Tabela 1 – Relação de trabalhos relacionados a foguetes de garrafa PET.

TÍTULO	AUTOR(ES)	ANO	TRABALHO
CONCEITOS DE FÍSICA POR MEIO DO LANÇAMENTO DE FOGUETES DE GARRAFA PET: UMA PROPOSTA DE TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO MÉDIO	DA SILVA	2015	DISSERTAÇÃO
LANÇAMENTOS DE FOGUETES COMO UMA FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE FÍSICA	OLIVEIRA	2019	DISSERTAÇÃO
FUNÇÃO QUADRÁTICA NA MODELAGEM MATEMÁTICA NO LANÇAMENTO DE FOGUETES DE GARRAFA PET COM ALUNOS DO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO	CUTRIM	2019	DISSERTAÇÃO
SIMULAÇÃO NO PhET (Physics Education Technology) PARA LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS E OFICINA DE CONSTRUÇÃO E LANÇAMENTO DE FOGUETES DE GARRAFA PET	MATIAS	2019	DISSERTAÇÃO
FOGUETES DE GARRAFA PET: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA TRABALHAR AS LEIS DE NEWTON NO ENSINO MÉDIO	JUNIOR	2020	DISSERTAÇÃO
LANÇAMENTO DE FOGUETES PET NO CONTEXTO DO ENSINO MÉDIO: UM CONVITE PARA O APRENDIZADO DA COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS E DA TERCEIRA LEI DE NEWTON POR UM SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL	OLIVEIRA	2021	DISSERTAÇÃO
A CONSTRUÇÃO DE FOGUETES DE GARRAFA PET NUM CONTEXTO HISTÓRICO DO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA	MATOS	2023	PROJETO DE PESQUISA
OBA E MOBFOG: ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA COM LANÇAMENTO DE FOGUETES	LEAL et al.	2023	ARTIGO
ENSINO DE CINEMÁTICA UTILIZANDO SIMULADORES PHET E LANÇAMENTOS DE FOGUETES DE GARRAFA PET	GAUDIO	2024	ARTIGO

Fonte: O autor

Na análise dos trabalhos tabelados acima, certos temas surgiram de maneira recorrente. Esses temas são: aulas experimentais, simuladores da plataforma PhET (Physics Education Technology) e a contextualização histórica dos foguetes espaciais. Além do mais, as atividades desenvolvidas pelos autores foram implementadas em turma do Ensino Médio regular.

Silva (2015) utiliza foguetes de garrafa PET como ferramenta que auxilia na investigação e contextualização dos conteúdos abordados em sala de aula.

Aulas teóricas e experimentais envolvendo a construção e lançamento de foguetes de garrafa PET movido a água pressurizada, relações multidisciplinares entre Física, Química e Matemática são elementos encontrados no trabalho de Oliveira (2019).

O estudo da trajetória parabólica realizada por um foguete construído a partir de garrafa PET gera motivação dos alunos e engajamento no estudo do tema proposto, como apresenta Cutrim (2019).

Matias (2019) propõe que a junção entre simulação computacional e a oficina de construção e lançamento de foguetes de garrafa PET, aliadas ao método investigativo, estimula os alunos a interagirem através do diálogo. Essa interação conduz à aprendizagem dos envolvidos no processo.

Lançamento de foguete de garrafa PET movido a ar pressurizado, aplicação de softwares computacionais geram maior engajamento nas aulas de Física, segundo Junior (2020).

Oliveira (2021) relata que a participação dos alunos em todas as etapas de construção, desde o lançador de foguetes até o próprio foguete, é fundamental. Isso faz com que o aluno visualize e discuta, de forma prática, questões envolvendo movimento oblíquo a condições climáticas para o lançamento.

Matos (2023) relata que a problematização de textos sobre a história dos foguetes, a pesquisa acerca do melhor material para confecção do foguete e aprofundamento dos conceitos matemáticos e físicos envolvidos no lançamento, proporciona a construção e reconstrução de conhecimentos do aluno, colocando-o como principal protagonista de sua aprendizagem.

Leal et. al (2023) propõem uma sequência de atividades experimentais envolvendo lançamento de foguetes. A implementação das atividades tem como um dos objetivos a facilitação do aprendizado de conceitos físicos que contemplam o lançamento de foguetes.

Em seu trabalho, Gaudio (2024) descreve como ocorreu o desenvolvimento e os resultados obtidos a partir da utilização de simuladores computacionais, oficinas de construção e lançamento de foguetes de garrafa PET. Além do mais, Gaudio (2024) realiza a checagem dos conhecimentos prévios dos alunos por meio da aplicação de um questionário e explora a história por trás da origem e evolução dos foguetes.

Nesta dissertação, pretendemos ensinar alguns conceitos de Física e Química, utilizando a construção e o lançamento de foguetes feitos de garrafa PET. Este recurso visa a uma investigação aprofundada e à aplicação prática. Como nos trabalhas apresentados acima, também será utilizada uma combinação de exposição teórica de conceitos de Física e Química,

atividades experimentais e simulação computacional para a construção de foguetes de garrafa PET e a análise de suas trajetórias. Um diferencial dessa dissertação, em relação aos trabalhos apresentados acima, é que foram feitas medidas da massa do foguete, massa de bicarbonato de sódio, volume de vinagre, pressão de dióxido de carbono e alcance do foguete. Além disso, deve-se destacar que esse trabalho, de acordo com a revisão bibliográfica realizada, é o primeiro a ser aplicado em uma turma de estudantes de 2ª série da Formação de Docentes.

2.2 REVISÃO METODOLÓGICA

A metodologia de ensino descrita neste trabalho é fundamentada em sequência didática, na teoria de aprendizagem construtivista sociointeracionista proposta por Lev Semionovitch Vygotsky e na aprendizagem significativa de David Ausubel.

2.2.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática, também conhecida como sequência de aprendizagem, é uma metodologia de ensino que organiza de forma sistemática e progressiva as atividades pedagógicas, com o objetivo de facilitar a construção do conhecimento pelos alunos. Essa abordagem tem ganhado destaque no campo da educação por sua eficácia em promover a aprendizagem significativa, ao considerar as etapas de desenvolvimento cognitivo dos alunos e as particularidades dos conteúdos a serem ensinados.

2.2.2 ORIGEM DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática tem suas raízes nas teorias pedagógicas que surgiram no século XX, especialmente aquelas influenciadas pelo construtivismo e pela psicologia cognitiva. A sistematização do conceito de organização sequencial do ensino, como uma metodologia específica, ganhou força a partir das contribuições de pesquisadores que buscavam compreender como os alunos aprendem e como os professores podem verificar esse processo de aprendizagem de forma mais eficaz.

Um dos primeiros teóricos a abordar a ideia de sequência didática de forma estruturada foi o psicólogo suíço Jean Piaget. Suas pesquisas sobre o desenvolvimento cognitivo de crianças destacaram a importância de organizar o ensino de acordo com as etapas de maturação

intelectual dos alunos. Piaget defendia que a aprendizagem ocorre por meio de um processo de assimilação e acomodação, no qual os novos conhecimentos são integrados às estruturas mentais preexistentes. Nesse contexto, a sequência didática surge como uma ferramenta para planejar atividades que respeitem o ritmo e a capacidade de compreensão dos estudantes.

Embora Jean Piaget tenha contribuído significativamente para a fundamentação teórica da sequência didática, foi o psicólogo e educador francês Gérard Vergnaud quem aprofundou e sistematizou o conceito. Vergnaud, em sua Teoria dos Campos Conceituais, propôs que a aprendizagem ocorre por meio da elaboração de esquemas mentais, que são construídos a partir da interação do indivíduo com situações-problema. Para ele, a sequência didática deve ser planejada de modo a permitir que os alunos enfrentem desafios progressivamente mais complexos, consolidando seus conhecimentos em cada etapa.

Vergnaud destacou a importância de considerar os diferentes níveis de compreensão dos alunos e de propor atividades que os levem a refletir sobre seus erros e acertos, promovendo a autorregulação da aprendizagem. Sua abordagem influenciou profundamente a prática docente, especialmente no ensino da Matemática e Ciências, áreas nas quais a organização sequencial do conteúdo é relevante.

2.2.3 OBJETIVOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A aplicação da sequência didática em sala de aula tem como principal objetivo facilitar a construção do conhecimento de forma gradual e coerente. Para isso, ela se baseia em alguns princípios:

- Organização progressiva do conteúdo: a sequência didática divide o conteúdo em etapas ou fases, que são apresentadas aos alunos de forma ordenada, partindo do mais simples para o mais complexo. Isso permite que os estudantes construam seu conhecimento de maneira cumulativa, estabelecendo conexões entre os conceitos aprendidos.
- Adaptação ao nível de desenvolvimento dos alunos: ao considerar as características cognitivas dos alunos, a sequência didática busca adequar as atividades às suas necessidades e potencialidades, promovendo um aprendizado mais efetivo e menos frustrante.
- Promoção da aprendizagem significativa: a metodologia visa garantir que os alunos não apenas memorizem informações, mas compreendam e apliquem conceitos aprendidos

em contextos reais. Para isso, as atividades são planejadas de modo a estimular a reflexão, a análise crítica e a resolução de problemas.

- Integração de diferentes habilidades: a sequência didática permite que o professor trabalhe de forma integrada diversas habilidades, como leitura, escrita, interpretação e raciocínio lógico.

2.2.4 BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A aplicação da sequência didática no processo de ensino-aprendizagem traz uma série de benefícios, tanto para os alunos quanto para os professores. Entre os principais, destacam-se:

- Facilitação da compreensão: ao dividir o conteúdo em etapas claras e interligadas, a sequência didática ajuda os alunos a compreenderem conceitos complexos de forma mais acessível. Isso reduz a sensação de sobrecarga e aumenta a confiança dos estudantes em sua capacidade de aprender.
- Personalização do ensino: a metodologia permite que o professor adapte as atividades às necessidades individuais dos alunos, oferecendo suporte adicional aos que apresentam dificuldades e desafios mais avançados aos que demonstram maior facilidade.
- Promoção da autonomia: ao propor atividades que exigem reflexão e resolução de problemas, a sequência didática estimula os alunos a assumirem um papel ativo em sua própria aprendizagem, desenvolvendo habilidades de pensamento crítico e independência.
- Integração do conteúdo: a sequência didática facilita a integração de diferentes áreas do conhecimento, permitindo que os alunos estabeleçam conexões entre os conceitos aprendidos em diversas disciplinas. Isso contribui para uma visão mais abrangente e interdisciplinar.
- Avaliação contínua: metodologia permite que o professor acompanhe o progresso dos alunos em cada etapa, identificando dificuldades e ajustando as estratégias de ensino conforme necessário. Isso torna a avaliação um processo contínuo e formativo, em vez de pontual e classificatório.

2.2.5 MOTIVAÇÃO E APRENDIZAGEM PARA VYGOTSKY

Em seu trabalho, GASPAR (2014) destaca que:

> "Assim, se o pensamento se origina da motivação, pode-se afirmar que a interiorização da linguagem, origem do pensamento, só ocorre se houver um motivo, para que a mente se disponha a "assumir" essa tarefa. Então, se para aprender é preciso pensar, pode-se concluir que para aprender é preciso também querer – não há aprendizagem à revelia."

A princípio, independentemente do conteúdo trabalhado em sala de aula, o professor deve procurar conhecer, com antecedência, o que os alunos já sabem. Caso seja necessário, quando confrontado com ideias contraintuitivas, eles deverão reformular seus pensamentos prévios, proporcionando, como afirma GASPAR (2014), a construção de "uma nova estrutura de pensamento por meio da mobilização do cérebro, a fim de que este engendre a nova estrutura, o que nem sempre é trivial.". Argumentações históricas, imagens, vídeos, simulações computacionais, experimentos simples, são recursos que podem ser utilizados pelo professor para apresentar a seus alunos razões suficientemente fortes e convincentes (GASPAR, 2014, p. 180).

No início de sua carreira docente, em uma palestra proferida em um congresso, Vygotsky cita a seguinte frase:

> "Ao organizar o meio e a vida da criança nesse meio, o pedagogo interfere ativamente nos processos de desenvolvimento dos interesses infantis e age sobre eles da mesma forma que influencia todo o comportamento das crianças. Entretanto sua regra será sempre uma: antes de explicar, interessar; antes de obrigar a agir, preparar para a ação; antes de apelar para reações, preparar a atitude; antes de comunicar alguma coisa nova, suscitar a expectativa do novo."

2.2.6 INSTRUMENTOS E SIGNOS PARA VYGOTSKY

Instrumentos e signos desempenham papel central no processo de internalização de conhecimentos e nos processos mentais superiores (pensamento, linguagem, comportamento volitivo), como afirma MOREIRA (2022).

Os instrumentos, na perspectiva de Vygotsky, são ferramentas materiais ou técnicas que os seres humanos utilizam para interagir com o meio ambiente e transformá-lo. Eles podem ser objetos físicos, como livros, computadores ou réguas, ou métodos e técnicas, como fórmulas matemáticas ou procedimentos científicos.

Os signos são ferramentas psicológicas ou simbólicas que medeiam o pensamento e a comunicação. Elas incluem linguagem, números, símbolos, mapas, diagramas e qualquer sistema de representação que permita ao indivíduo organizar e interpretar a realidade.

2.2.7 MEDIAÇÃO E INTERNALIZAÇÃO PARA VYGOTSKY

Tanto os instrumentos quanto os signos atuam como mediadores entre indivíduo e o mundo. Enquanto os instrumentos medeiam a ação prática sobre o ambiente, os signos medeiam o pensamento e a comunicação. O uso de instrumentos e signos no ambiente externo (social) é gradualmente internalizado, transformando-se em ferramentais mentais. Por exemplo, uma criança que aprende a contar objetos físicos (instrumentos) eventualmente internaliza o conceito de números (signos) e passa a realizar cálculos mentais.

2.2.8 ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP)

A Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), também chamada de Zona de Desenvolvimento Imediato (ZDI), é o conceito chave da teoria de aprendizagem de Vygotsky. Ela se refere à diferença entre o que um aluno é capaz de realizar de forma independente (nível de desenvolvimento real) e o que ele pode alcançar com a mediação de alguém mais experimente. Neste contexto, quem faz o papel do mediador é o professor. Como é verificado em seu trabalho, GASPAR (2014) salienta que:

> “Na busca das causas desse fenômeno – de o aluno aprender mais quando em colaboração com um parceiro mais capaz –, Vygotsky destaca o papel da imitação, conceito que enfrenta muita dificuldade para ser aceito [...] Em nossa compreensão da teoria de Vygotsky, a imitação é o único meio pelo qual a mente do aluno pode se “apropriar” das estruturas mentais do professor, capacitando-se assim a fazer aquilo que não sabe fazer.”

É importante evidenciar e explicar o papel da imitação. Ao início da aula, o professor deve avaliar o nível cognitivo prévio dos alunos, acerca de determinado assunto, para a ele adequar suas práticas pedagógicas. Porém, é importante destacar que o professor conduza sua prática pedagógica no sentido de poder ser imitado (Gaspar, 2014). Por exemplo, durante a resolução de uma questão de Física, que permeia a ZDP da maioria dos alunos, o professor deve:

- Cuidar para que todos possam acompanhar as etapas adotadas;
- Interagir com eles durante a apresentação e leitura do enunciado;
- Sugerir, de maneira explicita, o procedimento de análise e de cálculo a ser utilizado;
- Discutir os resultados obtidos.

Por fim, o professor deve propor a sua turma outras questões semelhantes e cuja resolução envolva a ZDP dos seus alunos. Tal ação fará com que haja, de forma gradativa, menor colaboração entre professor-alunos, deste modo, os alunos se tornarão cada vez mais independentes. Um dos recursos que é bem-visto e reforçado por GASPAR (2014) são: as tarefas de casa.

> "[...], a mente do aluno, desde que suficientemente motivada, tende a construir as novas estruturas de pensamento que, com o tempo, vão torná-lo capaz de resolver o novo tipo de problema. Em síntese, nesse processo interpessoal, o aluno pode conseguir, por meio da imitação, construir e interiorizar uma nova estrutura de pensamento semelhante à do professor, tornando-se capaz de fazer o que o professor faz."

Vygotsky enfatiza que o aprendizado é um processo que envolve contexto social e cultural, e a ZDP destaca a importância da mediação no processo educativo como mencionado anteriormente. A intervenção de um mediador (professor) ajuda o aluno a internalizar competências (são capacidades de mobilizar conhecimentos, atitudes e valores para resolver situações complexas) e habilidades (são capacidades específicas e práticas que permitem realizar tarefas de forma eficiente e eficaz), permitindo que ele avance em seu desenvolvimento cognitivo. Conforme o aluno se torna mais competente, o suporte externo pode ser gradualmente reduzido, até que ele consiga realizar a tarefa de forma independente.

2.2.9 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA PARA AUSUBEL

É um processo cognitivo no qual novas informações são assimiladas (refere-se à maneira como o novo conhecimento é integrado à estrutura cognitiva do indivíduo) de maneira não arbitrária (quando o novo conteúdo é relacionado de forma lógica e coerente ao conhecimento prévio) e substantiva (não é superficial, mas sim profunda e significativa) pela estrutura de conhecimento pré-existente do indivíduo. Este processo cognitivo envolve

atividades mentais como percepção, memória, raciocínio e compreensão. Os aspectos presentes na aprendizagem significativa estão citados abaixo:

- O novo conteúdo só se torna significativo quando é relacionado a conceitos, ideias ou experiências que o aprendiz já possui;
- Ocorre quando o novo conteúdo é assimilado de forma lógica e não aleatória, ou seja, quando faz sentido para o aluno;
- O foco está na compreensão do significado essencial do conteúdo, e não na memorização literal de palavras e frases (aprendizagem mecânica);
- O aluno deve estar mentalmente ativo, engajado no processar, relacionar e integrar as novas informações ao que já sabe. O aluno não é um receptor passivo de informações;
- Como o conhecimento é integrado à estrutura cognitiva, ele tende a ser retido por mais tempo e pode ser facilmente recuperado e aplicado em diferentes contextos.

2.2.10 CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Na teoria da aprendizagem significativa proposta por David Ausubel, os conhecimentos prévios ocupam uma posição central, sendo considerados a base sobre a qual novos conhecimentos serão construídos. Para Ausubel, os conhecimentos prévios funcionam como subsunçores (facilitadores), ou seja, estruturas cognitivas que servem como âncoras para a assimilação de novos conceitos.

A valorização dos conhecimentos prévios também tem implicações importantes para a prática docente. Em vez de tratar os alunos como "tábuas rasas", os professores devem reconhecer que cada aluno traz consigo uma bagagem única de experiência e saberes, que podem ser aproveitados para enriquecer o processo de aprendizagem.

2.2.11 SUBSUNÇORES E ORGANIZADORES PRÉVIOS

Em seu trabalho, Moreira (2012) afirma que:

> [...] é mais adequado pensar os subsunçores simplesmente como conhecimentos prévios especificamente relevantes para que os materiais de aprendizagem ou, enfim, os novos conhecimentos sejam potencialmente significativos. Nessa linha, subsunçores podem ser proposições, modelos mentais, construtos pessoais, concepções, ideias, invariantes operatórios, representações sociais e, é claro, conceitos, já existentes na estrutura cognitiva de quem aprende.

Como citado anteriormente, os subsunçores funcionam como “pontos de ancoragem” que permitem que novos conhecimentos estabeleçam conexões, efetivas e organizadas, com o conhecimento já estabelecido.

Os organizadores prévios são ferramentas ou recursos pedagógicos usados para facilitar a aprendizagem significativa do aluno. Eles podem ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação (MOREIRA, 2012, p. 12). Seu objetivo é ativar o conhecimento prévio do aprendiz e mostrar a(s) relação(ões) existente(s) com o novo conhecimento. Além do mais, MOREIRA (2012), afirma sobre a importância da utilização dos organizadores prévios em sala de aula:

> [...] organizadores devem ser sempre utilizados no ensino, pois o aluno muitas vezes não percebe essa relacionabilidade e pensa que os novos materiais de aprendizagem não têm muito a ver com seus conhecimentos prévios. Organizadores prévios devem ajudar o aprendiz a perceber que novos conhecimentos estão relacionados a ideias apresentadas anteriormente, a subsunçores que existem em sua estrutura cognitiva prévia.

2.2.12 MAPAS MENTAIS E MAPAS CONCEITUAIS

Os mapas mentais são representações gráficas que partem de um conceito central, a partir do qual se ramificam ideias secundárias e terciárias, formando uma estrutura radial e não linear. Desenvolvidos por Tony Buzan (1942-2019), psicólogo e escritor inglês, os mapas mentais são recursos visuais, utilizando cores, imagens e símbolos para estimular a criatividade e a memorização. Eles são especialmente úteis em situações que demandam associação livre de ideias, como em sessões de ‘brainstorming’ (tempestade de ideias), planejamento de projetos ou estudo pessoal.

Por outro lado, os mapas conceituais, propostos por Joseph Novak (1932-2023) e seus colaboradores na Universidade de Cornell, possuem uma estrutura mais hierárquica e formal. Eles são construídos a partir de conceitos interligados por palavras de ligação, que explicam as relações entre eles. Moreira (2012) argumenta que o “importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma matéria de ensino.”

Diferentemente dos mapas mentais, os mapas conceituais priorizam a lógica e organização do conhecimento, sendo amplamente utilizados em contextos educacionais para promover a aprendizagem significativa. Além do mais, Moreira (2012) relata que: “Mapas

conceituais podem ser utilizados como recurso que todas essas etapas, assim como na obtenção de evidências de aprendizagem significativa, ou seja, na avaliação da aprendizagem.”

CAPÍTULO 3 – A FÍSICA E A QUÍMICA DO LANÇAMENTO DE FOGUETE DE GARRAFA PET

Neste capítulo serão discutidos os conceitos de Física e Química que foram abordados no caderno didático pedagógico do aluno.

3.1 A FÍSICA DO LANÇAMENTO DE FOGUETE DE GARRAFA PET

3.1.1 VETORES, GRANDEZAS E DECOMPOSIÇÃO VETORIAL

Um vetor possui módulo, direção e sentido, e uma grandeza vetorial é uma grandeza que pode ser representada por um vetor e, deste modo, também possui módulo, direção e sentido. Podemos citar como exemplos de grandezas vetoriais: deslocamento, velocidade, aceleração, força, campo gravitacional etc.

Um vetor pode ser projetado em um eixo (um eixo é uma linha reta que serve como referência para medir distâncias, direções ou coordenadas em um sistema), por exemplo, o eixo x ou eixo das abcissas. Todo eixo apresenta dois sentidos que são representados pelos sinais de positivo (+) e o negativo (-). A escolha do sinal é arbitrária, porém, comumente adota-se a convenção mostrada na Tabela 2 abaixo.

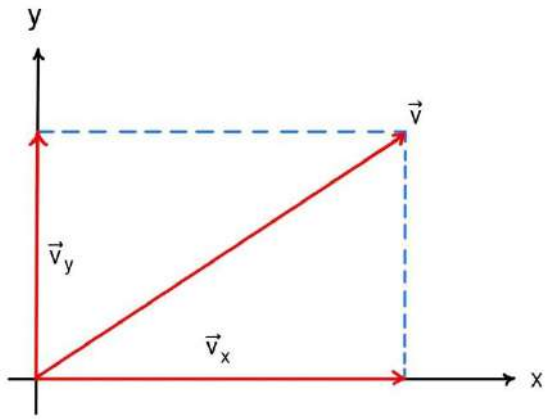
Tabela 2 – Orientações dos eixos e seus respectivos sinais.

Eixo	**Sentido**	**Sinal**
x	da esquerda para a direita	+
	da direita para a esquerda	-
y	de baixo para cima	+
	de cima para baixo	-

Fonte: O autor

As projeções vetoriais são denominadas componentes. A Figura 1 apresenta o vetor $\vec{v}$ e as suas componentes nas direções x (horizontal) e y (vertical). As componentes, horizontal e vertical, do vetor $\vec{v}$ são perpendiculares entre si e denominadas $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$.

Figura 1 – Vetor $\vec{v}$ e suas componente $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$.



Fonte: Tainá Nakamura.

3.1.2 LANÇAMENTO OBLÍQUO SEM RESISTÊNCIA DO AR (IDEAL)

O lançamento oblíquo é um movimento bidimensional no qual um projétil é arremessado com uma velocidade inicial inclinada em relação à horizontal, sob a ação exclusiva da aceleração da gravidade. Na ausência de resistência do ar, esse movimento pode ser analisado decompondo-o em duas direções ortogonais: horizontal (eixo x) e vertical (eixo y).

Para descrever o movimento, adota-se um sistema de coordenadas cartesianas, onde o eixo x representa a direção horizontal e o eixo y a direção vertical. A origem do sistema (0,0) coincide com o ponto de lançamento do projétil. A aceleração da gravidade (g) atua apenas na direção vertical, com sentido para baixo, enquanto na direção horizontal não há aceleração, pois despreza-se a resistência do ar.

Na ausência de forças dissipativas, a trajetória descrita pelo projétil é uma parábola. Isso ocorre porque o movimento na horizontal é uniforme (velocidade constante) e na vertical é uniformemente variado (aceleração constante), resultando em uma relação quadrática entre y e x.

As características do movimento nas direções x e y são:

- Movimento Retilíneo Uniforme (MRU): a velocidade horizontal (v_{0x}) permanece constante, pois não há aceleração nesta direção. O módulo da velocidade v_{0x} e a posição x são, respectivamente:

$$v_{0x} = v_0 . \cos(\theta) \quad , \tag{1}$$

$$x = v_0 . \cos(\theta) . t \quad . \tag{2}$$

- Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV): A velocidade vertical (v_{0y}) varia devido à aceleração da gravidade (g). O módulo da velocidade vertical v_y para qualquer instante de t ($t > 0$) é:

$$v_y = v_0 . \operatorname{sen}(\theta) - g . t \quad . \tag{3}$$

A posição vertical y do projétil para qualquer instante de tempo t ($t > 0$) é dada por:

$$y = v_0 . \operatorname{sen}(\theta) . t - \frac{g . t^2}{2} \quad . \tag{4}$$

Para se obter a expressão da trajetória $y(x)$, elimina-se o parâmetro instante de tempo (t) das funções horárias. Portanto, isolando t em (2):

$$t = \frac{x}{v_0 . \cos(\theta)} \quad . \tag{5}$$

Substituindo-se (5) em (4):

$$y = v_0 . \operatorname{sen}(\theta) . \frac{x}{v_0 . \cos(\theta)} - \frac{g}{2} . \left(\frac{x}{v_0 . \cos(\theta)} \right)^2 \quad . \tag{6}$$

Logo:

$$y = \frac{\operatorname{sen}(\theta)}{\cos(\theta)} . x - \frac{g}{2} . \left(\frac{x}{v_0 . \cos(\theta)} \right)^2 \quad , \tag{7}$$

$$y = \operatorname{tg}(\theta) . x - \frac{g}{2} . \frac{x^2}{v_0^2 . \cos^2(\theta)} \quad . \tag{8}$$

Reorganizando-se a expressão (8), obtemos:

$$\boxed{y(x) = tg(\theta).x - \frac{g}{2.v_0^2.\cos^2(\theta)}.x^2 \quad .} \tag{9}$$

A expressão (9) trata-se da expressão da parábola, confirmando a trajetória parabólica do projétil.

3.1.3 AS TRÊS LEIS NEWTON

A análise do movimento de projéteis constitui um dos problemas fundamentais da mecânica clássica, cuja compreensão e seus princípios foram estabelecidos por Isaac Newton em seu livro intitulado, em latim, Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural). As três leis do movimento de Newton – a lei da inércia, a lei fundamental da dinâmica e a lei da ação e reação – fornecem a fundamentação teórica necessária para descrever quantitativamente o comportamento de corpos em movimento balístico.

A primeira lei de Newton, também conhecida como lei da inércia, afirma que um corpo permanecerá em seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme a menos que uma força externa atue sobre ele.

A segunda lei de Newton, expressa pela expressão fundamental:

$$\boxed{F = m.\frac{d^2x}{dt^2} \quad ,} \tag{10}$$

estabelece a relação quantitativa entre força, massa e aceleração (escrita acima na sua forma diferencial). Esta lei é particularmente relevante para a análise do movimento parabólico. Quando aplicada ao lançamento oblíquo, permite decompor o movimento em componentes horizontal e vertical. Na direção vertical, quando desprezada a resistência do ar, a força peso P está associada a uma aceleração constante g para baixo. Já na direção horizontal, na ausência de resistência do ar, a aceleração é nula, resultando em movimento retilíneo uniforme, como previsto pela primeira lei de Newton.

A terceira lei de Newton, também conhecida como lei da ação e reação, descreve a natureza simétrica das forças. Essa lei afirma que, para toda ação, há sempre uma reação oposta e de igual intensidade. Isso significa que as forças ocorrem sempre em pares, com dois corpos exercendo influências mútuas de mesma intensidade, mesma direção, mas sentidos opostos. É

importante destacar que as forças de ação e reação não se anulam, pois atuam em corpos distintos.

3.1.4 FORÇA DE ARRASTO E VELOCIDADE TERMINAL

A força de arrasto é importante na mecânica dos fluidos e na física clássica. Ela surge quando um objeto se move através de um fluido (como ar ou água) e atua na direção oposta ao movimento relativo entre o objeto e o meio. Essa força é essencial para compreender uma variedade de aplicações práticas, desde o projeto de veículos aerodinâmicos até a análise do movimento dos foguetes de garrafa PET. A força de arrasto (D) é definida como a componente da força resultante exercida pelo fluido que se opõe ao deslocamento do objeto. Matematicamente, sua intensidade pode ser expressa pela expressão:

$$\boxed{D = \frac{1}{2}.C_d.\rho.A.v^2 \quad .} \tag{9}$$

Na Tabela 3 é descrito o significado de cada termo da expressão (9):

Tabela 3 – Descrição dos termos que aparecem na expressão acima.

Símbolo	**Significado**
C_d	É o coeficiente de arrasto.
ρ	É a densidade do fluido.
A	É a área de seção transversal do objeto perpendicular ao movimento.
v	É a velocidade relativa entre o objeto e o fluido.

Fonte: O autor

Quando a força de arrasto é considerada proporcional à velocidade, as equações diferenciais resultantes são lineares, o que permite soluções analíticas exatas. Isso ocorre quando um corpo se move com baixa velocidade através do fluido. No entanto, para corpos mais rápidos, a força de arrasto é descrita por uma dependência quadrática da velocidade. A desvantagem é que as equações diferenciais resultantes não têm solução analítica simples,

exigindo métodos numéricos para resolução, como por exemplo, a aplicação do método Runge-Kutta.

Diversos parâmetros físicos influenciam diretamente na intensidade da força de arrasto. O coeficiente de arrasto (C_d), por exemplo, é determinado pelo formato do objeto. Objetos com perfis aerodinâmicos, como assas de aviões, possuem coeficientes de arrasto menores. Por outro lado, os paraquedas são projetados para maximizar a resistência do ar, resultando em um coeficiente de arrasto maior. A densidade do fluido (ρ) também desempenha um papel importante: em meios mais densos, como a água, a força de arrasto é significativamente maior do que no ar. Além disso, a área transversal (A) afeta diretamente a intensidade da força – quanto maior a área exposta ao fluxo, maior será a resistência. Por fim, a velocidade (v) tem um impacto quadrático, tornando-se o fator determinante em altas velocidades.

Um conceito intimamente ligado à força de arrasto é o de velocidade limite, que ocorre quando a força de arrasto se equilibra com outras forças que atuam no corpo, como a força peso (P). Abaixo será descrito as características do movimento de um corpo em um fluido:

- Inicialmente o corpo parte do repouso e em seguida acelera devido à força peso;
- À medida que sua velocidade aumenta, a força de arrasto também cresce (em proporção ao quadrado da velocidade);
- Em determinado momento, a força de arrasto se iguala à força peso, resultando em uma força resultante nula.

A partir desse instante, o objeto passa a se mover com velocidade constante, denominada velocidade terminal (v_t) ou limite. Para deduzir a expressão da velocidade terminal, partimos da segunda lei de Newton aplicada ao corpo. Temos que, no equilíbrio:

$$D = P \quad . \tag{10}$$

A força peso é dada pela expressão

$$P = m.g \quad , \tag{11}$$

em que m e g representam a massa do corpo em queda e a intensidade da aceleração da gravidade local, respectivamente. Substituindo-se (9) e (11) em (10), temos:

$$\frac{1}{2}.C_d.\rho.A.v_t^2 = m.g \quad . \tag{12}$$

Isolando-se v_t^2 e extraindo-se a raiz quadrada (12), concluímos que:

$$\boxed{v_t = \sqrt{\frac{2.m.g}{C_d.\rho.A}} \quad .} \tag{13}$$

3.1.5 LANÇAMENTO OBLÍQUO COM RESISTÊNCIA DO AR (REAL)

O estudo do movimento de um projétil em condições ideais, onde a resistência do ar é desprezada, fornece uma base teórica importante, porém simplificada, para a compreensão de fenômenos físicos. No entanto, em situações reais, a resistência do ar desempenha um papel significativo, alterando a trajetória e as características do movimento.

O sistema de referência adotado para a análise do lançamento oblíquo com resistência do ar é o mesmo utilizado no caso ideal: um sistema de coordenadas cartesianas, em que o eixo x representa a direção horizontal e o eixo y a direção vertical. A origem do sistema coincide com o ponto de lançamento do projétil. No entanto, diferentemente do caso sem resistência do ar, agora há uma força adicional atuando sobre o projétil: a força de resistência do ar, que se opõe ao movimento e é geralmente modelada como proporcional à velocidade do projétil ou ao quadrado da velocidade, dependendo das condições do problema. Essa força altera a dinâmica do movimento, tornando a análise mais complexa, mas também mais próxima da realidade.

A trajetória do projétil sob a influência da resistência do ar continua sendo parabólica, como ocorre no caso ideal, mas com a altura máxima atingida sendo menor e o alcance horizontal reduzido. Isso ocorre porque a resistência do ar dissipa energia do sistema, diminuindo a velocidade do projétil ao longo do tempo.

Na direção horizontal, o movimento do projétil não é mais uniforme, como no caso sem resistência do ar. A presença da força de resistência, que atua no sentido oposto ao movimento, implica em uma aceleração negativa, fazendo com que a velocidade horizontal diminua ao longo do tempo. Essa aceleração depende da velocidade instantânea do projétil e do coeficiente de resistência do ar, que por sua vez depende de fatores como a forma do projétil e a densidade do meio. Matematicamente, a expressão do movimento na direção x pode ser expressa por uma

expressão diferencial que relaciona a aceleração à velocidade, tornando necessário o uso de métodos de cálculo mais avançados para sua resolução.

Na direção vertical, o movimento também é afetado pela resistência do ar, mas de maneira mais complexa, pois a força de resistência muda de direção dependendo do sentido do movimento. Durante a subida, a resistência do ar atua para baixo, somando-se à força da gravidade, enquanto na descida, atua para cima, opondo-se à gravidade. Isso resulta em uma desaceleração maior durante a subida e uma aceleração menor durante a descida, comparado ao caso sem resistência do ar. Consequentemente, o tempo de subida é menor, e o tempo de descida é maior, contribuindo para a modificação da trajetória.

A decomposição do vetor velocidade de lançamento segue o mesmo princípio do caso ideal, sendo dividido em componentes horizontal (v_x) e vertical (v_y). No entanto, devido à resistência do ar, essas componentes não se mantêm constantes ou variam linearmente, como no caso sem resistência. Em vez disso, elas decaem exponencialmente ou de acordo com uma função mais complexa, dependendo do modelo de resistência do ar adotado. Essa decomposição inicial ainda é útil para estabelecer as condições iniciais do problema, mas as equações subsequentes devem incorporar os efeitos da resistência para descrever corretamente o movimento.

A dedução da expressão da trajetória com resistência do ar é mais complexa do que no caso ideal, envolvendo a solução de equações diferenciais acopladas para as direções x e y. Em muitos casos, não é possível obter uma solução analítica fechada, sendo necessário recorrer a métodos numéricos para resolver as equações. Para um modelo simplificado em que a resistência do ar é proporcional à velocidade, as equações podem ser resolvidas separadamente para as direções horizontal e vertical, mesmo assim a trajetória resultante é descrita por funções exponenciais.

Para realizar a demonstração da expressão da trajetória, vamos considerar o caso em a força de arrasto (D) seja proporcional à velocidade do projétil:

$$D = -k.v \quad , \tag{14}$$

em que k é uma constante de proporcionalidade que depende: do coeficiente de arrasto (C_d), da densidade do fluido (ρ) e da área de seção transversal do corpo (A). O sinal negativo em (14) indica que a força se opõe ao movimento. Usamos a expressão (14), com a força de arrasto D proporcional à velocidade v e não ao quadrado da velocidade v, como na expressão (9), para

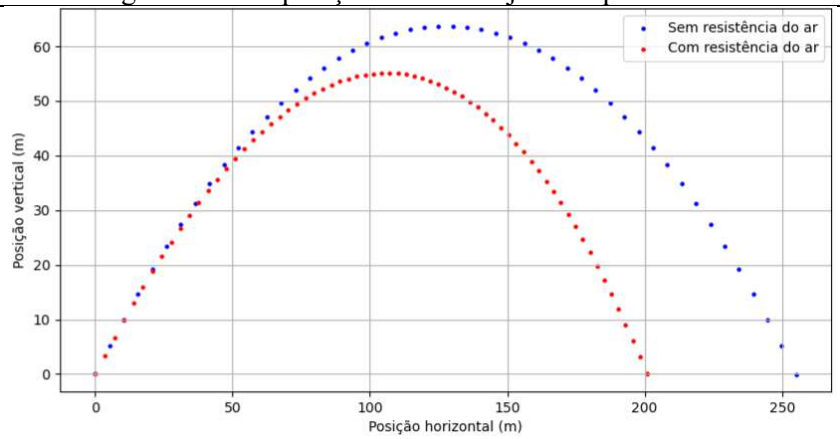
tornar a obtenção da expressão da trajetória mais simples. Se usarmos a expressão (9), com v ao quadrado, a determinação da expressão da trajetória iria necessitar do uso de técnicas mais avançadas de cálculo numérico.

A expressão (15) representa expressão da trajetória quando a força de arrasto D varia linearmente com a velocidade v, e sua demonstração detalhada é apresentada no APÊNDICE A:

$$y(x) = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).\frac{x}{v_{x0}} + \frac{g.m^2}{k^2}.\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad . \tag{15}$$

Para obter os gráficos com as trajetórias dos projéteis, foi escrito um código no software Python (APÊNDICE B), utilizando-se as expressões do movimento oblíquo, tanto com resistência quanto sem resistência do ar, obtendo-se o resultado apresentado na Figura 2 abaixo.

Figura 2 – Comparação entre as trajetórias parabólicas.



Fonte: O autor

Os pontos em azul e vermelho mostram as posições dos projéteis lançados em ambientes sem e com resistência do ar, respectivamente. Verifica-se que a altura e o alcance são menores quando se considera a atuação da força de arrasto.

3.1.6 CENTRO DE MASSA (CM) E CENTRO DE GRAVIDADE (CG)

O centro de massa (CM) e o centro de gravidade (CG) são conceitos fundamentais na física, especialmente na Mecânica, utilizados para descrever a distribuição de massa e o

equilíbrio de corpos. Embora frequentemente coincidam em situações cotidianas, esses pontos apresentam diferenças significativas em contextos específicos.

O centro de massa é definido como o ponto da distribuição de massa de um sistema, onde toda a massa pode ser considerada concentrada para efeitos de análise do movimento translacional. Em corpos rígidos homogêneos e simétricos, como uma esfera ou um cubo, o CM localiza-se no centro geométrico.

Por outro lado, o centro de gravidade refere-se ao ponto onde a força gravitacional resultante atua sobre um corpo. Em um campo gravitacional uniforme — como o campo próximo à superfície da Terra, onde a aceleração da gravidade (g) é constante —, o CG coincide com o CM. No entanto, em situações em que o campo gravitacional não é uniforme (por exemplo, ao longo de grandes distâncias sobre a superfície da Terra, com mudanças na densidade do solo), o CG pode deslocar-se em relação ao CM devido à distribuição desigual das forças gravitacionais.

A diferença de localização entre CM e CG está relacionada, portanto, com a influência do campo gravitacional não uniforme. Enquanto o CM depende exclusivamente da distribuição de massa do corpo, o CG é afetado pela variação da gravidade atuante em diferentes partes do objeto. Em aplicações práticas, como engenharia e astronáutica, essa distinção é importante para o cálculo do equilíbrio e da estabilidade de estruturas submetidas a campos gravitacionais não uniformes.

3.1.7 PRINCÍPIO DE STEVIN E EXPRESSÃO DE BERNOULLI

Para compreender o comportamento de fluidos, tanto em repouso (hidrostática) quanto em movimento (hidrodinâmica), serão definidas duas grandezas escalares (apresentam módulo e unidade de medida) fundamentais: pressão p e massa específica ρ.

A pressão é definida como sendo a razão entre a força F aplicada e a área A sobre a qual ela atua, ou seja:

$$p = \frac{F}{A} \ , \tag{16}$$

a unidade no Sistema Internacional de pressão (SI), o newton por metro quadrado, é chamada de pascal.

A massa específica ρ de um corpo qualquer é dada como a relação entre a sua massa m e o seu volume V:

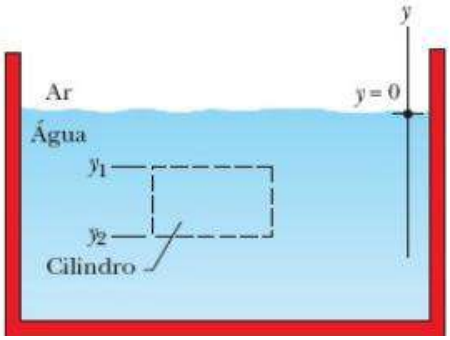
$$\rho = \frac{m}{V} \ , \tag{17}$$

a sua unidade no SI é o quilograma por metros cúbico (kg/m³). Ambas as grandezas definidas acima serão consideradas constantes.

Na hidrostática, a pressão em um fluido é determinada pelo peso da coluna de líquido acima de um determinado ponto, conforme estabelecido pelo princípio de Stevin. A seguir, será apresentada a demonstração desse princípio.

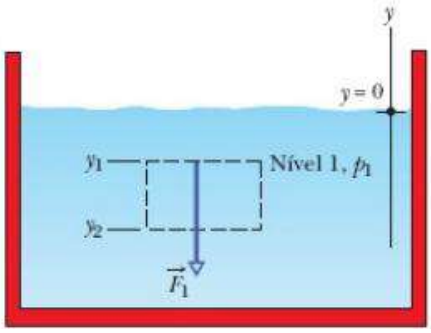
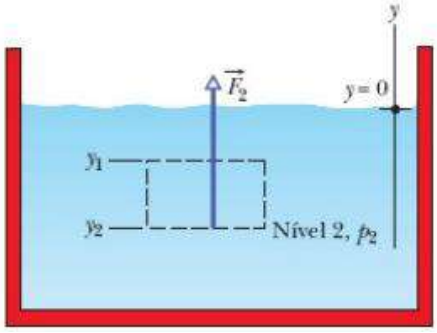
A água contida no cilindro circular imaginário (Figura 3) está em equilíbrio estático, ou seja, está em repouso.

Figura 3 – Representação do cilindro imaginário contendo água.

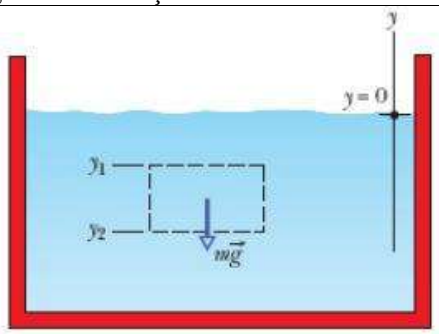


Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).

A água do cilindro está sujeita a três forças verticais: a força $\vec{F}_1$, de cima para baixo, age sobre a superfície superior do cilindro é exercida pela água que está sobre o cilindro imaginário, vide Figura 4. A força $\vec{F}_2$, de baixo para cima, apresentada na Figura 5, atua sobre a superfície inferior do cilindro e se deve à água que está abaixo do cilindro.

Figura 4 – A força $\vec{F}_1$ é causada pela pressão da água na superfície superior do cilindro.	Figura 5 – A força $\vec{F}_2$ é exercida pela pressão da água na superfície inferior do cilindro.
	
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).	

A força peso $\vec{P}$ que age sobre a água do cilindro, direcionada para baixo, está representada por $m\vec{g}$, em que m é a massa de água dentro do cilindro, veja a Figura 6.

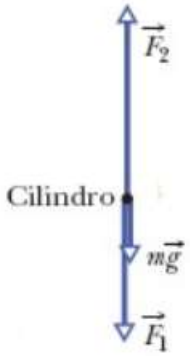
Figura 6 – A força $\vec{P}$ atua em todo o cilindro.

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).

Pela segunda lei de Newton, a resultante das forças F_R que agem sobre a água do cilindro é zero, portanto:

$$F_R = 0 \ , \qquad (18)$$

Na Figura 7 é apresentado o diagrama de corpo livre da água do cilindro. O diagrama de corpo livre é uma representação gráfica que mostra todas as forças que atuam sobre um corpo, isolando-o de seu entorno. Cada força é representada por um vetor, indicando a direção e sentido. O objeto é simplificado como um ponto.

Figura 7 – As três forças se equilibram.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).

Logo:

$$F_2 - F_1 - P = 0 \quad . \tag{19}$$

A expressão (18) pode ser reescrita como:

$$F_2 = F_1 + P \quad , \tag{20}$$

$$F_2 = F_1 + m.g \quad . \tag{21}$$

Para transformar (20) em uma expressão envolvendo pressões, (16) será reescrita da seguinte forma:

$$F_1 = p_1.A \quad , \tag{22}$$

$$F_2 = p_2.A \quad . \tag{23}$$

A massa m da água contida no cilindro é, segundo (17):

$$m = \rho.V \quad . \tag{24}$$

Substituindo (22), (23) e (24) em (21):

$$p_2 . A = p_1 . A + . \rho . V . g \quad . \tag{25}$$

Sabendo que o volume V de água dentro do cilindro é dado pelo produto entre a área da base A pela altura $(y_1 - y_2)$, ou seja:

$$V = A . (y_1 - y_2) \quad . \tag{26}$$

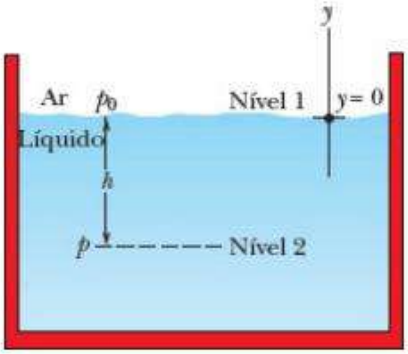
Substituindo (26) em (25), pode-se afirmar que:

$$p_2 . A = p_1 . A + . \rho . A . (y_1 - y_2) . g \quad , \tag{27}$$

$$\boxed{p_2 = p_1 + \rho . g . (y_1 - y_2) \ .} \tag{28}$$

Considerando as seguintes condições: $y_1 = 0$ (a superfície do líquido), $p_1 = p_0$ (é a pressão atmosférica), $y_2 = -h$ (profundidade) e $p_2 = p$. As condições mencionadas anteriormente são apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – A pressão p aumenta com a profundidade h conforme a expressão (30).



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).

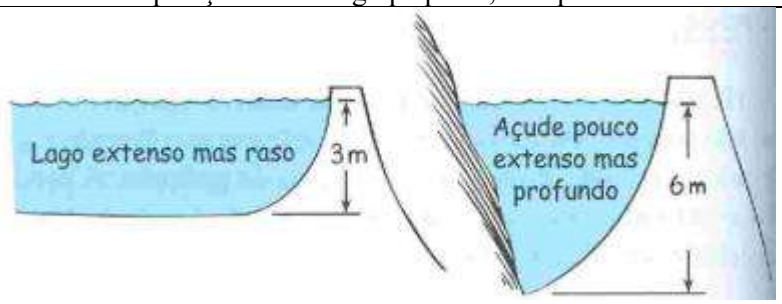
Portanto, a expressão (28) pode ser escrita como:

$$p = p_0 + \rho . g . [0 - (-h)] \quad , \tag{29}$$

$$\boxed{p = p_0 + \rho \, . \, g \, . \, h \ \ .} \qquad (30)$$

Note que, de acordo com as expressões (28) e (30), a pressão em um ponto de um fluido em equilíbrio estático depende da profundidade do ponto. O princípio de Stevin explica por que a pressão aumenta com a profundidade em lagos, açudes, represas etc. (vide Figura 9).

Figura 9 – A lago extenso, mas raso, exerce apenas a metade da pressão exercida pela água em comparação com o lago pequeno, mas profundo.



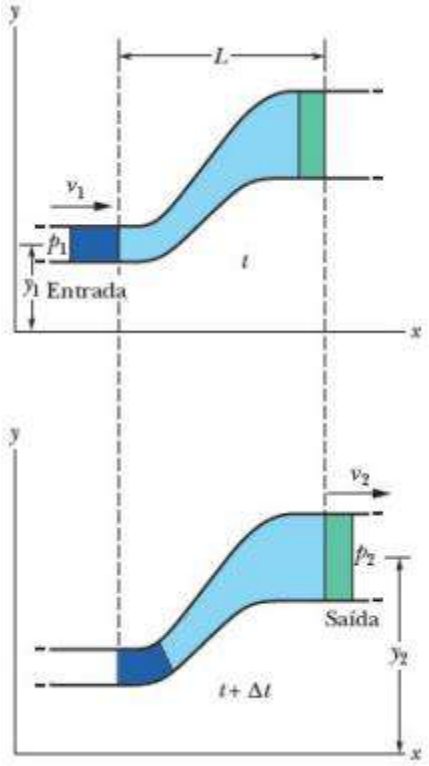
Fonte: Hewitt (2015).

Quando um fluido está em movimento, além da pressão estática, surge a pressão dinâmica, relacionada à energia cinética do fluido. Neste caso, deve-se aplicar o teorema de Bernoulli ou expressão de Bernoulli, válido para fluidos ideais. Os fluidos ideais apresentam as seguintes características: são incompressíveis, não viscosos e em regime estacionário.

Um fluido é considerado incompressível quando sua densidade permanece constante, independente das variações de pressão a que está submetido. Já a hipótese de fluido não viscoso implica na ausência de forças dissipativas internas, ou seja, a viscosidade é considerada insignificante. Por fim, um escoamento (movimento contínuo e ordenado de um fluido) é dito em regime estacionário quando suas propriedades físicas (velocidade, pressão, densidade etc.) não variam com o tempo. Isso não significa que o fluido está parado, mas sim que seu movimento se mantém constante ao longo do tempo.

Para realizar a demonstração da expressão de Bernoulli, será considerado um elemento de fluido que se move de uma região 1 (entrada) para uma região 2 (saída) em um tubo de fluxo, como ilustrado na Figura 10 a seguir:

Figura 10 – Um fluido escoando com vazão (é definido como a quantidade de fluido que atravessa a seção transversal ao longo do tempo) constante.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).

O fluido na região 1 é empurrado pela pressão p_1, que realiza um trabalho W_1 sobre o elemento de fluido, portanto:

$$W_1 = F_1 . \Delta x_1 \quad . \tag{31}$$

Substituindo (22) em (31):

$$W_1 = p_1 . A . \Delta x_1 \quad , \tag{32}$$

como $A . \Delta x_1$ corresponde ao volume deslocado ΔV, temos que:

$$W_1 = p_1 . \Delta V \quad , \tag{33}$$

O trabalho W_2 realizado na saída é:

$$W_2 = -p_2.\Delta V \quad . \tag{34}$$

Portanto, a soma dos trabalhos W_p é:

$$W_p = W_1 + W_2 \quad , \tag{35}$$

$$W_p = p_1.\Delta V + (-p_2.\Delta V) \quad , \tag{36}$$

$$W_p = p_1.\Delta V - p_2.\Delta V \quad , \tag{37}$$

$$W_p = (p_1 - p_2).\Delta V \quad , \tag{38}$$

A velocidade do fluido muda de v_1 para v_2, alterando sua energia cinética. Logo:

$$\Delta K = K_2 - K_1 \quad , \tag{39}$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}.\Delta m.v_2^2 - \frac{1}{2}.\Delta m.v_2^2 \quad , \tag{40}$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}.\Delta m.(v_2^2 - v_1^2) \quad . \tag{41}$$

Reescrevendo a expressão (24) com $\Delta m = \rho.\Delta V$ e substituindo em (41):

$$\Delta K = \frac{1}{2}.\rho.\Delta V.(v_2^2 - v_1^2) \quad . \tag{42}$$

A altura do elemento de fluido varia de y_1 para y_2, isso implica na variação da energia potencial ΔU. Portanto:

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad , \tag{43}$$

$$\Delta U = \Delta m.g.y_2 - \Delta m.g.y_1 \quad , \tag{44}$$

$$\Delta U = \Delta m.g.(y_2 - y_1) \quad , \tag{45}$$

$$\Delta U = \rho.\Delta V.g.(y_2 - y_1) \quad . \tag{45}$$

Assim, o trabalho realizado pela força peso W_g sobre a massa Δm do fluido durante a subida do nível da entrada até o nível da saída é dado por:

$$W_g = -\Delta U \quad . \tag{46}$$

$$W_g = -\rho.\Delta V.g.(y_2 - y_1) \quad . \tag{47}$$

Aplicando a lei da conservação da energia mecânica na forma do teoria trabalho-energia cinética, temos:

$$W = \Delta K \quad . \tag{48}$$

O trabalho total W é:

$$W = W_p + W_g \quad . \tag{49}$$

Substituindo (42) e (49) em (48), e reagrupando os termos, obtemos:

$$W_p + W_g = \frac{1}{2}.\rho.\Delta V.(v_2^2 - v_1^2) \quad , \tag{50}$$

$$(p_1 - p_2).\Delta V + [-\rho.\Delta V.g.(y_2 - y_1)] = \frac{1}{2}.\rho.\Delta V.(v_2^2 - v_1^2) \quad , \tag{51}$$

$$(p_1 - p_2).\Delta V - \rho.\Delta V.g.(y_2 - y_1) = \frac{1}{2}.\rho.\Delta V.(v_2^2 - v_1^2) \quad , \tag{52}$$

$$(p_1 - p_2) - \rho.g.(y_2 - y_1) = \frac{1}{2}.\rho.(v_2^2 - v_1^2) \quad , \tag{53}$$

$$p_1 - p_2 - \rho.g.y_2 + \rho.g.y_1 = \frac{1}{2}.\rho.v_2^2 - \frac{1}{2}.\rho.v_1^2 \quad , \tag{54}$$

Reescrevendo (54) da seguinte forma:

$$\boxed{p_1 + \rho.g.y_1 + \frac{1}{2}.\rho.v_1^2 = p_2 + \rho.g.y_2 + \frac{1}{2}.\rho.v_2^2 \quad .} \tag{55}$$

Como as posições de entrada e de saída são arbitrárias, pode-se afirmar que a:

$$\boxed{p + \rho.g.y + \frac{1}{2}.\rho.v^2 = k\,(\text{constante}) \quad .} \tag{56}$$

Na expressão (56), p é a pressão estática (representa a pressão exercida pelo fluido em todas as direções), $\frac{1}{2}\rho v^2$ é a pressão hidrodinâmica (está associada à velocidade do fluido) e ρgh é a pressão hidrostática (depende da altura em relação a um referencial).

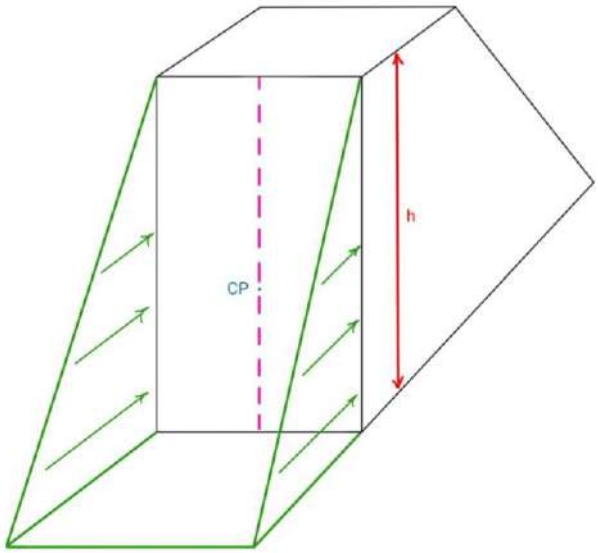
3.1.8 CENTRO DE PRESSÃO (CP)

O centro de pressão é o ponto onde a força resultante da pressão atua sobre uma superfície submersa. Em uma barragem ou comporta, por exemplo, a pressão não é uniforme devido ao aumento da profundidade. Assim, o centro de pressão localiza-se abaixo do centro geométrico da superfície, pois a pressão é maior nas regiões mais profundas de um fluido (vide Figura 11).

A estabilidade de um iceberg flutuando na água está diretamente relacionada à posição de seu CP e de seu CG. Quando o iceberg está em equilíbrio, o CG, que depende da distribuição de massa do gelo, e o CP, alinham-se verticalmente. No entanto, qualquer perturbação externa, como, por exemplo, ondas ou ventos, pode deslocar temporariamente o CP devido à mudança na geometria da porção submersa, gerando um torque restaurador. Um exemplo prático de modificação da localização do CG e CP ocorre quando o iceberg, Figura 12, perde massa por

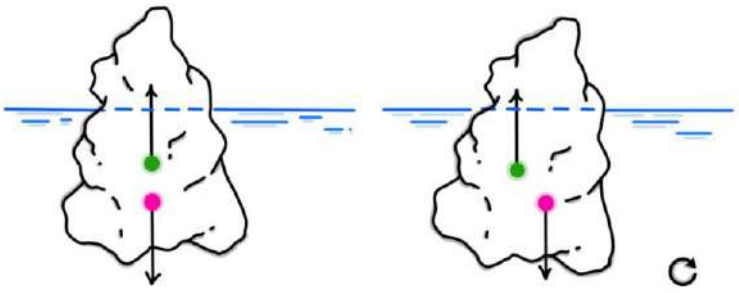
fusão: o derretimento de parte do iceberg altera a localização do CP e do CG, fazendo com que estes dois centros fiquem desalinhados, gerando um torque restaurador, o que provoca a inclinação do iceberg.

Figura 11 – Representação esquemática de uma barragem trapezoidal de altura h e do diagrama de pressão (setas em verde). O CP é um ponto pertencente ao sólido e é localizado no eixo de simetria (reta rosa tracejada) da seção transversal do sólido em contato com o fluido.



Fonte: Tainá Nakamura.

Figura 12 – O ponto em verde representa o CM e o ponto em rosa representa o CP de um iceberg que está flutuando na água. Quando os centros estão alinhados, o iceberg fica em equilíbrio, como indicado na figura à esquerda. Porém, quando os centros estão desalinhados, o iceberg tende a tombar para direita devido ao torque no sentido horário, como indicado na figura à direita.



Fonte: Tainá Nakamura.

3.1.9 SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL

Um sistema de massa variável é aquele no qual a quantidade de matéria contida no sistema não permanece constante ao longo do tempo, seja por ganho ou perda de partículas. Esse tipo de sistema é amplamente estudado na física, especialmente em contextos como

propulsão de foguetes (Figura 13), escoamento de fluidos e dinâmica de corpos que sofrem erosão ou acúmulo de material.

Figura 13 – O foguete em ascensão é um sistema de massa variável devido ao consumo de combustível e à expulsão de gases.

Fonte: Hewitt (2016).

A análise de tais sistemas requer uma abordagem distinta daquela utilizada em sistemas de massa constante, uma vez que a segunda lei de Newton pressupõe uma massa invariável. Portanto, quando se trata de sistemas de massa variável, deve-se aplicar a conservação do momento linear do sistema.

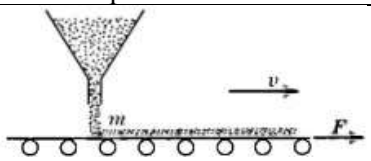
Quando um corpo perde massa, como no caso de um foguete ejetando gases, a massa ejetada carrega consigo momento linear, exercendo uma força de reação sobre o corpo principal. Reciprocamente, quando um corpo ganha massa, como no caso de uma gota de chuva crescendo por causa da condensação, o momento da massa acrescentada deve ser incorporado ao movimento do sistema. Esse tratamento unificado permite descrever adequadamente a dinâmica de sistemas complexos onde a massa não se conserva.

O movimento de queda de uma gota de chuva na atmosfera constitui um sistema de massa variável. À medida que a gota desce, ela pode crescer através da aglutinação com partículas menores ou, em certas condições, perder massa por evaporação. O crescimento da gota por aglutinação representa um caso de aumento de massa, em que o momento linear das partículas incorporadas afeta o movimento da gota principal. Esse processo é particularmente importante para a modelagem da precipitação atmosférica e para a compreensão da distribuição de tamanhos de gotículas em nuvens.

Outra aplicação significativa ocorre em sistemas industriais, como esteiras transportadoras que recebem material continuamente. Nesse caso, a esteira ganha massa à

medida que o material é depositado sobre ela, alterando sua dinâmica de movimento. Na Figura 14, a esteira se move com velocidade constante v e uma força $\boldsymbol{F}$ é aplicada para movê-la.

Figura 14 – Material sendo depositado continuamente sobre uma esteira.



Fonte: Alonso e Finn (2014).

A esteira possui uma massa M e m é a massa do material despejado no instante de tempo t, a quantidade de movimento total p_t do sistema, nesse instante de tempo t é:

$$p_t = (m + M).v \quad . \tag{57}$$

Portanto, a intensidade da força F será:

$$F = \frac{dp_t}{dt} \quad . \tag{58}$$

Substituindo (57) em (58), obtemos a seguinte expressão:

$$F = \frac{d}{dt}[(m + M).v] \quad , \tag{59}$$

$$F = v.\frac{d}{dt}(m + M) \quad , \tag{60}$$

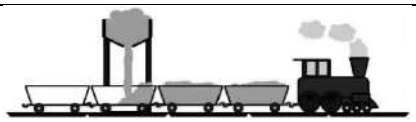
$$F = v.\left(\frac{dm}{dt} + \frac{dM}{dt}\right) \quad , \tag{61}$$

como a massa da esteira M não varia com o tempo, temos que dM/dt é zero. Por fim:

$$\boxed{F = v.\frac{dm}{dt} \quad .} \tag{62}$$

Pela expressão (62) nota-se que a força F que atua na esteira é causada pela variação da massa acrescida sobre a esteira e não pela variação da velocidade da esteira.

O projeto eficiente de tais sistemas requer a consideração cuidadosa do momento linear transferido pelo material adicionado, bem como das forças necessárias para manter o movimento diante da massa variável. Problemas semelhantes surgem no estudo de trens de mineração, vide Figura 15, nos quais vagões são carregados ou descarregados durante o movimento, e no transporte de fluidos através de tubulações com vazamentos ou injeções laterais, Figura 16.

Figura 15 – Sistema de massa variável crescente.	Figura 16 – Sistema de massa variável decrescente.
	
Fonte: site Responde aí.	Fonte: site Responde aí.

A propulsão de foguetes representa talvez a aplicação mais conhecida de sistemas de massa variável, onde a ejeção de gases de combustão a alta velocidade gera a força de empuxo que impulsiona o veículo. O movimento de ascensão de foguetes espaciais está relacionado com a compreensão da dinâmica de sistemas de massa variável decrescente, como formalizado na expressão do foguete de Tsiolkovsky e apresentada a seguir:

$$\Delta v = v_e . \ln\left(\frac{m_i}{m_f}\right) \ . \tag{63}$$

A demonstração detalhada da expressão (63) pode ser encontrada no APÊNDICE C.

3.2 – EQUAÇÕES DE ESTADO PARA GÁS IDEAL E GASES REAIS

3.2.1 GÁS IDEAL, REAIS E A EXPRESSÃO DE ESTADO

Um gás ideal é um modelo teórico que descreve o comportamento de um gás sob condições específicas. Segundo a teoria cinética dos gases, um gás ideal é composto por partículas pontuais que não interagem entre si (não há presença de forças intermoleculares), exceto por colisões perfeitamente elásticas (conservação da energia cinética e do momento linear do sistema). Além disso, o volume ocupado pelas partículas é considerado desprezível em comparação ao volume do recipiente (Figura 17).

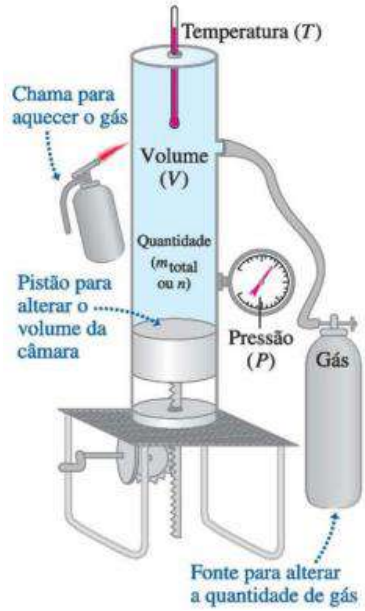
Figura 17 – Modelo de gás ideal.

Fonte: Young e Freedman (2016).

Grandezas físicas pressão p, volume V, temperatura absoluta T e quantidade de substância n definem as condições ou o estado em que um material se encontra, seja no estado sólido ou gasoso. Essas grandezas são denominadas de variáveis de estado. O volume V de uma substância geralmente é determinado por sua pressão p, temperatura absoluta T e pela quantidade de substância n. Em geral, não é possível alterar uma dessas grandezas sem provocar mudanças nas demais.

Em alguns casos, a relação entre p, V, T e n é suficientemente simples para ser expressa por meio de uma expressão, conhecida como expressão de estado. Inicialmente, será determinado a expressão de estado para o gás ideal. A Figura 18 apresenta um dispositivo experimental hipotético para estudar o comportamento de um gás.

Figura 18 – Equipamento hipotético para analisar o comportamento de gases.



Fonte: Young e Freedman (2016).

O cilindro ilustrado na Figura 18 possui um pistão móvel, o que permite variar o volume do gás. A temperatura é controlada por meio de aquecimento externo, enquanto a quantidade de gás no interior do cilindro pode ser ajustada mediante o bombeamento. Na sequência, são medidas as grandezas físicas que descrevem o gás: a pressão absoluta p (pelo manômetro), o volume V (pela variação do volume da câmara da vazia, movimentando o pistão), a temperatura absoluta T (através do termômetro) e a quantidade de gás n (usando o cilindro). É importante destacar que a pressão se refere à força por unidade de área exercida pelo cilindro sobre o gás e à força por unidade de área exercida pelo gás sobre o cilindro, devido às colisões elásticas entre as partículas do gás e a parede interna do cilindro; de acordo com a terceira lei de Newton, essas pressões devem ser iguais.

As medidas experimentais do comportamento de muitos gases conduzem a três conclusões:

- O volume V é proporcional à quantidade da substância n ($V \propto n$);
- O volume V é inversamente proporcional à pressão absoluta p ($V \propto p$);
- A pressão absoluta p é proporcional à temperatura absoluta T ($p \propto T$).

As três proporcionalidades acima podem ser combinadas da seguinte forma:

$$p.V \propto n.T \quad . \tag{64}$$

A relação de proporcionalidade acima pode ser escrita em uma única expressão, denominada expressão de estado de um gás ideal:

$$\boxed{\mathrm{p.V = n.R.T}\ ,} \tag{65}$$

em que R é a constante universal dos gases, cujo significado será explicado abaixo.

Um gás ideal é aquele cujo comportamento pode ser descrito com precisão pela expressão (65), em todas as pressões e temperaturas. Trata-se de um modelo idealizado, como mencionado anteriormente, que funciona melhor com pressões muito pequenas e temperaturas muito elevadas, quando as partículas se deslocam com velocidade elevadas e a distância entre elas é muito grande, em comparação com as dimensões das partículas. Desse modo, gases como oxigênio, hidrogênio, hélio ou gás carbônico, quando estão muito rarefeitos (isto é, sujeitos a pressões baixas e a temperaturas elevadas) podem ser descritos aproximadamente pela expressão (65).

A constante de proporcionalidade R da expressão do gás ideal apresenta o mesmo valor, independente da natureza do gás. Ela é chamada de constante dos gases ideais ou constante dos gases. Vale lembrar que a unidade de pressão p no SI é Pa e a unidade de volume é m³, o valor atual mais aproximado da constante é $\mathrm{R} = 8{,}314\ \mathrm{Pa.\,m^3/(mol.\,K)}$. Nota-se que a unidade de pressão multiplicada pela unidade de volume fornece a de energia ou de trabalho, ou seja:

$$\mathrm{Pa\,.\,m^3} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m^2}}.\mathrm{m^3} = \mathrm{N.\,m} = \mathrm{J\ (joule)}\ . \tag{66}$$

Em cálculos de química, os volumes, em geral, são expressos em litros (L) e as pressões em atmosferas (atm). Portanto:

$$8{,}314\,\frac{\mathrm{Pa.\,m^3}}{\mathrm{mol.\,K}} = 8{,}314\,\frac{\mathrm{Pa.\,m^3}}{\mathrm{mol.\,K}}\,.\frac{1\ \mathrm{atm}}{101325\ \mathrm{Pa}}\,.\frac{1000\ \mathrm{L}}{1\ \mathrm{m^3}} = 0{,}082\,\frac{\mathrm{atm.\,L}}{\mathrm{mol.\,K}}\quad . \tag{67}$$

A massa molar M de um gás é definida como a razão entre massa total m pela quantidade da substância n:

$$\mathrm{M} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{n}}\ . \tag{68}$$

A unidade de medida de massa molar no SI é o quilograma por mol (kg/mol) e a mais usual é grama por mol (g/mol). Isolando número de moles n da expressão (68) e substituindo em (65), obtemos que:

$$p.V = \frac{m}{M}.R.T \quad , \tag{69}$$

$$p.M = \frac{m}{V}.R.T \quad , \tag{70}$$

$$\frac{p.M}{R.T} = \frac{m}{V} \quad . \tag{71}$$

Substituindo (17) em (71), é obtida a expressão para densidade do gás ideal:

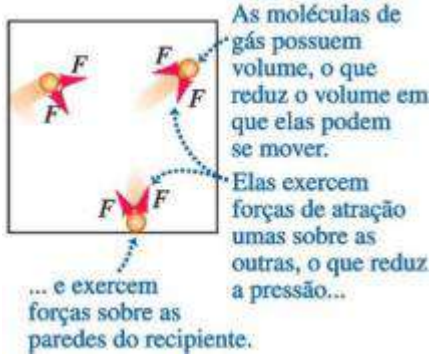
$$\boxed{\rho = \frac{p.M}{R.T} \quad .} \tag{72}$$

3.2.2 EQUAÇÃO DE VAN DER WAALS

Anteriormente foi obtido a expressão de estado (65) a partir de um modelo simples que despreza dois parâmetros importantes: os volumes das partículas e a força de atração entre elas. A equação de estado de Van der Waals considera esses dois parâmetros, mencionados na Figura 19 abaixo. Essa expressão foi deduzida no século XIX pelo físico holandês Johannes Diderik van der Waals. A equação de Van der Waals é:

$$\boxed{\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right).(V - nb) = nRT \quad .} \tag{73}$$

Figura 19 – Modelo mais realista de um gás.



Fonte: Young e Freedman (2016).

As constantes a e b assumem valores diferentes para cada gás e a Tabela 4 apresenta, respetivamente, seus valores obtidos empiricamente.

Tabela 4 – Substâncias e os valores, obtidos experimentalmente, das constantes a e b.

Substância	a $(\mathrm{J.m^3.kmol^{-2}})$	b $(\mathrm{m^3.kmol^{-1}})$
H_e	$3{,}44\mathrm{x}10^2$	0,0234
H_2	24,8	0,0266
O_2	138	0,0318
CO_2	366	0,0429
H_2O	580	0,0319
Hg	292	0,0055

Fonte: Sears e Salinger (1979).

A constante b está relacionada com o volume de um mol de partículas; o volume total das partículas é nb, e o volume resultante disponível para o movimento das partículas é $V - nb$. A constante a depende da força de atração entre as partículas do gás. Essa interação entre as partículas reduz a pressão que o gás exerce sobre as paredes do recipiente que o contém. A diminuição da pressão é proporcional ao número de moléculas por unidade de volume em uma camada próxima da parede (que está exercendo a pressão sobre a parede) e é proporcional ao número de moléculas por unidade de volume da camada que segue à primeira (que está exercendo a atração). Portanto, a diminuição da pressão decorrente das forças entre as partículas é proporcional a n^2/V^2.

Caso o gás real esteja diluído (alta temperatura, baixa pressão e baixa densidade), a razão entre n/V tende a zero, e a equação de Van der Waals se reduz à expressão do gás ideal. Isso pode ser verificado expandindo a expressão (73) e considerando $n/V \to 0$:

$$p.V - p.n.b + \frac{a.n^2}{V} - \frac{a.n^2.b}{V^2} = n.R.T \quad , \tag{74}$$

$$p.V - p.n.b + a.n.\left(\frac{n}{V}\right) - \frac{a.n.b}{V}.\left(\frac{n}{V}\right) = n.R.T \quad , \tag{75}$$

$$p.V - p.n.b.\left(\frac{V}{V}\right) + a.n.\left(\frac{n}{V}\right) - \frac{a.n.b}{V}.\left(\frac{n}{V}\right) = n.R.T \quad , \tag{76}$$

$$p.V - p.V.b.\left(\frac{n}{V}\right) + a.n.\left(\frac{n}{V}\right) - \frac{a.n.b}{V}.\left(\frac{n}{V}\right) = n.R.T \quad , \tag{77}$$

$$\boxed{p.V = n.R.T \quad ,} \tag{78}$$

que é a expressão do gás ideal. Para se obter a expressão (78) a partir da expressão (73), também pode-se argumentar da seguinte maneira: para o gás ideal, como a interação entre as partículas é desprezível, a constante a da expressão (73) é nula; por outro lado, o volume ocupado pelas partículas de um gás ideal é desprezível em comparação com o volume total V, ou seja, a constante b da expressão (73) também é nula. Assim, quando consideramos um gás ideal, com as constantes a e b nulas, a equação de Van der Waals (73) se reduz à expressão de um gás ideal (78).

Como exemplo, para o gás dióxido de carbono (CO_2), consultando a Tabela 4, as constantes da equação de Van der Waals são: $a = 0{,}366\ J.m^3/mol^2$ e $b = 4{,}29x10^{-5}\ m^3/mol$. Através da expressão de um gás ideal, $p.V = n.R.T$, verifica-se que um mol de gás ideal ($n = 1\ mol$) quando $T = 273{,}15\ K$ e $p = 1{,}013x10^5\ Pa$, ocupa um volume V de:

$$(1{,}013x10^5\ Pa).V = (1\ mol).\left(8{,}314\ \frac{Pa.m^3}{mol.K}\right).(273{,}15\ K) \quad , \tag{79}$$

$$\mathrm{V} = \left(\frac{2{,}271\mathrm{x}10^{3}}{1{,}013\mathrm{x}10^{5}}\ \mathrm{m}^{3}\right)\ , \tag{80}$$

$$\mathrm{V} = 0{,}0224\ \mathrm{m}^{3} = 22{,}4\ \mathrm{L}\ . \tag{81}$$

Agora, de acordo com a expressão de estado de Van der Waals, dada pela expressão (73), um mol ($\mathrm{n} = 1\ \mathrm{mol}$) de $\mathrm{CO_2}$, ocupando o volume V de $0{,}0224\ \mathrm{m}^3$ (dado pela expressão (81), que foi calculada pela expressão de estado de um gás ideal), a uma temperatura T de 237,15 K, está sob uma pressão p correspondente a:

$$\left[\mathrm{p} + \frac{(0{,}366)(1)^2}{(0{,}0224)^2}\right].[(0{,}0224\ ) - (1).(4{,}29\mathrm{x}10^{-5}\ )] = (1).(8{,}314).(273{,}15)\ , \tag{82}$$

$$\left[\mathrm{p} + \frac{(0{,}366)(1)^2}{(0{,}0224)^2}\right].[(0{,}0224\ ) - (1).(4{,}29\mathrm{x}10^{-5}\ )] = 2{,}271x10^{3}\ , \tag{83}$$

$$(\mathrm{p} + 7{,}294x10^{2}).(2{,}235x10^{-2}) = 2{,}271x10^{3}\ , \tag{84}$$

$$\mathrm{p} + 7{,}294x10^{2} = 1{,}016x10^{5}\ , \tag{85}$$

$$\mathrm{p} = 1{,}008\mathrm{x}10^{5}\ \mathrm{Pa}\ . \tag{86}$$

A diferença entre o valor utilizado na expressão (79) e o obtido em (86) é de, aproximadamente, 0,4%. Ou seja, o gás carbônico à pressão normal (1 atmosfera = $1{,}013\mathrm{x}10^{5}$ Pa) pode ser descrito tanto pela equação de Van der Waals quanto pela expressão de estado de um gás ideal.

3.2.3 EQUAÇÃO DO VIRIAL

A equação do virial é uma equação de estado que descreve o comportamento de gases reais por meio de uma expansão em série de potências. Essa equação é importante para

compreender as propriedades dos gases reais, pois leva em conta as forças intermoleculares. A forma geral da equação virial para um gás real é expressa em termos do volume molar v, ou seja, o volume V dividido pelo número de moles n. A forma dessa expressão é:

$$\boxed{\mathrm{p}v = \mathrm{A} + \frac{\mathrm{B}}{v} + \frac{C}{v^2} + \frac{\mathrm{D}}{v^3} \ldots \ .} \tag{86}$$

Na expressão (86), p é a pressão absoluta, v o volume molar e A, B, C etc... são os coeficientes viriais. O segundo coeficiente virial, B, é particularmente importante, pois descreve as interações entre duas partículas e domina o comportamento do gás real em condições moderadas de pressão.

A equação de Van der Waals, dada pela expressão (73), pode ser reescrita em termos do volume molar v, do seguinte modo:

$$\left(\mathrm{p} + \frac{\mathrm{a}}{v^2}\right).(v - \mathrm{b}) = \mathrm{RT} \ . \tag{87}$$

Para se obter a equação virial a partir da equação de Van der Waals, é necessário reescrevê-la em uma forma que permite a expansão em série.

Inicialmente, rearranja-se a expressão (87) do seguinte modo:

$$\mathrm{p} + \frac{\mathrm{a}}{v^2} = \frac{\mathrm{RT}}{(v - \mathrm{b})} \ , \tag{88}$$

$$\frac{\mathrm{p}v^2 + \mathrm{a}}{v^2} = \frac{\mathrm{RT}}{(v - \mathrm{b})} \ ,$$

$$\mathrm{p}v^2 + \mathrm{a} = \frac{v^2}{(v - \mathrm{b})}.\mathrm{RT} \ ,$$

$$\mathrm{p}v^2 = \frac{v^2}{(v - \mathrm{b})}.\mathrm{RT} - \mathrm{a} \ ,$$

$$\mathrm{p}v = \frac{1}{v}.\left[\frac{v^2}{(v - \mathrm{b})}.\mathrm{RT} - \mathrm{a}\right] \ ,$$

$$\mathrm{p}v = \frac{v}{(v-\mathrm{b})}.\mathrm{RT} - \frac{\mathrm{a}}{v} \quad . \tag{89}$$

Na expressão (89), o termo $\frac{v}{(v-\mathrm{b})}$ será reescrito da seguinte forma:

$$\frac{v}{(v-\mathrm{b})} = \left(\frac{v-\mathrm{b}}{v}\right)^{-1} = \left(1-\frac{\mathrm{b}}{v}\right)^{-1} \quad ,$$

$$\left(1+\left(-\frac{\mathrm{b}}{v}\right)\right)^{-1} = 1-\left(-\frac{\mathrm{b}}{v}\right)+\left(-\frac{\mathrm{b}}{v}\right)^{2}-\left(-\frac{\mathrm{b}}{v}\right)^{3}+\cdots \quad ,$$

$$\boxed{\left(1+\left(-\frac{\mathrm{b}}{v}\right)\right)^{-1} = 1+\frac{\mathrm{b}}{v}+\frac{\mathrm{b}^2}{v^2}+\frac{\mathrm{b}^3}{v^3}+\cdots \quad .} \tag{90}$$

Na expressão (90), foi utilizada a forma geral da série binomial[1]. Como $\mathrm{b} \ll v$, temos que $\frac{\mathrm{b}}{v} \ll 1$. Desse modo, os termos de maior ordem da série binomial apresentada na expressão (90) são muito pequenos em comparação com os quatro primeiros termos $\left(1+\frac{\mathrm{b}}{v}+\frac{\mathrm{b}^2}{v^2}+\frac{\mathrm{b}^3}{v^3}\right)$ e, portanto, podem ser desprezados. Ao substituir a expressão (90) em (89), obtemos a expressão:

$$\mathrm{p}v = \left(1+\frac{\mathrm{b}}{v}+\frac{\mathrm{b}^2}{v^2}+\frac{\mathrm{b}^3}{v^3}+\cdots\right).\mathrm{RT} - \frac{\mathrm{a}}{v} \quad .$$

$$\mathrm{p}v = \mathrm{RT}+\frac{\mathrm{RTb}}{v}+\frac{\mathrm{RTb}^2}{v^2}+\frac{\mathrm{RTb}^3}{v^3}-\frac{\mathrm{a}}{v}+\cdots \quad .$$

$$\boxed{\mathrm{p}v = \mathrm{RT}+\frac{(\mathrm{RTb}-\mathrm{a})}{v}+\frac{\mathrm{RTb}^2}{v^2}+\frac{\mathrm{RTb}^3}{v^3}+\cdots \quad .} \tag{91}$$

[1] A série binomial, também conhecida como binômio de Newton, foi desenvolvida por Sir Isaac Newton em 1666. A forma geral da série binomial é $(1+\mathrm{x})^{\mathrm{m}} = 1+\mathrm{mx}+\frac{\mathrm{m}(\mathrm{m}-1)}{2!}\mathrm{x}^2+\frac{\mathrm{m}(\mathrm{m}-1)(\mathrm{m}-2)}{3!}\mathrm{x}^3+\cdots$ (TIPLER, 2019).

A expressão (91) é a equação virial para o gás de Van der Waals, com termos até a terceira ordem de b/v. Ao se comparar a expressão (86) com a expressão (91), pode-se afirmar que os quatro primeiros coeficientes viriais são:

$$\boxed{\mathrm{A} = \mathrm{RT}, \mathrm{B} = \mathrm{RTb} - \mathrm{a}, \mathrm{C} = \mathrm{RTb}^2, \mathrm{D} = \mathrm{RTb}^3 \ .} \tag{92}$$

3.3 – A QUÍMICA DO LANÇAMENTO DE FOGUETE DE GARRAFA PET

3.3.1 REAÇÕES QUÍMICAS

Uma reação química é um processo em que substâncias (reagentes) transformam-se em novas substâncias (produtos), devido à ruptura e à formação de novas ligações químicas. A representação de uma reação é feita por meio de equações químicas, nas quais os reagentes são dispostos à esquerda e os produtos à direita, separados por uma seta ($\rightarrow$) que indica a direção da transformação. As fases físicas das espécies envolvidas podem ser indicadas pelos símbolos (s) para sólido, (l) para líquido, (g) para gás e (aq) para substâncias em solução aquosa. Por exemplo:

$$\boxed{\mathrm{A_{(s)} + B_{(l)} \rightarrow C_{(g)} + D_{(aq)}} \ .} \tag{96}$$

Quanto aos tipos de reações químicas, estas podem ser classificadas em quatro categorias principais: síntese (combinação), decomposição, deslocamento (simples troca) e dupla troca.

Nas reações de síntese, dois ou mais reagente combinam-se para formar um único produto, como por exemplo a reação para formar moléculas de água:

$$\boxed{\mathrm{2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}} \ .} \tag{97}$$

Nas reações de decomposição, um composto, por exemplo o óxido de mercúrio II (HgO) divide-se em substâncias mais simples: mercúrio metálico[2] (Hg) e gás oxigênio ($\mathrm{O_2}$). Portanto:

$$\boxed{\mathrm{2HgO_{(s)} \rightarrow 2Hg_{(l)} + O_{2(g)}} \ .} \tag{98}$$

As reações de deslocamento ocorrem quando um elemento mais reativo (a reatividade descreve a facilidade com que um elemento perde ou ganha elétrons durante uma reação química) substitui outro menos reativo em um composto:

[2] É um metal pesado (apresenta coloração prateada), volátil e encontra-se no estado líquido quando está à temperatura ambiente.

$$\boxed{Zn_{(s)} + CuSO_{4_{(aq)}} \rightarrow ZnSO_{4(aq)} + Cu_{(s)}\ .} \quad (99)$$

Na expressão (104), os reagentes são: zinco metálico $\left(Zn_{(s)}\right)$ e sulfato de cobre II em solução aquosa $\left(CuSO_{4_{(aq)}}\right)$, formando sulfato de zinco em solução aquosa $\left(ZnSO_{4_{(aq)}}\right)$ e cobre metálico $\left(Cu_{(s)}\right)$.

Nas reações de dupla troca, há troca de íons de dois compostos. Isso ocorre na reação entre cloreto de sódio $\left(NaCl_{(aq)}\right)$ e nitrato de prata $\left(AgNO_{3_{(aq)}}\right)$, ambos em solução aquosa:

$$\boxed{NaCl_{(aq)} + AgNO_{3_{(aq)}} \rightarrow AgCl_{(s)} + NaNO_{3_{(aq)}}\ ,} \quad (100)$$

em que os produtos formados são o cloreto de prata $\left(AgCl_{(s)}\right)$ e o nitrato de sódio em solução aquosa $\left(NaNO_{3_{(aq)}}\right)$.

Outro exemplo de reação química é a mistura entre hidrogenocarbonato de sódio $\left(NaHCO_{3(s)}\right)$ e ácido acético $(CH_3COOH_{(aq)})$, presente no vinagre. Essa reação pode ser classificada reação de dupla troca. Inicialmente é formado acetato de sódio $(CH_3COONa_{(aq)})$ e ácido carbônico (H_2CO_3). Posteriormente, o ácido carbônico se decompõe em água $(H_2O_{(l)})$ e dióxido de carbono $(CO_{2(g)})$, conforme a expressão abaixo:

$$\boxed{NaHCO_{3(s)} + CH_3COOH_{(aq)} \rightarrow CH_3COONa_{(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}\ .} \quad (101)$$

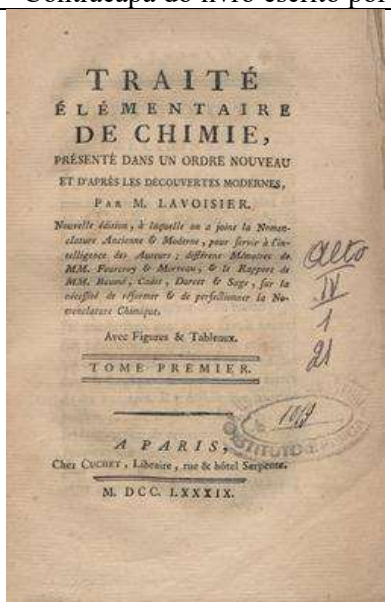
Na reação química indicada pela expressão (101), o íon bicarbonato (HCO_3^-) atua como base de Brönsted-Lowry, aceitando um íon (H^+) do ácido acético, o que resulta na liberação de $CO_{2(g)}$, perceptível pela efervescência característica durante o processo de mistura. A estequiometria (isto é, o cálculo das quantidades de reagentes e produtos em uma reação) mostra que 1 mol de $NaHCO_{3(s)}$ reage com 1 mol de $CH_3COOH_{(aq)}$, gerando produtos em proporções equimolares (ou seja, dois ou mais produtos apresentam a mesma quantidade de substância e, portanto, o mesmo número de moles).

As reações químicas são regidas por leis fundamentais que estabelecem os princípios de conservação, proporção e combinação entre as substâncias. As principais leis, formuladas entre

os séculos XVIII e XIX, são as: de Lavoisier (lei da conservação das massas), de Proust (lei das proporções definidas) e de Dalton (lei das proporções múltiplas).

Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), químico francês considerado o "pai da Química Moderna", revolucionou a Química quando, em 1789, publicou seu *Tratado Elementar de Química*, em que enunciou a lei da conservação das massas: "Em toda reação química, a massa total dos reagentes é igual à massa total dos produtos". Nesse Tratado, Lavoisier abandona o conceito de flogístico (suposto fluido responsável pela combustão, antes de se conhecer a importância do oxigênio para este processo) e adota uma abordagem quantitativa para as reações químicas. Abaixo, na Figura 20 é mostrada a contracapa do famoso Tratado de Lavoisier.

Figura 20 – Contracapa do livro escrito por Lavoisier.


TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE CHIMIE,
PRÉSENTÉ DANS UN ORDRE NOUVEAU
ET D'APRÈS LES DÉCOUVERTES MODERNES,
PAR M. LAVOISIER.
Nouvelle édition, à laquelle on a joint la Nomenclature Ancienne & Moderne, pour servir à l'intelligence des Auteurs; différens Mémoires de MM. Fourcroy & Morveau, & le Rapport de MM. Berard, Cadet, Darcet & Sage, sur la nécessité de réformer & de perfectionner la Nomenclature Chimique.
Avec Figures & Tableaux.
TOME PREMIER.
A PARIS,
Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.
M. DCC. LXXXIX.

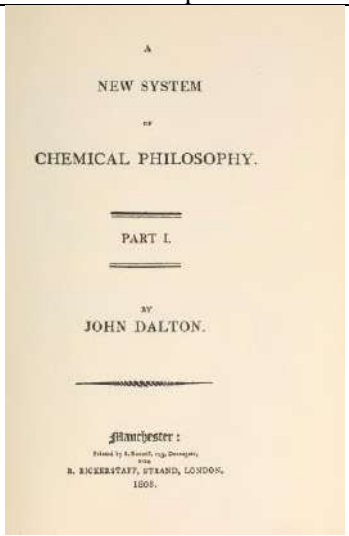
Fonte: Wikipédia (2018).

A lei da conservação das massas, proposta por Lavoisier para reações químicas, surgiu de experimentos rigorosos, como a calcinação de metais em recipientes fechados, nos quais ele observou que, embora os materiais mudassem de forma, a massa total permanecia inalterada. Lavoisier demonstrou experimentalmente que, em sistemas isolados, os átomos não são criados e nem destruídos, apenas reorganizados. Sua abordagem empírica (isto é, baseada em resultados de experimentos), utilizou medições precisas e marcou a transição da Alquimia (prática antiga que misturava Filosofia, Química e Misticismo, com o objetivo de transformar metais básicos em ouro, encontrar a cura para doenças e prolongar a vida) para a Química Moderna.

Joseph Louis Proust (1754-1826), químico francês contemporâneo de Lavoisier, dedicou-se ao estudo da composição de compostos químicos. Entre 1794 e 1804, Proust analisou substâncias como o carbonato de cobre $\left(CuCO_{3(s)}\right)$ e água $\left(H_2O_{(l)}\right)$, concluindo que "um composto químico puro sempre contém os mesmos elementos em proporções de massas fixas e invariáveis". Essa afirmação é conhecida como lei das proporções definidas. Proust provou sua teoria sintetizando sulfeto de cobre (Cu_2S) por diferentes métodos e verificando que a proporção entre cobre e enxofre era sempre $2:1$ em massa. Essa lei empírica estabeleceu que a pureza de um composto está intrinsecamente ligada à sua composição constante e tornou-se um princípio essencial para a Química Analítica.

John Dalton (1766-1844), químico e físico inglês, expandiu o trabalho de Proust ao investigar compostos formados pelos mesmos elementos em diferentes proporções. Em 1803, Dalton formulou a lei das proporções múltiplas, que afirma: "quando dois elementos se combinam para formar mais de um composto, as massas de um elemento que se combinam com a massa fixa de outro elemento estão em uma proporção de números inteiros pequenos". Dalton baseou-se em experimentos com óxido de nitrogênio $\left(NO_{(g)},\ N_2O_{3(g)}\ \text{e}\ NO_{2(g)}\right)$ e carbono $\left(CO_{(g)}, CO_{2(g)}\right)$, observando que as proporções de oxigênio por unidade de nitrogênio ou carbono seguiam relações como $1:2$ ou $2:1$. Essa lei, também empírica, reforçou sua teoria atômica (1808), que postulava a existência de átomos indivisíveis combinando-se em proporções fixas. Na Figura 21 abaixo, é mostrada a contracapa do livro "Um novo sistema de filosofia química" de John Dalton, publicado em 1808.

Figura 21 – Contracapa do livro escrito por John Dalton e publicado em 1808.



Fonte: Internet Archive (2008).

As leis de Lavoisier, Proust e Dalton derivam de observações experimentais diretas, sem dependência de modelos teóricos prévios. Apesar de sua simplicidade, essas leis resistiram ao teste do tempo. Sua precisão em sistemas ideais (reações completas, compostos puros) as torna ferramentas indispensáveis para prever quantidades em sistemas químicos.

3.3.2 BALANCEAMENTO QUÍMICO

O balanceamento químico é um procedimento fundamental na representação de reações químicas, garantido que a expressão obedeça à lei da conservação das massas e à lei das proporções definidas. Uma expressão balanceada deve apresentar igual quantidade de átomos de cada elemento em ambos os lados da reação. Para alcançar esse equilíbrio, utilizam-se coeficiente estequiométricos, que são números inteiros posicionados antes das fórmulas químicas, indicando a proporção mínima entre os elementos químicos envolvidos.

Existem diferentes métodos de balanceamento, cada um aplicável conforme a complexidade da reação. O método por tentativas, também chamado de método direto, é o mais simples e consiste em ajustar os coeficientes por inspeção visual, priorizando elementos que aparecem apenas um no reagente e um no produto. Um exemplo é a combustão do propano $\left(C_3H_{8(g)}\right)$. A expressão desbalanceada é:

$$C_3H_{8(g)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \ . \tag{102}$$

Para que a expressão esteja balanceada, deve-se realizar o seguinte procedimento:

1. Balanceamento do carbono (C):
    - No lado dos reagentes, há 3 átomos de C (C_3H_8);
    - No lado dos produtos, apenas 1 átomo de C (CO_2).

    Para igualar, adiciona-se o coeficiente 3 ao CO_2:

$$C_3H_{8(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \ . \tag{103}$$

2. Balanceamento do hidrogênio (H):
    - Reagentes: 8 átomos de H (C_3H_8);
    - Produtos: 2 átomos de H (H_2O).

Para equilibrar, multiplica-se a molécula de água por 4:

$$C_3H_{8(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)} \ . \tag{104}$$

3. Balanceamento do oxigênio (O):
    - Produtos: As moléculas, $3CO_2$ e $4H_2O$, possuem 6 e 4 átomos de O, respectivamente. Totalizando 10 átomos de O.
    - Reagentes: A molécula O_2 possui 2 átomos de oxigênio. Portanto, para se obterem 10 moléculas de O_2 do lado esquerdo da expressão química, deve-se multiplicar O_2 por 5.

$$\boxed{C_3H_{8(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)} \ .} \tag{105}$$

A reação de combustão do metano envolve compostos moleculares simples, portanto, o seu balanceamento não requer o uso de sistemas algébricos ou balanceamento de cargas elétricas, procedimentos típicos de reações redox. O método das tentativas também é utilizado em reações de síntese e decomposição, em que a estequiometria é direta.

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

4.1 INTRODUÇÃO

A construção do caderno didático pedagógico do aluno, o planejamento e a execução das aulas baseiam-se nas teorias de aprendizagem de Lev Vygotsky e David Ausubel. A abordagem sociointeracionista de Vygotsky e a aprendizagem significativa de Ausubel convergem na compreensão de que o conhecimento é construído por meio da interação social e da vinculação de novos conceitos a estruturas cognitivas pré-existentes, respectivamente. Carvalho e Sasseron (2012) afirmam que:

> "[...] o ensino deve oferecer condições para que os alunos participem de processos de investigação em que o desenvolvimento de raciocínios é exercitado, proporcionando o envolvimento crítico com a análise de situações de problemas e a resolução destes por meio do uso de hipóteses construídas e testadas pela delimitação de condições de validade para um fenômeno e pela exploração das variáveis relevantes no contexto investigado."

Como destacado na citação acima, a investigação científica no contexto escolar exige análise crítica, formulação de hipóteses e validação de fenômenos, processos que só se efetivam quando mediados por ferramentas pedagógicas adequadas. Nesse sentido, o caderno didático alinhado a essa perspectiva consolida atividades que promovam a problematização, a experimentação e a reflexão coletiva, garantindo que o aluno não apenas assimile informações, mas as reelabore de forma autônoma e significativa. Tal material, portanto, torna-se um instrumento essencial para operacionalizar a ZDP (Zona de Desenvolvimento Proximal) e os subsunsores, potencializando a construção do conhecimento científico de modo ativo e contextualizado.

4.2 PRODUTO DIDÁTICO

O produto educacional desta dissertação é o caderno didático para o aluno, fundamentado nas teorias de aprendizagem propostas por Vygotsky e Ausubel. Disponível no APÊNDICE D, o material tem como objetivo auxiliar o desenvolvimento das aulas e está divido em seis capítulos:

- O primeiro capítulo descreve sobre os precursores no estudo do lançamento de projéteis, apresentando também uma breve história sobre foguetes espaciais;
- O segundo capítulo aborda as grandezas e os conceitos físicos relacionados ao lançamento de projéteis, considerando a força de arrasto desprezível;
- O terceiro capítulo descreve os conceitos fundamentais da Química envolvidos no lançamento de foguetes de garrafa PET, além de propor um método para sua construção;
- O quarto capítulo apresenta simulações computacionais do lançamento oblíquo, analisando tanto a ausência quanto a presença da força de arrasto;
- O quinto capítulo detalha o procedimento experimental para a realização dos lançamentos, bem como o preenchimento da ficha de registro com os dados coletados;
- O sexto capítulo propõe a análise, discussão e a interpretação dos resultados obtidos experimentalmente.

Cada capítulo apresenta particularidades metodológicas e conceituais que fundamentam sua aplicação, tais como:

- Textos introdutórios;
- Atividades em sala;
- Tarefas de casa;
- QR Codes para acessar materiais complementares;
- Boxes intitulados “SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!” e “VOCÊ SABIA.../ VOCÊ SABE...”;
- Etapas de como usar o simulador na PhET (Physics Education Technology).

O caderno didático do aluno foi elaborado com base na abordagem construtivista, uma metodologia de ensino que prioriza a aprendizagem ativa, na qual o conhecimento é construído e reconstruído pelo próprio aluno por meio de atividades teóricas e práticas que proporcionem a reflexão, a discussão e a interação com o meio. O ritmo de execução das atividades deve ser definido pelo professor, que oferece suporte aos alunos em caso de dificuldades e dúvidas.

No início da primeira aula, o aluno deve elaborar um mapa mental sobre foguetes (ATIVIDADE EM SALA 1.1 do caderno didático), com o objetivo de diagnosticar seus conhecimentos prévios sobre o tema. Como avaliação final, o aluno deverá elaborar um novo mapa mental sobre foguetes. Dessa vez, o mapa deve integrar os conceitos estudados nas aulas

anteriores com a prática do lançamento de foguetes de garrafa PET (ATIVIDADE EM SALA 6.2 do caderno didático). Essa abordagem permite avaliar tanto a assimilação dos conteúdos teóricos quanto a sua aplicação experimental. Posteriormente no capítulo 5 sobre Resultados e Discussões, a comparação entre os mapas mentais será realizada através da utilização do software IRAMUTEQ.

O software IRAMUTEQ (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires) é um programa de análise textual que utiliza métodos estatísticos e linguísticos para examinar dados qualitativos. Esse software permite a aplicação de técnicas de similitude (identificação de relações de ocorrência entre palavras em um conjunto, representando-as em redes para visualizar conexões temáticas), classificação hierárquica descendente (método estatístico de análise textual que agrupa segmentos de textos em categorias temáticas, baseando-se na frequência e ocorrência de palavras, formando uma representação gráfica em forma de árvore) e nuvens de palavras (representação visual que destaca termos mais frequentes em um texto, usando tamanho e cor para identificar relevância, auxiliando na identificação de conceitos centrais), facilitando a identificação de padrões e relações entre os conteúdos textuais. O objetivo é avaliar as mudanças na estrutura do conhecimento, identificando possíveis avanços na compreensão e consolidação de ideias. Essa análise permite verificar a eficácia da intervenção pedagógica e a aplicação do caderno didático, fornecendo subsídios para reflexões sobre estratégias de ensino mais adequadas.

4.3 APLICAÇÃO DO PRODUTO

As aulas de aplicação do caderno didático ocorreram nos dias 18/10/2024, 25/10/2024, 01/11/2024, 08/11/2024, 15/11/2024 e 22/11/2024. Elas foram realizadas no período da tarde, com duração de 50 a 55 minutos cada.

4.3.1 PRIMEIRA AULA (18/10/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 1 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO

Na primeira aula, que ocorreu no dia 18 de outubro de 2024, os alunos da segunda série do Curso de Formação de Docentes deram início à aplicação do caderno didático. As aulas ocorreram nas dependências do Colégio Sagrada Família – Unidade Centro e Auxiliadora. Cada aluno(a) recebeu uma fotocópia do caderno didático para utilizar durante as aulas.

Após uma breve apresentação de como seriam conduzidas as aulas, a fim de verificar os conhecimentos prévios dos alunos, foi proposto que eles construíssem um mapa mental sobre foguetes, conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Aluna finalizando seu mapa mental.

Fonte: O autor

Os alunos não apresentaram dificuldades na elaboração dos mapas, pois já tiveram contato com essa ferramenta durante a sua formação escolar. Os mapas mentais elaborados pelos alunos(as) encontram-se disponíveis no APÊNDICE E. Como já foi comentado anteriormente, esses mapas serão analisados e discutidos no capítulo 5.

Em seguida, foram apresentados os principais precursores dos estudos balísticos e do lançamento dos projéteis, incluindo Aristóteles, Leonardo da Vinci, Niccolò Tartaglia, Galileu Galilei e Isaac Newton, destacando suas contribuições fundamentais para o desenvolvimento dessa área do conhecimento. Esses avanços teóricos permitiram, posteriormente, o desenvolvimento de tecnologias mais complexas, como os foguetes espaciais. Nesse contexto, abordou-se a história dos foguetes, desde sua criação pelos chineses no século XIII – inicialmente com fins militares – até as missões espaciais científicas do século XXI, contextualizando seus avanços tanto do ponto de vista tecnológico quanto social. Vale ressaltar que, paralelamente ao desenvolvimento técnico, foi comentado como a exploração espacial também foi influenciada pela cultura, como evidenciado na literatura e no cinema dos séculos XIX e XX. Além disso, com o auxílio do caderno didático, discutiu-se o papel da Agência Espacial Brasileira (AEB), os programas espaciais nacionais desenvolvidos ao longo dos anos e as bases de lançamento de foguetes no Brasil, enfatizando a importância dessas iniciativas para o desenvolvimento da pesquisa aeroespacial a nível internacional.

Dando sequência à aula, os alunos foram estimulados a comentar sobre o que é o método científico e se é importante ter conhecimento sobre ele. Após o diálogo, eles tiveram que elaborar uma breve apresentação sobre o método científico (o que é e para que serve) e as suas etapas, tais como: observação, hipóteses, experimentação e verificação independente. A turma foi separada em pequenas equipes, 3 a 4 alunos. O primeiro grupo a se apresentar (Figura 23)

resumiu sobre as etapas do método científico, destacando a importância de questionar o comportamento e as caraterísticas do objeto de estudo.

Figura 23 – Equipe comentando sobre as etapas do método científico.

Fonte: O autor

Na Figura 24, a segunda equipe explicou sobre a etapa da experimentação, enfatizando que o objeto ou fenômeno investigado deve ser analisado sob diferentes condições. Além disso, o grupo ressaltou a necessidade de formular hipóteses claras e estabelecer critérios objetivos para testá-las durante a fase experimental.

Figura 24 – Equipe comentando sobre a etapa da experimentação.

Fonte: O autor

A terceira equipe, responsável por analisar os processos de verificação independente, optou por não utilizar recursos visuais (slides), realizando sua apresentação de forma verbal. Em sua exposição, destacou a importância da replicação de estudos, enfatizando que a validação de resultados por múltiplos grupos de pesquisa é fundamental para confirmar a veracidade dos dados obtidos sob condições específicas. Além disso, abordou como esse processo de verificação contribui para a formulação de previsões mais precisas acerca de comportamentos e fenômenos científicos, reforçando a metodologia empregada e a confiabilidade das conclusões.

A dinâmica de trabalho em equipe, com diálogos colaborativos, alinha-se aos princípios do sociointeracionismo de Vygostsky. A divisão em grupos e a elaboração coletivas das

apresentações exemplificam a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), na qual os alunos avançam em sua compreensão por meio da colaboração e de suporte mútuo. Por outro, o uso de mapas mentais, para identificar conhecimentos prévios, evidencia a aplicação da teoria de aprendizagem proposta por Ausubel.

4.3.2 SEGUNDA AULA (25/10/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 2 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO

No segundo dia de aula, realizado em 25 de outubro de 2024, foi proposta a construção de um mapa mental sobre vetores, com o objetivo de verificar os conhecimentos prévios dos alunos (Figura 25).

Figura 25 – Alunas elaborando seus mapas mentais sobre vetores.

Fonte: O autor

À medida que os alunos finalizavam seus mapas, foi solicitado que cada um apresentasse seu trabalho aos demais colegas. O APÊNDICE F mostra os mapas elaborados pelos estudantes durante a aula. É possível perceber, em alguns mapas, a identificação de força e velocidade como vetores, o que está correto, mas também, incorretamente, alguns mapas indicam trabalho como uma grandeza vetorial. Também pode-se observar que praticamente todos os mapas indicam que vetores têm direção e sentido, e vários mapas destacaram que vetores podem ser utilizados em problemas relacionados com construção civil.

Após a discussão sobre os mapas mentais, foi realizada uma revisão sobre alguns conceitos básicos de geometria e trigonometria, tais como: triângulo retângulo; definições de seno, cosseno e tangente; e teorema de Pitágoras. Em seguida, propôs-se a resolução de uma

atividade em sala de aula presente no caderno didático, que aborda a determinação da inclinação de ruas com base nos conceitos de geometria e trigonometria revisados anteriormente. Durante a aula, incentivaram-se ações como: registrar ideias no papel, utilizar corretamente a régua e a calculadora, consultar o caderno didático e pesquisar em sites de divulgação científica relacionados ao tema. A Figura 26 ilustra um grupo de alunas verificando o resultado obtido por meio da calculadora disponível em um smartphone, comparando-o com o valor encontrado na literatura especializada sobre o assunto.

Figura 26 -Alunas discutindo o resultado obtido na atividade.

Fonte: O autor

Nessa atividade, é possível observar evidências da teoria de Vygotsky, especialmente no que se refere à mediação e à interação social como facilitadores da aprendizagem. A troca de conhecimentos entre alunas e o uso de ferramentas tecnológicas (como a calculadora) demonstram a internalização de conceitos por meio de instrumentos culturais, reforçando a ideia de que o desenvolvimento cognitivo ocorre em um contexto social.

Na sequência, introduziu-se uma atividade aplicada à Física aplicada no Leg Press. A atividade envolveu a representação vetorial das forças (força aplicada, normal e peso) atuantes sobre uma carga no equipamento e o cálculo de seus módulos, integrando a aplicação dos conceitos teóricos prévios a um contexto cotidiano.

Posteriormente, foi realizada a leitura do caderno didático que trata sobre a obtenção da equação da trajetória quando se despreza a resistência do ar. Em seguida, foram obtidas as trajetórias parabólicas do lançamento oblíquo de projéteis por meio do software Excel (Figura

27). A utilização desse software para simular trajetórias de projéteis – considerando que as dimensões do projétil são desprezíveis em comparação com as alturas e alcances analisados – permitiu explorar diferentes condições iniciais: variação do ângulo de lançamento, alteração da velocidade inicial e da aceleração gravitacional. Essa abordagem foi inédita para os alunos, despertando interesse não apenas na simulação em si, mas também na aplicação da equação da trajetória (em sistemas onde a resistência do ar é desprezada). Paralelamente, durante a atividade, introduziu-se o conceito de centro de massa, destacando sua relevância na determinação das trajetórias.

Figura 27 – Aluno(as) variando os parâmetros para obtenção de novas trajetórias parabólicas.

Fonte: O autor

Ao final da aula, os alunos foram orientados a pesquisar modelos de foguetes construídos com garrafas PET e outros materiais recicláveis, com o objetivo de confeccionar as demais estruturas do protótipo, como as aletas. Na aula subsequente, concluiu-se a construção do foguete e foram realizados os testes de estabilidade de voo.

4.3.3 TERCEIRA AULA (01/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 3 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO

No dia primeiro de novembro de 2024, ocorreu a terceira aula referente ao capítulo 3. Essa aula abordou os combustíveis utilizados para impulsionar foguetes de garrafa PET, com ênfase nas reações químicas envolvidas. É importante destacar que a primeira e a segunda aula seguiram o planejamento estabelecido nos capítulos 1 e 2 do caderno didático. Entretanto, a partir da terceira aula, devido a restrições de tempo e prazos, foram necessárias adaptações metodológicas para viabilizar os testes experimentais dos foguetes construídos pelos alunos. Desse modo, os tópicos pressão e centro de pressão (CP); densidade, temperatura e a sua relação; e sistema de massa variável, originalmente previstos para a aula 3, foram discutidos na aula 5. Por essa razão, a terceira aula focou nos conceitos importantes para entender reação

química e seu balanceamento, e, em seguida, mostrou todas as etapas necessárias para a construção dos foguetes.

Um dos temas abordados na aula foi a mistura entre os compostos bicarbonato de sódio e vinagre. Essa reação química produz acetato de sódio (CH_3COONa), água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2). A partir desta reação, foi comentado que essa reação ocorrerá no interior do foguete, ou seja, dentro da garrafa PET. O CO_2 produzido no interior da garrafa será pressurizado e será liberado, deste modo, a garrafa é propulsionada em sentido oposto ao do gás expelido, demonstrando o princípio da conservação da quantidade de movimento e a terceira lei de Newton (isto é, a lei da ação e reação). Durante a exposição teórica, discutiu-se sobre a importância de averiguar e realizar o balanceamento das equações químicas. Em seguida, as alunas e o aluno realizaram uma atividade de balanceamento, presente no caderno didático. A reação, que inicialmente desbalanceada, tratava da síntese da amônia (NH_3). Após o balanceamento, os alunos encontraram a resposta desejada.

Após o estudo sobre reação química e seu balanceamento, iniciaram-se as atividades de construção dos foguetes. Como citado na aula anterior, os alunos tiveram que pesquisar outros modelos de foguete, além daquele que é apresentado no caderno didático. Pode-se destacar que:

- Foi optado pela utilização de garrafas PET retornáveis como corpo do foguete (local onde ocorre a reação química, pressurização do gás e fixação das aletas e da coifa). Garrafas PET retornáveis suportam uma pressão gasosa interna maior que as garrafas comuns, portanto, por questões de segurança, optou-se pela sua utilização.
- As aletas foram confeccionadas a partir de potes de sorvete em formato trapezoidal, conforme ilustrado no caderno didático.
- A coifa (ponta do foguete) foi feita a partir de garrafa PET retornável. A massa adesiva Durepoxi foi utilizada para vedar, deixando a ponta da coifa mais resistente e com maior concentração de massa em relação às demais partes do foguete.
- Após a secagem da massa adesiva Durepoxi, realizou-se o lixamento (foi utilizado uma lixa d'água) da superfície da ponta da coifa para reduzir as irregularidades superficiais e conferir um formato aerodinâmico.
- Foi utilizada fita isolante para fixar as aletas e a coifa no corpo do foguete**.**

Na Figura 28, observam-se as alunas ajustando e fixando as aletas na garrafa PET para garantir a estabilização do voo.

Figura 28 – Alunas realizando ajustes e fixação das aletas na garrafa PET.

Fonte: O autor

Posteriormente, deve-se testar a estabilidade do foguete. Primeiramente, localiza-se o CM (Centro de Massa) do foguete. Foi recomendado a leitura do tópico “2.5 USANDO O CENTRO DE MASSA NA ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE UM OBJETO” do caderno didático. Como mencionado anteriormente, a coifa é a parte do foguete que apresenta a maior concentração de massa; portanto, o CM está posicionado próximo a ela. Em seguida, amarra-se um fio em torno do foguete para suspendê-lo e equilibrá-lo horizontalmente (de modo que o foguete fique paralelo ao solo).

Na sequência, o foguete é posto em movimento de rotação, conforme ilustrado na Figura 29. A estabilidade do voo é confirmada quando o plano de movimento do foguete permanece constante e a coifa mantém o sentido de rotação (fica à frente e as aletas atrás). Esse teste visa a verificar se o foguete manterá uma trajetória parabólica estável durante os lançamentos experimentais

Figura 29 – Aluno testando a estabilidade de voo do foguete.

Fonte: O autor

Essas atividades práticas – como a construção dos foguetes e a análise da estabilidade de voo – permitiram aos estudantes aplicarem conceitos teóricos em um contexto experimental.

A articulação entre teoria e prática, aliada ao estímulo à colaboração, reforçou a compreensão dos conceitos químicos e físicos envolvidos, conforme o referencial teórico adotado nesta dissertação. Ao colocarem a mão na massa, os alunos vivenciaram um processo de aprendizagem significativa, em que a interação social e a mediação, conforme proposto por Vygotsky, facilitaram a internalização dos conhecimentos.

4.3.4 QUARTA AULA (08/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 4 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO

A quarta aula, referente ao capítulo 4 do caderno didático, ocorreu no dia 08 de novembro de 2024. Iniciou-se com a leitura e discussão sobre velocidade terminal, abordando-se as condições em que um corpo em queda atinge essa velocidade em meios onde a força de arrasto (resistência ao movimento de descida) não é desprezível. Explicitou-se a expressão matemática da velocidade terminal, destacando-se os casos em que a força de arrasto é proporcional à velocidade (v) e ao quadrado da velocidade (v^2).

Em seguida, discutiu-se a importância da força de arrasto no voo de aviões e pássaros. Para ilustrar, foram representados na lousa do Laboratório de Física, local onde ocorreu a primeira etapa da aula, os diagramas de forças atuantes em um aeroplano e em um pássaro, enfatizando que ambos se deslocam horizontalmente com velocidade constante devido ao equilíbrio entre as forças que atuam em ambos os corpos.

Posteriormente, foi apresentado um código em Python (disponível no APÊNDICE B) para simular trajetórias parabólicas em lançamentos oblíquos, considerando-se dois cenários: sem e com resistência do ar. Devido a restrições de tempo, não foram detalhadas as etapas de desenvolvimento do código, apenas os resultados gráficos foram exibidos (vide Figura 2 no subtópico 3.1.5). Em ambos os casos apresentados anteriormente, para fins de comparação das trajetórias obtidas, a velocidade inicial, o ângulo de lançamento e a posição inicial de lançamento foram simulados com os mesmos valores.

A etapa final ocorreu no Laboratório de Informática do Colégio, onde os alunos utilizaram os computadores para acessar a plataforma PhET Interactive Simulations e explorar conceitos físicos por meio de simulações. O foco foi a simulação ‘Movimento de Projéteis’ e a opção ‘Vetores’, como apresentado no caderno didático. Após a apresentação de como utilizar o simulador, foi sugerido aos alunos que resolvessem as questões da atividade ‘SIMULANDO SEM RESISTÊNCIA DO AR’. Durante a resolução das questões, algumas alunas apresentaram

dificuldades em utilizar corretamente o simulador para realizar os seus registros, portanto, foi necessária a intervenção do professor para esclarecer dúvidas sobre o uso do software. Tal situação chama a atenção para o termo “colega mais capaz” cunhado por Vygotsky. O conceito de “colega mais capaz”, refere-se a um indivíduo (aluno ou professor) que domina habilidades ou conhecimentos ligeiramente acima do aprendiz, facilitando a mediação dentro da ZDP. Essa interação promove avanços que o aluno não alcançaria sozinho, pois o colega ou professor oferece suporte, estimulando a construção colaborativa do saber.

No contexto descrito anteriormente, a intervenção do professor para esclarecer dúvidas sobre a utilização do simulador exemplifica essa dinâmica, reforçando a importância da socialização no processo de aprendizagem. Além disso, elas foram incentivadas a discutir sobre os resultados obtidos, promovendo uma reflexão colaborativa entre elas e o professor.

4.3.5 QUINTA AULA (15/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 5 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO

No dia 15 de novembro de 2024, ocorreu a aplicação do Capítulo 5 do caderno didático do aluno. Inicialmente, foi realizada a leitura coletiva das etapas do procedimento experimental. O conhecimento do procedimento é fundamental, pois ele orienta a execução dos lançamentos dos foguetes de garrafa PET.

Como já citado anteriormente, a propulsão dos foguetes ocorre por meio da reação química entre bicarbonato de sódio e vinagre. Dependendo das proporções dos reagentes, é produzida, no interior da garrafa, uma grande quantidade de gás carbônico. Quanto maior for a quantidade de gás produzida, maior será a pressão interna. Ressalta-se a importância da leitura sobre os conceitos de Pressão e Centro de Pressão (CP), descritos no Capítulo 3 do caderno didático. Por questões de segurança, utilizou-se um manômetro analógico para medir a pressão interna da garrafa PET, o qual estava acoplado à base de lançamento do foguete.

Os materiais utilizados para a construção da base são: chapas de madeira, canos de PVC, manômetro com glicerina, registro de gaveta, gatilho (cano de PVC 50 mm), cordas e ganchos para fixação da base no chão. Os alunos não precisaram construir a base de lançamento do foguete, pois ela já tinha sido construída pelo professor e estava pronta para uso.

Para realizar os testes, foi necessário marcar uma aula no sábado pela manhã, a qual ocorreu no dia 16/11/2024, no Colégio Sagrada Família – Unidade Auxiliadora. A unidade possui um campo aberto com aproximadamente 200 metros de extensão. Conforme descrito no

caderno didático, os testes devem ser realizados em campo aberto e afastado de residências e veículos, pois um eventual impacto do foguete contra uma estrutura pode resultar em danos materiais. Além disso, verificou-se no dia do lançamento a incidência de ventos, que podem alterar a trajetória de voo do foguete.

Ao estabelecer o local dos lançamentos, as alunas executaram as seguintes tarefas:

- Colocaram um pote sobre a balança digital para medir a massa de bicarbonato. Destacou-se a necessidade de realizar a tara da balança antes de se adicionar o bicarbonato de sódio.
- Recomendou-se a utilização de 100 g de bicarbonato de sódio.
- Para evitar perdas, utilizou-se um funil de cozinha para depositar o bicarbonato no interior da garrafa.
- Para a reação química, adicionou-se 1 L de vinagre culinário no interior da garrafa. Para evitar o contato direto entre os reagentes, utilizou-se um preservativo como recipiente para o vinagre. A justificativa para o uso de um preservativo, e não de uma bexiga normal, está apresentada de forma detalhada no caderno didático.
- O preservativo foi inserido na garrafa, e o vinagre foi despejado em seu interior. À medida que o líquido era adicionado, observou-se que o peso do líquido esticava o preservativo, aumentando sua capacidade. É crucial deixar espaço para que o ar seja expulso à medida que o preservativo é preenchido.
- Após o preenchimento, o preservativo foi amarrado e solto no interior da garrafa. Isso impede a liberação prematura do bicarbonato e garante que a reação ocorra no momento adequado.
- Em seguida, as alunas posicionaram o foguete na base de lançamento. No interior da base, há um espeto metálico responsável por romper o preservativo e iniciar a reação. Para isso, o foguete foi travado na base por meio de um cano de 50 mm, e o conjunto base-foguete foi inclinado para baixo, permitindo que o espeto rompesse o preservativo. Ao ocorrer o rompimento, a reação química tornou-se visível no interior da garrafa, e a base foi fixada no solo.
- Acompanharam-se, por alguns segundos, as medidas do manômetro. Recomendou-se aguardar a estabilização da pressão antes de acionar o gatilho e realizar o lançamento.

Em todos os momentos, enfatizou-se a necessidade de cuidado durante os lançamentos e a importância de esclarecer dúvidas antes de qualquer ação. Após alguns lançamentos,

solicitou-se que os alunos medissem os alcances, utilizando-se o aplicativo Google Maps, e registrassem os dados.

4.3.6 SEXTA AULA (22/11/2024) – APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 6 DO CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO

Na aula final referente à aplicação do caderno didático, realizada na sexta-feira, dia 22/11/2024, como descrito anteriormente, os(as) alunos(as) tiveram que realizar registros durante a execução dos lançamentos, com os demais detalhes presentes na ATIVIDADE de CAMPO 5.1 do capítulo 5 do caderno.

Durante o último encontro, os conceitos de densidade, temperatura, estabilidade e sistemas de massa variável, que constam do capítulo 3 do caderno didático, mas não foram discutidos na aula 3 por falta de tempo, tiveram sua discussão detalhado por parte dos alunos, com mediação do professor. Em seguida, propôs-se que as alunas resolvessem a ATIVIDADE EM SALA 6.1 INVESTIGANDO OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS. Após a finalização dessa atividade, elas foram incentivadas a apresentar os resultados obtidos.

Para concluir a aplicação do caderno didático, solicitou-se que os alunos construíssem um novo mapa mental (ATIVIDADE EM SALA 6.2) sobre foguetes, o mesmo tema abordado na ATIVIDADE EM SALA 1.1. Os novos mapas mentais estão disponíveis no APÊNDICE G.

Os resultados da comparação entre os mapas, utilizando-se o software IRAMUTEQ, serão descritos no capítulo seguinte.

Na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a comparação de mapas mentais constitui uma ferramenta valiosa para identificar a evolução da estrutura cognitiva do aluno. Ao analisar as diferenças entre um mapa inicial e outro posterior, é possível verificar a assimilação de conceitos, a organização hierárquica do conhecimento e a formação de conexões significativas, elementos essenciais para a aprendizagem efetiva. Essa abordagem fornece evidências concretas de que o aluno não apenas memorizou informações, mas integrou novos conhecimentos aos esquemas mentais prévios, caracterizando uma aprendizagem sustentada e duradoura.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será realizada a comparação entre os mapas mentais, sobre foguetes, construídos pelos alunos antes e depois da aplicação do caderno didático.

Inicialmente, é apresentado a nuvem de palavras (Figura 30) gerada pelo software IRAMUTEQ, após a análise das palavras que apareceram nos mapas no início da aplicação do caderno, na primeira aula, os quais estão no Apêndice E.

Figuro 30 – Nuvem de palavras gerada pelo software IRAMUTEQ referente aos mapas mentais iniciais.

Fonte: O autor

As palavras com maior destaque, ou seja, em tamanho ampliado (ESPACIAL, FOGUETE, LUA, NASA) estão mais presentes nos mapas mentais. Essas palavras sugerem que os alunos associam a palavra FOGUETE à exploração espacial, e, mais especificamente, à LUA. A palavra NASA, provavelmente, mostra a influência da cultura norte-americana no conhecimento dos alunos sobre a exploração espacial. Nota-se que não há nenhuma referência às ações dos europeus e dos asiáticos (chineses, japoneses e indianos), os quais tiveram e têm uma importância grande na utilização de foguetes na exploração do espaço. Palavras menores como explosão, combustão, gás, fogo e decolagem parecem indicar que os alunos têm noção de que é necessário que ocorra a explosão de gases para que o foguete decole, isto é, seja propulsionado em direção ao espaço. Por outro lado, palavras menores como corrida, transporte, viagem e agência podem estar sugerindo que os foguetes poderão ser utilizados para transporte de pessoas no espaço, em viagens coordenadas por agências. Uma viagem desse tipo foi realizada pela Blue Origin neste ano de 2025. As palavras corrida e espacial aparecem em

alguns mapas associadas à corrida espacial entre Estados Unidos e União Soviética, pois os alunos já estudaram esse conteúdo nas aulas de História e de Geografia. Para finalizar, palavras como foguete, astronauta, universo, satélite, asteroides, planeta, lua, atmosfera, astronomia podem estar indicando que os alunos percebem que os foguetes podem transportar astronautas que procuram fazer investigações astronômicas sobre o universo de maneira geral e, mais especificamente, sobre os planetas, a lua e os asteroides. Além disso, a palavra satélite pode estar associada à ideia de que o foguete pode transportar um satélite artificial que ficará orbitando em torno da Terra ou será utilizado para investigar outros planetas como, por exemplo, Marte.

Ao final da aplicação do caderno didático, conforme descrito no capítulo 6, os alunos construíram novos mapas mentais sobre FOGUETES (APÊNDICE G). Para se obter a nuvem de palavras, gerada pelo software IRAMUTEQ e apresentada na Figura 31, foi necessário construir um texto em formato .txt com as palavras presentes em todos os mapas finais para que o software possa fazer a análise.

Figura 31 – Nuvem de palavras gerada pelo software IRAMUTEQ referente aos mapas mentais finais.

Fonte: O autor

Pela Figura 31 acima, verifica-se que muitas novas palavras aparecem nos novos mapas mentais. As que apareceram com mais destaque foram: FOGUETE, NEWTON, ESPACIAL, PRESSÃO e RETILÍNEO. Observa-se que os termos aristóteles, isaac, newton, galileu, galilei, da vinci e tartaglia podem indicar que os alunos assimilaram a importância desses precursores no estudo do movimento parabólico e na compreensão do movimento de um foguete. Deve-se destacar que os estudos iniciais sobre o movimento parabólico foram fundamentais para o

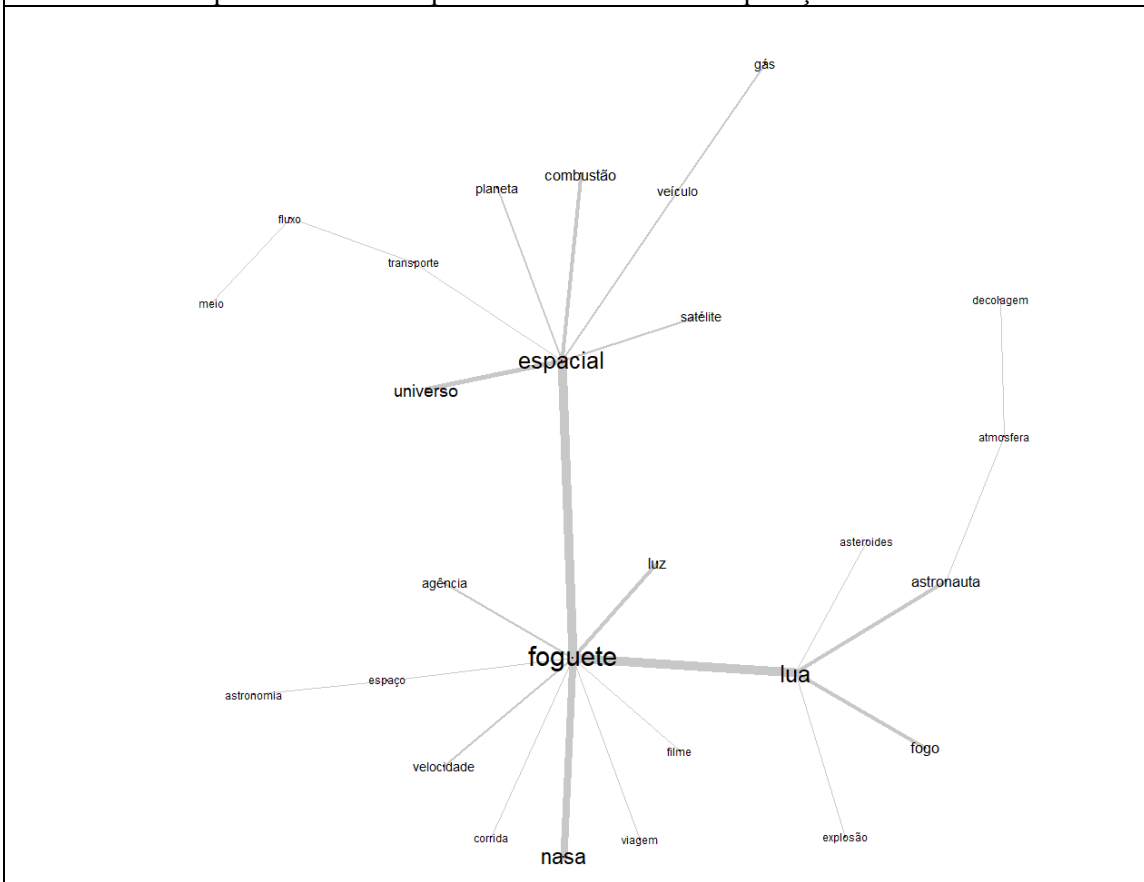
desenvolvimento de foguetes ao longo da história da civilização. Além disso, as palavras exploração e científico sugerem possíveis aplicações dos foguetes, seja em investigações relacionadas ao planeta Terra ou a outras regiões do Universo. Verifica-se que as palavras militar e guerra também estavam presentes nos mapas mentais e podem indicar a utilização de foguetes como recurso para demonstrar a soberania de uma região sobre a outra. Palavras como nasa, estágio, satélite, jato, apollo podem estar indicando relações com: lançamentos históricos (Apollo 11 foi a missão responsável por levar humanos a Lua), missões espaciais conduzidas pela agência espacial norte-americana e o transporte segmentado que leva o satélite ao espaço. Além do mais, contata-se a presença das palavras robert e goddard. Essas palavras sinalizam uma relação histórica, estabelecida pelos alunos e apresentada em seus mapas mentais, entre Robert Goddard e foguetes, pois ele é considerado o fundador dos foguetes modernos. Nota-se que as palavras ciência, método, hipótese, verificação, experimento, conclusão e observação podem sugerir que os alunos estabeleceram vínculos em suas estruturas cognitivas acerca das etapas do método científico e de como esse método influencia nas etapas de desenvolvimento, construção e lançamento de foguetes. As palavras lançamento, ar, resistência, gravidade, trajetória, parábola, parabólico, retilíneo, movimento, velocidade, uniforme, variado, descender, subir, direção, horizontal, vertical apontam que os alunos, provavelmente, relacionaram esses conceitos e grandezas ao movimento que o foguete executa com ou sem resistência do ar. Outras palavras como força, peso, massa, centro podem indicar que essas grandezas físicas também devem ser consideradas ao se analisar o movimento de foguete. Palavras como pet e pressão mostram que, possivelmente, os alunos tenham estabelecido relações entre o material utilizado na confecção do foguete e a grandeza que foi medida em cada lançamento. Em cada lançamento, foi exigido que os alunos verificassem a pressão interna do foguete antes de que ele fosse realizado. Por fim, deve-se notar que os mapas mentais dos alunos não fizeram nenhuma referência a conceitos químicos como reação química e balanceamento de equações químicas, os quais são importantes no lançamento de foguetes.

Ao se comparar as Figuras 30 e 31, nota-se aumento significativo do vocabulário científico apresentado pelos alunos após a aplicação do caderno didático, isso evidencia que, provavelmente, os alunos armazenaram novos conceitos científicos em sua estrutura cognitiva. Porém, nem todos os conceitos discutidos durante as aulas e descritos detalhadamente no caderno didático foram mencionados pelos alunos em seus mapas. Como já citado anteriormente, questões de prazos e de tempo influenciaram nas aulas ministradas. Aulas curtas e com excesso de informação podem prejudicar o processo de aprendizagem dos alunos, pois a

falta de tempo para assimilação e a sobrecarga de conteúdos dificultam a compreensão e a retenção do conhecimento.

A Figura 32 apresenta o gráfico de similitude referente ao mapa mental elaborado pelos alunos durante a fase inicial da aplicação do caderno didático. Esse gráfico permite visualizar as relações semânticas entre os conceitos expressos pelos alunos, destacando padrões de associação e frequência lexical. Para a construção da nuvem de palavras (Figura 30), que complementa a análise quantitativa, foi desenvolvido um corpus textual que contemplasse todas as expressões registradas pelos participantes em seus mapas mentais. Esse corpus, processado pelo software IRAMUTEQ, viabilizou a identificação de termos recorrentes.

Figura 32 – Gráfico de similitude gerado pelo software IRAMUTEQ a partir das palavras presentes nos mapas mentais feitos pelos alunos no início da aplicação do caderno didático.



Fonte: O autor

No primeiro gráfico de similitude, verifica-se uma ligação intensa entre as palavras FOGUETE, ESPACIAL, LUA e NASA, sendo que as relações mais intensas são realizadas através de linhas mais espessas, enquanto as menos intensas são indicadas por linhas menos espessas. Observa-se, ainda, o surgimento de ramificações para cada uma dessas palavras:

- A palavra FOGUETE está vinculada às palavras agência, espaço, astronomia, velocidade, corrida, viagem e filme por meio de linhas finas, e à palavra luz por uma linha mais grossa.
- A palavra LUA conecta-se às palavras explosão, asteroides, atmosfera e decolagem por linhas finas, e às palavras fogo e astronauta por linhas mais grossas.

Tendo-se em vista as vinculações destacadas acima, pode-se concluir que os alunos associam o foguete a descobertas na astronomia, à corrida espacial e a viagens espaciais presentes em filmes assistidos por eles. Por outro lado, nota-se que os alunos associam os astronautas a decolagem de foguetes e à exploração da Lua.

O segundo gráfico de similitude, ilustrado na Figura 33, foi elaborado com base nos mapas mentais construídos pelos alunos durante a etapa final de aplicação do caderno didático.

Figura 33 - Gráfico de similitude gerado pelo software IRAMUTEQ a partir das palavras presentes nos mapas mentais feitos pelos alunos no final da aplicação do caderno didático.

Fonte: O autor

O gráfico acima demonstra um aumento significativo na quantidade de conexões estabelecidas pelos alunos. Observa-se que os vocábulos que apresentam uma conexão mais

forte com a palavra FOGUETE são: ESPACIAL, TRAJETÓRIA, NEWTON, GALILEU, FORÇA, GRAVIDADE e PARABÓLICO. Associadas a essas palavras, emergem outras palavras com menor intensidade, como descrito abaixo:

- A palavra ESPACIAL conecta-se às palavras militar e ar por linhas grossas, e às palavras satélite, resistência, exploração e lei por linhas finas. A palavra lei também está ligada às palavras: jato, estágio, uso e contagem. As conexões destacadas sugerem que os alunos associam a conquista espacial à possibilidade de desenvolvimento de armas que seriam usadas militarmente, a partir do espaço, para atingir alvos na Terra. Por outro lado, os foguetes podem lançar satélites que vão contribuir para a exploração do espaço, e o lançamento destes foguetes é feito em estágios que são contados a partir de uma estação na Terra.
- A palavra TRAJETÓRIA está vinculada diretamente a dois conjuntos de ligações, representados por linhas finas. As ligações conectam as seguintes palavras: peso, robert e goddard; direção, uniforme, retilíneo (ramifica-se diretamente em variado, horizontal e descendente). Além do mais, a palavra retilíneo apresenta conexão com as seguintes palavras, na seguinte ordem: descender, velocidade, menor, subir, maior. As conexões destacadas parecem evidenciar que os alunos perceberam a importância de Robert Goddard no estude da trajetória de foguetes e que essa trajetória resulta da combinação de um movimento retilíneo uniforme na direção horizontal e uniformemente variado na direção vertical.
- A palavra NEWTON conecta-se à palavra aristóteles por meio de uma linha grossa e às palavras científico, nasa e hidrostático por linhas finas. Observa-se a ligação direta entre a palavra hidrostático e pressão. A palavra pressão também está ligada diretamente a outras palavras, tais como: hidrodinâmica e pet (vinculada à palavra garrafa). As conexões mostradas indicam que os alunos perceberam que as ideias de Aristóteles tiveram grande ligação com as descobertas e os trabalhos de Newton. Por outro lado, as conexões também sugerem que os alunos também perceberam que os lançamentos de foguetes feitos pela NASA são devedores das descobertas científicas de Newton e que estas descobertas têm relação com o movimento de projéteis (como a garrafa PET) no ar estudado na hidrodinâmica e com a pressão hidrostática sobre objetos (como a garrafa PET) em repouso, analisada pela hidrostática.

Nota-se que a palavra FOGUETE gerou várias outras ligações, direta ou indiretamente; essas ramificações estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Apresentação das conexões por linhas mais finas à palavra FOGUETE.

Palavra	Conexões
FOGUETE	PARABÓLICO – movimento – tartaglia – massa – centro
	parábola – lançamento
	conclusão – tecnológico – desenvolvimento – ciência – melhoria – verificação – experimento – hipótese – observação – método
	guerra

Fonte: O autor

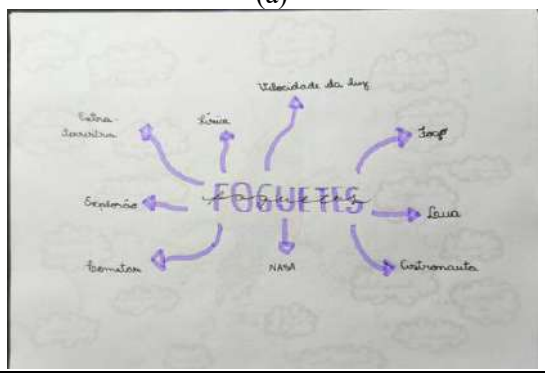
Pela Tabela 5, pode-se notar que os alunos associaram a trajetória parabólica do foguete com os estudos precursores de Tartaglia e eles perceberam que o movimento parabólico do foguete tem relação com o seu centro de massa. Além disso, verifica-se que vários termos elencados na Tabela 5 correspondem a algumas etapas propostas pelo método científico, como observação, hipótese, verificação e experimento. É provável que os alunos tenham percebido que o uso do método científico contribuiu para a melhoria da ciência e para o desenvolvimento tecnológico.

Ao comparar os dados apresentados nas Figuras 32 e 33, observou-se uma mudança significativa nas palavras utilizadas e na frequência com que surgiram nos mapas mentais após as aulas. É fato que, ao comparar os gráficos de similitude, percebe-se a riqueza no número de palavras apresentadas na Figura 33, as novas conexões estabelecidas entre elas e as diversas interpretações possíveis. No entanto, algumas palavras que estavam presentes na Figura 32 como Lua, luz, fogo, filme e asteroides não apareceram mais na Figura 33. Essas palavras foram gradualmente substituídas por outras, que foram devidamente abordadas e discutidas durante as intervenções em sala de aula. Tal resultado pode ter sido reflexo da leitura, da escrita, do diálogo e da interação presentes ao longo das aulas. Por outro lado, percebe-se que, tanto nas nuvens de palavras quanto nos diagramas de similitude, conceitos fundamentais de Química pertinentes às reações e balanceamentos químicos não apareceram, apesar de esses conceitos e conteúdos terem sido apresentados em sala de aula e comentados durante as práticas experimentais que envolveram o lançamento dos foguetes de garrafa PET retornáveis. Para que o foguete seja lançado de forma oblíqua é necessário produzir uma reação química no interior da garrafa. Os reagentes utilizados são os responsáveis por formar os produtos da reação, sendo interpretados como o combustível utilizado durante os lançamentos. Infelizmente, os alunos não perceberam a importância da Química no lançamento do foguete.

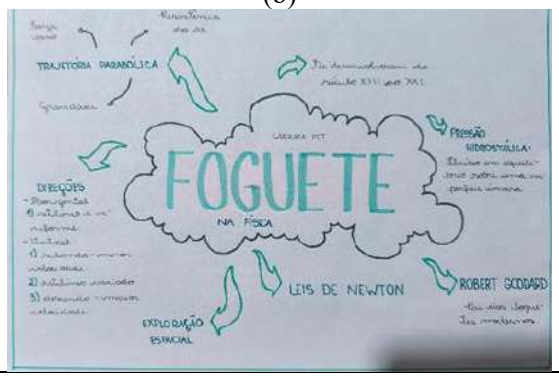
A seguir, será realizada para dois alunos, denominados de A e G, uma comparação entre os mapas mentais produzidos por eles antes e depois das aulas sobre foguetes. Na Figura 34 (a) está o mapa mental feito pelo aluno A antes da aplicação do caderno didático e na Figura 34 (b) o mapa mental feito pelo mesmo aluno após a aplicação do caderno didático.

Figura 34 – Comparação entre os mapas mentais produzidas pelo aluno A. (a) mapa mental feito pelo aluno A antes da aplicação do caderno didático. (b) mapa mental feito pelo aluno A depois da aplicação do caderno didático.

(a)



(b)



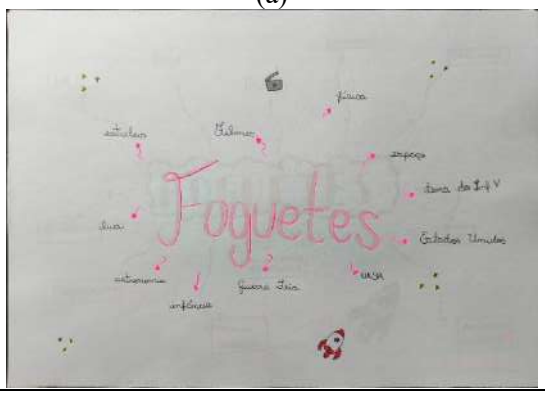
Fonte: Mapas mentais confeccionados pelo aluno A e fotografada pelo autor

Inicialmente, o aluno A associou a palavra FOGUETES com as palavras: fogo, Lua, astronauta, NASA, cometas, explosão, extraterrestre, física e velocidade da luz. Palavras como Lua, astronauta e NASA, provavelmente, foram utilizadas por causa de missões espaciais administradas pela agência espacial norte-americana ao longo dos anos, sendo ela, a NASA, a responsável por fazer com que astronautas chegassem à Lua. Explosão e fogo são elementos que, para o aluno, possivelmente, estão relacionados ao lançamento do foguete. Por outro lado, o aluno associava foguete à Física e ao estudo de cometas, e, ao mesmo tempo, à existência de extraterrestres. Posteriormente, após a aplicação do caderno didático pedagógico, percebe-se que o aluno abandonou todas as palavras utilizadas no mapa inicial. No novo mapa, o aluno associa a palavra foguete com conceitos e palavras discutidos durante as aulas, tais como: PRESSÃO HIDROSTÁTICA, ROBERT GODDARD, LEIS DE NEWTON, EXPLORAÇÃO ESPACIAL, DIREÇÕES e TRAJETÓRIA PARABÓLICA. Nota-se que o aluno fez breves comentários sobre o contexto histórico por trás dos foguetes, a definição de pressão quando um fluido está em repouso, o pai dos foguetes modernos, as características dos movimentos que, quando combinados, resultam no movimento parabólico, as grandezas e condições reais que estão presentes durante o lançamento do foguete. Nota-se que, no seu mapa final, o aluno provavelmente percebeu a relação entre foguetes utilizados por agências espaciais ou empresas privadas e o foguete construído por ele para lançamento durante as práticas experimentais.

A Figura 35 apresenta os mapas construídos pelo aluno G, tanto no primeiro quanto no último dia de aula, após a aplicação do produto educacional.

Figura 35 – Comparação entre os mapas mentais produzidas pelo aluno G. (a) e (b) mostram os mapas confeccionados pelo aluno G antes e depois da aplicação do caderno didático.

(a)



(b)

Fonte: Mapas mentais confeccionados pelo aluno G e fotografada pelo autor

No primeiro momento, sem ter ocorrido a intervenção do professor, o aluno relacionou a palavra FOGUETES com física, tema do Infantil V, Estados Unidos, NASA, Guerra Fria, infância, astronomia, lua, estrelas e filmes. Novamente, o documento inicial acima revela a provável relação entre FOGUETES e a NASA, sendo que a sua sede foi fundada nos Estados Unidos, na região Washington, Distrito de Colúmbia. O aluno da Formação de Docentes realizou estágio em uma turma do Infantil V, cujo tema era foguete, então, ele associou a palavra foguete do seu mapa mental inicial ao tema da sala de aula do Infantil V. Também relacionou a palavra central com filmes, pois, possivelmente, a sua memória pode ter trazido à tona que alguns filmes apresentam o foguete como meio de transporte para realizar viagens espaciais. Em (b) da Figura 35, nota-se o aumento significativo de palavras, ligações e descrições. O aluno G relacionou a palavra FOGUETES diretamente com exploração espacial, fogos de artifício, utilizados em conflitos antigamente, trajetórias arqueadas (parabólicas), direções, Iuri Gagarin, base de lançamento no Maranhão e Robert Hutchings Goddard. A cada uma dessas palavras, o aluno associou várias outras. A palavra exploração espacial está associada à astronáutica e a viagem espacial, provavelmente, porque na astronáutica são construídos foguetes que vão utilizados em viagens espaciais com o objetivo de explorar o espaço. Fogos de artifício e utilizados em conflitos antigamente estão ligados a tecnologia de armas para fins civis e militares; ou seja, o aluno percebeu que os conhecimentos necessários para lançar fogos de artifício podem ser aplicados no desenvolvimento de armas e na construção de foguetes utilizados na exploração espacial. Trajetórias arqueadas estão relacionadas com gravidade,

força peso e resistência do ar, o que evidencia que o aluno percebeu que a gravidade é responsável pelo peso do foguete e como influencia na sua trajetória, e, além disso, o aluno também notou que a resistência do ar também influencia na sua trajetória, como foi lhe ensinado durante as aulas. Direções estão relacionadas com movimento retilíneo uniforme na horizontal e movimento retilíneo variado na vertical, mostrando que o aluno aprendeu que a trajetória parabólica de um foguete é o resultado da combinação desses dois movimentos. Iuri Gagarin está ligado ao primeiro soviético a viajar para o espaço, mostrando que o aluno lembrou das discussões sobre a história da corrida espacial. Base de lançamento no Maranhão está ligada a linha do equador, vantagens, maior impulso, rotação da Terra e economia de combustível. Provavelmente, o aluno fez essas associações com a base do Maranhão, percebendo que lançamentos nessa base são vantajosos pois dão maior impulso ao foguete e economizam combustível, devido a leituras que ele fez sobre o assunto. Por fim, Robert Hutchings Goddard está ligado com pai dos foguetes modernos, mostrando parte do conhecimento adquirido pelo aluno sobre a história dos foguetes.

A análise dos resultados obtidos por meio da comparação entre os mapas, construídos pelos alunos, antes e depois da aplicação do caderno didático, demonstra mudanças que podem ter sido desencadeadas ao longo das aulas. Essas mudanças refletem não apenas a evolução do conhecimento dos alunos, mas também a provável eficácia dos métodos pedagógicos utilizados durante o processo de ensino-aprendizagem. Portanto, a avaliação comparativa dos mapas revela não só o progresso do aluno, mas também a importância da implementação de estratégias didáticas que promovam a construção ativa do conhecimento, estimulando o pensamento crítico-reflexivo, bem como a participação e envolvimento do aluno durante as aulas.

Vale lembrar que as hipóteses apresentadas inicialmente nesta dissertação, e implementadas ao longo das aulas, proporcionaram resultados satisfatórios. Portanto, verifica-se que estratégias pedagógicas que contemplam a problematização, a contextualização, situações cotidianas, atividades diversificadas, estudos dirigidos, tarefas de casa, experimentos simples e simulações computacionais constituem recursos didáticos eficazes. Essas ferramentas não apenas facilitam a compreensão e o desenvolvimento do conteúdo, também podem promover o engajamento dos alunos, possibilitando uma aprendizagem significativa, especialmente para aqueles que demonstraram interesse durante as aulas.

O objetivo geral foi alcançado, tendo em vista que foi desenvolvida uma proposta de ensino que promoveu a aprendizagem significativa de conceitos, físicos e químicos, relacionados ao lançamento de foguetes de garrafa PET, utilizando abordagens sociointeracionistas. Por outro lado, os objetivos específicos também foram alcançados, pois o

caderno didático foi construído e aplicado, houve uma interação entre o professor e os alunos, e os mapas mentais indicam uma provável aprendizagem significativa dos conceitos ensinados. Para que exista uma garantia maior de que houve aprendizagem significativa dos conceitos físicos e químicos ensinados, o tempo de aplicação do produto didática deveria ser maior do que apenas dois meses, e, além disso, deveriam ser usados não apenas mapas mentais, mas outros tipos de avaliações, tais como, questionários, seminários e discussões.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já descrito nos capítulos anteriores, o caderno didático fundamenta-se nas teorias de ensino-aprendizagem propostas por Vygotsky e Ausubel. Vale destacar que conciliar as duas teorias, tanto na confecção do material didático quanto na aplicação das aulas, mostrou-se desafiador. Contudo, foram necessárias adaptações durante a implementação, sem perder o propósito central do trabalho, ou seja: que os alunos aprendem algo sobre o tema abordado durante as aulas, tornando-se protagonistas do seu processo de aprendizagem, isto é, o aluno deve fazer para aprender e para tornar o conhecimento significativo.

Nas aulas iniciais, observou-se que os alunos não estavam habituados a metodologias que os colocassem como protagonistas do processo de aprendizagem. No entanto, o diálogo e a interação, elementos essenciais segundo Vygotsky, consolidaram-se progressivamente ao longo das aulas.

À medida que as aulas foram sendo ministradas, evidenciou-se que, para que ocorresse uma melhor internalização dos conteúdos abordados no caderno didático e discutidos em sala, era imprescindível ampliar a carga horária. Além disso, percebeu-se que a exposição frequente ao material, aliada a atividades práticas e experimentais, fortaleceu a memorização e a compreensão, minimizando lacunas cognitivas. Adicionalmente, aulas extras proporcionaram oportunidades para esclarecer dúvidas, aprofundar temas complexos e adequar o ritmo de ensino às necessidades dos discentes, otimizando o processo educativo. Assim, o aumento da duração das aulas (através de aulas com mais de 50 minutos) configurou-se como uma estratégia eficaz para elevar o rendimento dos alunos e consolidar uma formação mais estruturada.

Deve-se salientar que o caderno didático do aluno foi elaborado para ser utilizado com turmas do Ensino Fundamental Anos Finais (EFAF) ou do Ensino Médio Regular (EM). Porém, ao apresentar a proposta ao Colégio Sagrada Família, a coordenação pedagógica sugeriu que a aplicação do produto didático ocorresse na 2ª série da Formação de Docentes (dez alunas e um aluno). A Formação de Docentes, também conhecida como magistério, é um curso de nível médio e profissionalizante que forma professores para atuar na Educação Infantil (EI) e no Ensino Fundamental Anos Iniciais (EFAI). O curso possui em sua grade curricular a disciplina de Física, porém com carga horária reduzida (duas aulas semanais) em comparação com a quantidade de aulas do Ensino Médio regular, que tem quatro aulas semanais. Como a sugestão da coordenação foi acatada, foram feitas adaptações detalhadas no capítulo 4, antes da execução das aulas (sem alterar a organização estrutural do caderno do aluno), para garantir o objetivo de aprender com intencionalidade e na prática, isto é, em cada aula os alunos faziam atividades

experimentais com o objetivo de construir os conhecimentos específicos de cada capítulo, a fim de que conseguissem construir um foguete, lançá-lo e saber explicar a sua trajetória.

Do final de novembro de 2024 até o mês de maio de 2025, está sendo dada a continuidade da aplicação da proposta apresentada nesta dissertação. Desse modo, está ocorrendo, nesses últimos meses, a participação de outros(as) alunos(as) do Ensino Médio, do Colégio Sagrada Família, onde ocorreu a aplicação do caderno didático, nos meses de outubro a novembro de 2024. Os(as) alunos(as) participaram de competições nacionais em 2025, como a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) e a Olimpíada Brasileira de Foguetes (OBAFOG). À medida que os encontros foram ocorrendo, observaram-se os seguintes comportamentos:

- Utilização de materiais, como coifas e aletas fabricadas em impressora 3D, para a construção de foguetes de garrafa PET reutilizáveis.
- Formulação de hipóteses sobre a proporção entre vinagre e ácido acético para maximizar a produção de gás no interior do foguete, seguidas de testes experimentais.
- Investigação em laboratório sobre a concentração de ácido acético presente no vinagre em temperatura ambiente e os efeitos da variação térmica em sua concentração final.
- Nos lançamentos subsequentes, constatou-se um aumento significativo nos alcances dos foguetes em comparação aos resultados iniciais. Portanto, a exploração científica gradual dos experimentos não apenas melhorou o desempenho prático, mas também fortaleceu as interações entre alunos e entre estes e o professor. Os registros dessas atividades encontram-se no APÊNDICE H.
- Em colaboração com o Prof. Dr. Gerson Kniphoff da Cruz, do Departamento de Física (DeFis) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), os(as) alunos(as) tiveram a oportunidade de visitar o laboratório LAEPI (Laboratório de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e à Inovação) administrado pelo professor, bem como de conhecer as atividades desenvolvidas por ele e por seu grupo de pesquisa. Os testes acerca dos lançamentos de foguetes realizados até o dia 24 de maio de 2025, aos sábados pela manhã, no campus Uvaranas, em uma área aberta, foram supervisionados pelo professor. O local escolhido para realizar os lançamentos fica nas proximidades do Observatório Astronômico e do campo de treinamento do Operário Ferroviário Esporte Clube (OFEC), pois essa região apresenta condições de segurança, evitando riscos de acidentes. Ressalta-se que a delimitação da área para a preparação e lançamentos dos

foguetes, a marcação dos alcances e sugestões para a otimização dos resultados práticos foram conduzidas sob a supervisão do Prof. Dr. Gerson.

Os resultados da aplicação do caderno didático foram submetidos e aprovados para apresentação nos seguintes eventos:

- XI Congresso Nacional de Educação (CONEDU), em 2025;
- Encontros Integrados em Física e seu Ensino (IV EMNPEF e IX EBEF), em 2025.

As declarações de aceite estão disponíveis nos Apêndices I e J. Até 20 de junho de 2025, o trabalho também será submetido ao VII Simpósio Nacional de Educação em Astronomia (SNEA) como relato de experiência.

Para finalizar, o trabalho desenvolvido pelos(as) alunos(as) e os resultados obtidos, no ano de 2025, foram divulgados na plataforma digital do grupo Arede e no Jornal da Manhã (vide APÊNDICE K).

REFERÊNCIAS

ABREU, S. G. D.; MARQUES, N. S.; ARAUJO, M. T. D.; RAMOS, T. C. **O foguete de garrafa pet no ensino da Física.** Ciclo Revista: Experiências em formação no IF Goiano, Rio Verde-GO, v. 3, n. 1, 2018. Disponível em: https://periodicos.ifgoiano.edu.br/ciclo/article/view/737/569.

ALONSO, M. FINN, J. F. **Física: um curso universitário.** v. 1. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

ARAÚJO, M. S. T. ABIB, M. L. V. S. **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades.** Revista Brasileira em Ensino de Física, v. 25, n. 2, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?lang=pt&format=pdf.

CARVALHO, A. M. P. SASSERON, L. H. **ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO: REFERENCIAL TEÓRICO E AS PESQUISAS SOBRE AS SEQUÊNCIAS DE ENSINO INVESTIGATIVAS.** Ensino Em Re-Vista, v. 22, n. 2, p. 249-266, jul./dez. 2015.

CUTRIM, G. E. B. **FUNÇÃO QUADRÁTICA NA MODELAGEM MATEMÁTICA NO LANÇAMENTO DE GARRAFA PET COM ALUNOS DO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO**. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Matemática (PROFMAT), Universidade Estadual do Maranhão, 2019. Disponível em: https://repositorio.uema.br/bitstream/123456789/1587/3/DISSERTAÇÃOGIULIANO_1%20PDF-A.pdf.

GASPAR, ALBERTO. **Atividades experimentais no ensino de Física: uma visão baseada na teoria de Vigotski.** 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** v. 2. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física: Mecânica.** v. 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JUNIOR, S. A. C. **FOGUETES DE GARRAFA PET: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA TRABALHAR AS LEIS DE NEWTON NO ENSINO MÉDIO.** Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2020. 148 p. Disponível em: https://tede.unicentro.br/jspui/bitstream/jspui/1461/2/Dissertação%20-%20SERGIO%20ANTONIO%20CASAGRANDE%20JUNIOR.pdf.

LEAL, M.M. SOUSA, I. C. SILVA, J. S. MOURA, P. C. R. MENESES, L. S. **OBA E MOBFOG: ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA COM LANÇAMENTO DE FOGUETES.** IV Congresso Nacional de Educação (CONEDU), 2023. Disponível em:

https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2017/TRABALHO_EV073_MD1_SA16_ID1179_28072017140404.pdf.

MATIAS, M. P. **SIMULAÇÃO NO PhET (Physics Education Technology) PARA LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS E OFICINA DE CONSTRUÇÃO E LANÇAMENTO DE FOGUETES DE GARRAFAS PET.** Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019. Disponível em: http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/8358/2/Marcelo%20Pereira%20Matias.pdf.

MATOS, J. A. **A CONSTRUÇÃO DE FOGUETES COM O USO DE GARRAFAS PET NUM CONTEXTO HISTÓRICO DO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA.** Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Federal do Piauí, 2023. Disponível em: https://sigaa.ufpi.br/sigaa/verProducao?idProducao=5342142&key=2cbbec9e40d1c0fe5a68c99f18f62f2d.

MENDES, M. P. **O CONCEITO DE REAÇÃO QUÍMICA NO NÍVEL MÉDIO: HISTÓRIA, TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E ENSINO.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011. Disponível em: https://ppgefhc.ufba.br/sites/ppgefhc.ufba.br/files/maricleide_pereira_de_lima_mendes_-_o_conceito_de_reacao_quimica_no_nivel_medio_historia_transposicao_didatica_e_ensino.pdf.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

NASCIMENTO, T. L. **REPENSANDO O ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010. 61 p. Disponível em: https://www.uece.br/posla/wp-content/uploads/sites/28/2021/08/tiago_lessa_nascimento.pdf.

OLIVEIRA, F. S. **Lançamento de foguetes como ferramenta pedagógica para o ensino de física**. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Pontal do Araguaia, 2019. Disponível em: https://ri.ufmt.br/bitstream/1/3160/1/DISS_2019_Fernando%20Sousa%20de%20Oliveira.pdf?form=MG0AV3.

OLIVEIRA, P. S. O. **LANÇAMENTO DE FOGUETES PET NO CONTEXTO DO ENSINO MÉDIO: UM CONVITE PARA O APRENDIZADO DA COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS E DA TERCEIRA LEI DE NEWTON POR UM SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL.** Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Universidade Federal de São Carlos, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/server/api/core/bitstreams/a2881fdf-9b4f-4c60-9d80-e884bceabb94/content.

PREATO, D. O. SOARES, R. M. J. DRUZIAN, Q B A. **A reutilização da garrafa pet para confecção de foguete no ensino da física/ química.** International journal of developmental research, p. 37318–37324, 2020. Acessado em 23 de janeiro de 2025. https://pdfs.semanticscholar.org/fe53/4a4f12915a4ee687fafe2bc543fc70f7d421.pdf.

SEARS, F. W. SALINGER, G. L. **Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística.** 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S. A., 1979.

SILVA, M. A. **Conceitos de Física por meio do lançamento de foguetes de garrafa PET: uma proposta de Transposição Didática no Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado – Mestrado em Física) – Universidade de Brasília, 2015. Disponível em: http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/20435/2/2015_MarcosAntoniodaSilva.pdf.

SILVA, P. O., KRAJEWSKI, L. L., LOPES, H. S., NASCIMENTO, D. O. **OS DESAFIOS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO**. Rev Cient da Fac Educ e Meio Ambiente: Revista da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, Ariquemes, v. 9, n. 2, p. 829-834, 2018. Disponível em: https://revista.unifaema.edu.br/index.php/Revista-FAEMA/article/view/593/665.

SOUZA, J. A. **Um Foguete de Garrafas PET.** Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo. Física na Escola, v. 8, n. 2, p. 1, 2007. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a02.pdf.

THORNTON, S. T. MARION, J. B. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas.** 5 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TIPLES, P. A. LLEWELLYN, R. A. **Física moderna.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. p. 460.

XAVIER, A. P. et al. **FOGUETE DE GARRAFA PET COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE FÍSICA.** Revista Multidisciplinar do Vale do Jequitinhonha - ReviVale, v. 2, n. 1, 2022. Disponível em: https://scholar.archive.org/work/7gy7mn7z6fh5vd2ymiydagl5c4/access/wayback/https://revivale.ifnmg.edu.br/index.php/revivale/article/download/83/21.

YOUNG, H. D. FREEDMAN, R. A. **Física II, Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas.** 14 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

APÊNDICE A - DEMONSTRAÇÃO DA EXPRESSÃO DA TRAJETÓRIA COM RESISTÊNCIA DO AR

Ao decompor o movimento nas direções x e y, obtermos que a força de arrasto na direção horizontal é:

$$D_x = -k.v_x \quad . \tag{1}$$

Pela segunda lei de Newton na forma diferencial:

$$m\frac{dv_x}{dt} = -k.v_x \quad . \tag{2}$$

Podemos reescrever (2) como:

$$\frac{dv_x}{v_x} = -\frac{k}{m}dt \quad . \tag{3}$$

Integrando-se (4), obtemos:

$$\int_{v_{x0}}^{v_x}\frac{dv_x}{v_x} = -\frac{k}{m}\int_0^t dt \quad , \tag{5}$$

$$[\ln(v_x)]_{v_{x0}}^{v_x} = -\frac{k}{m}[t]_0^t \quad , \tag{6}$$

$$\ln(v_x) - \ln(v_{x0}) = -\frac{k}{m}(t-0) \quad , \tag{7}$$

$$\ln\left(\frac{v_x}{v_{x0}}\right) = -\frac{k}{m}t \quad , \tag{8}$$

$$\frac{v_x}{v_{x0}} = e^{-\frac{k}{m}t} \quad . \tag{9}$$

Portanto:

$$v_x = v_{x0}.\, e^{-\frac{k}{m}t} \quad , \tag{10}$$

em que $v_{x0} = v_0.\cos(\theta)$ é a componente horizontal da velocidade inicial de lançamento.

Integrando-se (10) para obter $x(t)$, temos:

$$x(t) = \int_0^t v_x(t)\, dt \quad , \tag{11}$$

$$x(t) = \int_0^t v_{x0}.\, e^{-\frac{k}{m}t}\, dt \quad , \tag{12}$$

$$x(t) = v_{x0}.\int_0^t e^{-\frac{k}{m}t}\, dt \quad . \tag{13}$$

Para revolver a integral acima, será utilizada a técnica de substituição de variáveis. Portanto:

$$u = -\frac{k}{m}t \quad . \tag{14}$$

Derivando a expressão (14) em ambos os membros, obtemos:

$$du = -\frac{k}{m}dt \quad . \tag{15}$$

$$dt = -\frac{m}{k}du \quad . \tag{16}$$

Os novos limites de integração são:

$$u(0) = 0 \quad , \tag{17}$$

$$u(t) = -\frac{k}{m}t \quad . \tag{18}$$

Então, a expressão (13) será reescrita como:

$$x(t) = v_{x0}.\int_0^{-\frac{k}{m}t} e^u \left(-\frac{m}{k}du\right) \ , \tag{19}$$

$$x(t) = -\frac{m.v_{x0}}{k}.\int_0^{-\frac{k}{m}t} e^u \, du \ , \tag{20}$$

Logo:

$$x(t) = -\frac{m.v_{x0}}{k}.[e^u]_0^{-\frac{k}{m}t} \ , \tag{21}$$

$$x(t) = -\frac{m.v_{x0}}{k}.\left(e^{-\frac{k}{m}t} - 1\right) \ , \tag{22}$$

$$x(t) = \frac{m.v_{x0}}{k}.\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right) \ . \tag{23}$$

A força de arrasto na direção y é:

$$D_y = -k.v_y \ . \tag{24}$$

Além disso, na subida, a força peso atua no mesmo sentido da força de arrasto. Assim, a expressão do movimento é:

$$m.\frac{dv_y}{dt} = -m.g - k.v_y \ . \tag{25}$$

Reescrevendo a expressão (25), obtemos que:

$$m.\frac{dv_y}{dt} + k.v_y = -m.g \ , \tag{26}$$

$$\frac{dv_y}{dt} + \frac{k}{m}.v_y = -g \quad , \tag{27}$$

esta é uma expressão diferencial linear não homogênea de primeira ordem da forma:

$$\frac{dv_y}{dt} + P(t).v_y = Q(t) \quad . \tag{28}$$

Sendo que:

$$P(t) = \frac{k}{m} \quad , \tag{29}$$

$$Q(t) = -g \quad . \tag{30}$$

Para resolver a expressão diferencial (28), deve-se determinar o fator integrante. Nesse caso o fator integrante é dado por:

$$\mu(t) = e^{\int_0^t P(t)\,dt} \quad . \tag{31}$$

Substituindo (29) em (31):

$$\mu(t) = e^{\int_0^t \frac{k}{m}\,dt} \quad , \tag{32}$$

$$\mu(t) = e^{\frac{k}{m}\int_0^t dt} \quad , \tag{33}$$

$$\mu(t) = e^{\frac{k}{m}[t]_0^t} \quad , \tag{34}$$

$$\mu(t) = e^{\frac{k}{m}t} \quad . \tag{35}$$

Multiplicando (35) em ambos os membros da expressão (27):

$$e^{\frac{k}{m}t}.\frac{dv_y}{dt}+\frac{k}{m}.e^{\frac{k}{m}t}.v_y=-g.e^{\frac{k}{m}t} \quad , \tag{36}$$

do lado esquerdo é a derivada do produto $v_y.e^{\frac{k}{m}t}$.

Logo:

$$\frac{d}{dt}\left(v_y.e^{\frac{k}{m}t}\right)=-g.e^{\frac{k}{m}t} \quad . \tag{37}$$

Integrando a expressão (37) em relação a t:

$$v_y.e^{\frac{k}{m}t}=-g.\int e^{\frac{k}{m}t}\,dt+C_1 \quad . \tag{38}$$

Resolvendo a integral acima:

$$\int e^{\frac{k}{m}t}\,dt=\frac{m}{k}e^{\frac{k}{m}t}+C_2 \quad . \tag{39}$$

Substituindo (39) em (38):

$$v_y.e^{\frac{k}{m}t}=-g.\left(\frac{m}{k}e^{\frac{k}{m}t}+C_2\right)+C_1 \quad , \tag{40}$$

$$v_y.e^{\frac{k}{m}t}=-\frac{g.m}{k}e^{\frac{k}{m}t}-g.C_2+C_1 \quad . \tag{41}$$

Reescrevendo a expressão (41) da seguinte forma:

$$C=-g.C_2+C_1 \quad . \tag{42}$$

Substituindo (42) em (41):

$$v_y . e^{\frac{k}{m}t} = -\frac{g.m}{k} e^{\frac{k}{m}t} + C \quad . \tag{43}$$

Ao dividir ambos os lados da expressão (43) por $e^{\frac{k}{m}t}$, verifica-se que:

$$v_y = -\frac{g.m}{k} + \frac{C}{e^{\frac{k}{m}t}} \quad , \tag{44}$$

$$v_y = -\frac{g.m}{k} + C.e^{-\frac{k}{m}t} \quad . \tag{45}$$

Para determinar a constante de integração C da expressão (45), aplica-se a condição inicial:

$$v_y(0) = -\frac{g.m}{k} + C.e^{-\frac{k}{m}t} \quad , \tag{46}$$

$$v_{y0} = -\frac{g.m}{k} + C \quad , \tag{47}$$

$$v_{y0} + \frac{g.m}{k} = C \quad , \tag{48}$$

$$C = v_{y0} + \frac{g.m}{k} \quad . \tag{49}$$

Substituindo (49) em (45):

$$v_y = -\frac{g.m}{k} + \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).e^{-\frac{k}{m}t} \quad , \tag{50}$$

$$v_y = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).e^{-\frac{k}{m}t} - \frac{g.m}{k} \quad . \tag{51}$$

Integrando expressão (51) para obter y(t):

$$y(t) = \int_0^t v_y \, dt \quad . \tag{52}$$

$$y(t) = \int_0^t \left[\left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . e^{-\frac{k}{m}t} - \frac{g.m}{k} \right] dt \quad , \tag{53}$$

$$y(t) = \int_0^t \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . e^{-\frac{k}{m}t} \, dt + \int_0^t \left(-\frac{g.m}{k} \right) dt \quad , \tag{54}$$

$$y(t) = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . \int_0^t e^{-\frac{k}{m}t} \, dt + \left(-\frac{g.m}{k} \right) \int_0^t dt \quad , \tag{55}$$

$$y(t) = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . \int_0^t e^{-\frac{k}{m}t} \, dt - \frac{g.m}{k} \int_0^t dt \quad , \tag{56}$$

$$y(t) = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . \left[-\frac{m}{k} e^{-\frac{k}{m}t} \right]_0^t - \frac{g.m}{k} [t]_0^t \quad , \tag{57}$$

$$y(t) = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . \left(-\frac{m}{k} e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{m}{k} \right) - \frac{g.m}{k} . (t - 0) \quad , \tag{58}$$

$$y(t) = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . \left(-\frac{m}{k} e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{m}{k} \right) - \frac{g.m}{k} . t \quad , \tag{59}$$

$$y(t) = \frac{m}{k} . \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k} \right) . \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) - \frac{g.m}{k} . t \quad . \tag{60}$$

No entanto, para se obter y(x), deve-se isolar o instante t que aparece na expressão (23) da seguinte forma:

$$x = \frac{m.v_{x0}}{k} - \frac{m.v_{x0}}{k} e^{-\frac{k}{m}t} \quad , \tag{61}$$

$$\frac{m.v_{x0}}{k} e^{-\frac{k}{m}t} = \frac{m.v_{x0}}{k} - x \quad , \tag{62}$$

$$e^{-\frac{k}{m}t} = \frac{k}{m.v_{x0}}\left(\frac{m.v_{x0}}{k} - x\right) \quad , \tag{63}$$

$$e^{-\frac{k}{m}t} = 1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}} \quad , \tag{64}$$

$$-\frac{k}{m}.t = \ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad , \tag{65}$$

$$t = -\frac{m}{k}\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad . \tag{66}$$

Substituindo (66) em (60):

$$y(t) = \frac{m}{k}.\left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).\left(1 - e^{-\frac{k}{m}\left[-\frac{m}{k}\ln\left(1-\frac{k.x}{m.v_{x0}}\right)\right]}\right) - \frac{g.m}{k}.\left[-\frac{m}{k}\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right)\right] \quad . \tag{67}$$

$$y(t) = \frac{m}{k}.\left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).\left(1 - e^{\ln\left(1-\frac{k.x}{m.v_{x0}}\right)}\right) + \frac{g.m^2}{k^2}.\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad . \tag{68}$$

$$y(t) = \frac{m}{k}.\left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).\left(1 - \left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right)\right) + \frac{g.m^2}{k^2}.\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad . \tag{69}$$

$$y(t) = \frac{m}{k}.\left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).\left(1 - 1 + \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) + \frac{g.m^2}{k^2}.\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad . \tag{70}$$

$$y(x) = \frac{m}{k}.\left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).\frac{k.x}{m.v_{x0}} + \frac{g.m^2}{k^2}.\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad , \tag{71}$$

$$\boxed{y(x) = \left(v_{y0} + \frac{g.m}{k}\right).\frac{x}{v_{x0}} + \frac{g.m^2}{k^2}.\ln\left(1 - \frac{k.x}{m.v_{x0}}\right) \quad ,} \tag{72}$$

essa é a expressão da trajetória com a força de arrasto D variando linearmente com a velocidade v.

APÊNDICE B – CÓDIGO EM PHYTON PARA SIMULAR AS TRAJETÓRIAS SEM E COM RESISTÊNCIA DO AR

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Função para calcular a trajetória do projétil sem resistência do ar
def calcular_trajetoria_sem_resistencia(v0, theta, g=9.8, num_points=50):
    theta_rad = np.radians(theta)
    vx = v0 * np.cos(theta_rad)
    vy = v0 * np.sin(theta_rad)
    t_flight = (2 * vy) / g
    t = np.linspace(0, t_flight, num=num_points)
    x = vx * t
    y = vy * t - 0.5 * g * t**2
    return x, y

# Função para calcular a trajetória do projétil com resistência do ar
def calcular_trajetoria_com_resistencia(v0, theta, k, g=9.8, dt=0.1):
    theta_rad = np.radians(theta)
    vx = v0 * np.cos(theta_rad)
    vy = v0 * np.sin(theta_rad)
    x, y = [0], [0]
    t = 0
    while True:
        ax = -k * vx / m
        ay = -g - k * vy / m
        vx += ax * dt
        vy += ay * dt
        x_new = x[-1] + vx * dt
        y_new = y[-1] + vy * dt
        if y_new < 0:
```

```
            break
        x.append(x_new)
        y.append(y_new)
        t += dt

    # Interpolação linear para o último ponto (quando y = 0)
    if y[-1] != 0:
        x_last = x[-1] + (x_new - x[-1]) * (-y[-1]) / (y_new - y[-1])
        y_last = 0
        x.append(x_last)
        y.append(y_last)

    return np.array(x), np.array(y)

# Parâmetros do primeiro projétil (sem resistência do ar)
v0_1 = 50  # velocidade inicial em m/s
theta_1 = 45  # ângulo de lançamento em graus

# Parâmetros do segundo projétil (com resistência do ar)
v0_2 = 50  # velocidade inicial em m/s
theta_2 = 45  # ângulo de lançamento em graus
k = 0.05  # constante de arrasto
m = 1 # massa do projetil em kg

# Calculando as trajetórias
x1, y1 = calcular_trajetoria_sem_resistencia(v0_1, theta_1)
x2, y2 = calcular_trajetoria_com_resistencia(v0_2, theta_2, k)

# Plotando as trajetórias com pontos e cores específicas
```

```
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.scatter(x1, y1, s=5, c='blue', label='Sem resistência do ar')  # azul - sem resistência
plt.scatter(x2, y2, s=5, c='red', label='Com resistência do ar')   # vermelho - com resistência
plt.xlabel('Posição horizontal (m)')
plt.ylabel('Posição vertical (m)')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

APÊNDICE C – DEMONSTRAÇÃO DA EXPRESSÃO DO FOGUETE DE TSIOLKOVSKY

A expressão do foguete de Tsiolkovsky descreve a variação de velocidade de um foguete em função da massa de combustível ejetado, na ausência de forças externas (como gravidade ou resistência do ar). A dedução baseia-se na conservação do momento linear e no princípio da ação e reação (terceira lei de Newton).

As hipóteses iniciais são as seguintes:

- o foguete tem massa total inicial m_0, incluindo o combustível;
- a velocidade de ejeção dos gases v_e é constante em relação ao foguete;
- o sistema é mecanicamente isolado;
- a perda de massa dm ocorre continuamente devido à queima de combustível.

O momento linear total antes da ejeção de combustível é:

$$p = m.v \ , \tag{1}$$

sendo m e v a massa e a velocidade inicial do foguete.

Em um intervalo de infinitesimal dt, uma pequena massa de combustível dm é ejetada com velocidade v_e em relação ao foguete. Pela terceira lei de Newton, o foguete recebe um impulso de mesma intensidade e de sentido oposto.

Portanto, o momento linear total após a ejeção é:

$$p(t + dt) = (m(t) - dm').(v(t) + dv) + dm'.(v(t) - v_e) \ , \tag{2}$$

considerando dm' como sendo uma massa positiva ejetada pelo foguete. A variação infinitesimal dm do foguete é:

$$dm = -dm' \ . \tag{3}$$

Substituindo (3) em (2), obtemos que:

$$p(t + dt) = (m + dm).(v + dv) + (-dm)(v - v_e) \ , \tag{4}$$

em que o foguete passa a ter massa $m + dm$ e velocidade $v(t) + dv$. Os gases ejetados têm massa $-dm$ (o foguete perde massa) e velocidade $v - v_e$ (em relação a um referencial inercial).

Como o momento linear total do sistema se conserva, temos de igualar o momento linear total antes (expressão (1)) ao momento linear total depois (expressão (4)):

$$m.v = (m + dm).(v + dv) + (-dm)(v - v_e) \quad , \tag{5}$$

Expandindo e simplificando a expressão (5), obtemos:

$$m.v = m.v + m.dv + dm.v + dm.dv - dm.v + dm.v_e \quad , \tag{6}$$

$$m.v - m.v = m.dv + dm.v - dm.v + dm.dv + dm.v_e \quad , \tag{7}$$

$$0 = m.dv + dm.dv + dm.v_e \quad . \tag{8}$$

Como o termo $dm.dv$, na expressão (8), é infinitesimalmente pequeno, pode-se desprezar este termo. Portanto, a expressão (8) torna-se:

$$0 = m.dv + dm.v_e \quad . \tag{9}$$

Rearranjando a expressão (9), temos que:

$$m.dv = -v_e.dm \quad , \tag{10}$$

$$dv = -v_e.\frac{dm}{m} \quad . \tag{11}$$

Para obter a variação da velocidade Δv, integramos desde m_i até a massa final m_f. Considerando que a velocidade de ejeção dos gases v_e é constante, deve-se integrar a expressão (11) da seguinte forma:

$$\int_{v_i}^{v_f} dv = -v_e.\int_{m_i}^{m_f} \frac{dm}{m} \quad . \tag{12}$$

$$[v]_{v_i}^{v_f} = -v_e.[\ln(m)]_{m_i}^{m_f} \quad , \tag{11}$$

$$v_f - v_i = -v_e.[\ln(m_f) - \ln(m_i)] \quad , \tag{12}$$

$$v_f - v_i = v_e.[\ln(m_i) - \ln(m_f)] \quad , \tag{13}$$

$$\boxed{\Delta v = v_e.\ln\left(\frac{m_i}{m_f}\right) \quad .} \tag{14}$$

A demonstração deste APÊNCIDE C está baseada nos exercícios resolvidos dos seguintes livros:

- "FÍSICA: um curso universitário" de Marcelo Alonso e Edward J. Finn (p. 167-168);
- "Dinâmica clássica de partículas e de sistemas" de Stephen T. Thornton e Jerry B. Marion (p. 330-332).

APÊNDICE D – CADERNO DIDÁTICO DO ALUNO

LANÇAMENTO DE FOGUETE UTILIZANDO GARRAFA PET

Samuel Correa Machado

Luiz Antônio Bastos Bernardes

CADERNO DO ALUNO

Lançamento do foguete Atlas V em 16/10/2021
Fonte: Nasa/ Bill Ingalls.

DADOS DO ALUNO

NOME:
_____

E-MAIL:
_____

CIDADE:
_____

COLÉGIO:
_____

ENSINO:
( ) REGULAR
( ) TÉCNICO

ESCOLARIDADE:
( ) 1° GRAU (FUNDAMENTAL)
( ) 2° GRAU (MÉDIO)

ANO/ SÉRIE:_____ TURMA:_____

PRODUTO EDUCACIONAL

APRESENTAÇÃO

Este caderno didático constitui um produto educacional desenvolvido como parte integrante da dissertação realizada no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física e do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – Polo 35, sediado na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Todas as atividades deste caderno foram concebidas visando abordar, por meio de discussões teóricas e experimentos práticos, conceitos de Física e Química relacionados ao lançamento de foguetes utilizando garrafa PET. Dentre os temas explorados, destacam-se conteúdos de Mecânica, Hidrodinâmica e Química, tais como: lançamento de projéteis, com e sem a consideração da resistência do ar; uso do centro de massa na análise de uma trajetória; pressão e centro de pressão; relação entre densidade e temperatura; sistema de massa variável; balanceamento de uma reação química.

Este caderno está dividido em seis capítulos:

- Capítulo 1: O que são foguetes espaciais.
- Capítulo 2: A Física por trás do lançamento de projéteis.
- Capítulo 3: Propelente e montagem de foguetes de garrafa pet.
- Capítulo 4: Fazendo simulação computacional.
- Capítulo 5: Coletando dados experimentais.
- Capítulo 6: Análise dos dados obtidos.

COMO USAR ESTE CADERNO

Este caderno foi construído para ser utilizado por estudantes do Ensino Fundamental Anos Finais (EFAF) e Ensino Médio (EM) no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de Física e Química presentes no lançamento de foguetes confeccionados com garrafas pets retornáveis.

Em cada capítulo, são colocadas atividades experimentais que exigirão a ativa participação dos alunos, a discussão entre os alunos e com o professor dos resultados obtidos, e o relato por escrito destas atividades no próprio caderno.

Deste modo, este caderno poderá ser utilizado por cada aluno para revisar as atividades realizadas e os conteúdos relacionados com o lançamento de foguetes com garrafa PET.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 – O QUE SÃO FOGUETES ESPACIAIS

ATIVIDADE EM SALA 1.1 – MAPA MENTAL SOBRE FOGUETES.....

1.1 PRECURSORES NO ESTUDO DE LANÇAMENTOS DOS FOGUETES

ATIVIDADE EM SALA 1.2 – VIAJANDO COM GALILEU GALILEI.....

TAREFA DE CASA 1.1 – EXPLORANDO O MÉTODO CIENTÍFICO JUNTOS.....

ATIVIDADE EM SALA 1.3 – MOVIMENTO DOS PROJÉTEIS COM PROF. WALTER LEWIN.....

TAREFA DE CASA 1.2 – OBSERVANDO ALÉM DOS CEÚS.....

ATIVIDADE EM SALA 1.4 – FOGOS DE ARTIFÍCIO E A FÍSICA.....

1.2 BREVE HISTÓRIA SOBRE OS FOGUETES ESPACIAIS

TAREFA DE CASA 1.3 – EXPLORANDO A HISTÓRIA DO CINEMA DE FICÇÃO CIENTÍFICA RELACIONADO COM A EXPLORAÇÃO DO ESPAÇO.....

CAPÍTULO 02 – A FÍSICA POR TRÁS DO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS

ATIVIDADE EM SALA 2.1 – MAPA MENTAL SOBRE VETORES.....

2.1 DECOMPOSIÇÃO DE VETORES

TAREFA DE CASA 2.1 – ESTUDO DIRIGIDO: RELAÇÕES TRIGONOMÉTRICAS E SUAS INVERSAS...

ATIVIDADE EM SALA 2.2 – TRIÂNGULO RETÂNGULO E RELAÇÕES TRICONOMÉTRICAS.....

TAREFA DE CASA 2.2 – ESTUDO DIRIGIDO: TEOREMA DE PITÁGORAS.....

ATIVIDADE EM SALA 2.3 – MEDINDO A INCLINAÇÃO DAS RUAS.....

ATIVIDADE EM SALA 2.4 – FÍSICA APLICADA NO LEG PRESS.....

2.2 INTRODUZINDO TRATAMENTO VETORIAL NO ESTUDO DA TRAJETÓRIA DE PROJÉTEIS: DECOMPOSIÇÃO DO VETOR VELOCIDADE INICIAL $\vec{v}_0$

2.3 LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS SEM RESISTÊNCIA DO AR: CONSTRUINDO A EQUAÇÃO DA TRAJETÓRIA

2.4 O QUE É CENTRO DE MASSA (CM)?

ATIVIDADE EM SALA 2.5 – LOCALIZANDO O CM.....

TAREFA DE CASA 2.3 – CENTRO DE GRAVIDADE.....

2.5 USANDO O CENTRO DE MASSA NA ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE UM OBJETO

CAPÍTULO 03 – PROPELENTE E MONTAGEM DE FOGUETES DE GARRAFA PET

3.1 PRESSÃO E CENTRO DE PRESSÃO (CP)

3.2 DENSIDADE, TEMPERATURA E A SUA RELAÇÃO

ATIVIDADE EM SALA 3.1 – MEDINDO A DENSIDADE DOS OBJETOS.....

3.3 SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL

3.4 O QUE É REAÇÃO QUÍMICA

3.5 BALANCEAMENTO QUÍMICO

TAREFA DE CASA 3.1 – FORMAÇÃO DA AMÔNIA.....

3.6 REAÇÃO ENTRE VINAGRE 4% M/V DE ÁCIDO ACÉTICO E BICARBONATO DE SÓDIO

3.7 EQUAÇÃO DE REAÇÃO ENTRE VINAGRE 4% M/V DE ÁCIDO ACÉTICO E BICARBONATO DE SÓDIO

ATIVIDADE EM SALA 3.2 – DETERMINANDO A MASSA MOLAR DOS COMPOSTOS.....

TAREFA DE CASA 3.2 – PESQUISA SOBRE CLAPEYRON E A EQUAÇÃO DE ESTADO DOS GASES IDEAIS.....

ATIVIDADE EM SALA 3.3 - DETERMINANDO O NÚMERO DE MOLS DE UM GÁS IDEAL.....

TAREFA DE CASA 3.3 – DETERMINANDO MASSAS E VOLUMES DE COMPOSTOS QUÍMICOS.....

3.8 CONSTRUÇÃO DO FOGUETE

CAPÍTULO 04 – FAZENDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

4.1 FORÇA DE ARRASTO

ATIVIDADE EM SALA 4.1 - DETERMINANDO A UNIDADE DA GRANDEZA C_d.....

4.2 VELOCIDADE TERMINAL

ATIVIDADE EM SALA 4.2 - DETERMINANDO EXPERIMENTALMENTE O VALOR v_t.....

TAREFA DE CASA 4.1 – FORÇA DE ARRASTO NA PRÁTICA.....

4.3 COMPARANDO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS COM E SEM RESISTÊNCIA DO AR

ATIVIDADE EM SALA 4.3 - SIMULANDO NO PHET COLORADO LANÇAMENTOS OBLÍQUOS SEM E COM RESISTÊNCIA DO AR.....

TAREFA DE CASA 4.2 - SIMULANDO COM RESISTÊNCIA DO AR NO PHET COLORADO.....

CAPÍTULO 05 – COLETANDO DADOS EXPERIMENTAIS

5.1 INTRODUÇÃO

5.2 REGISTRANDO, NO CAMPO DE LANÇAMENTO, OS DADOS EXPERIMENTAIS PARA SOLUÇÃO DE VINAGRE, A FIM DE DETERMINAR O ALCANCE DOS FOGUETES

ATIVIDADE EM SALA 5.1 – FICHA DE REGISTRO.....

CAPÍTULO 06 – ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

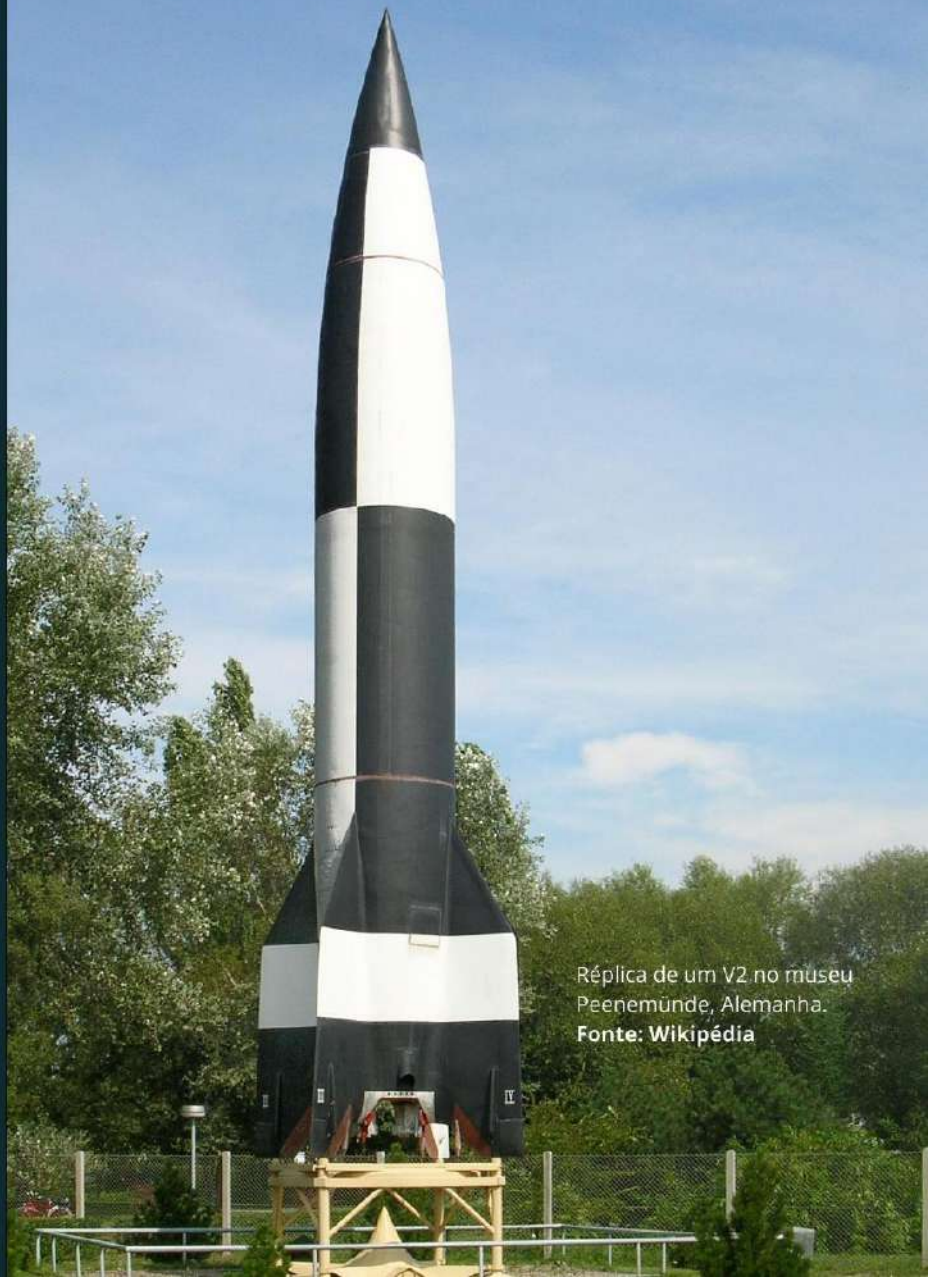
6.1 ANALISANDO OS DADOS EXPERIMENTAIS

ATIVIDADE EM SALA 6.1 – INVESTIGANDO OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....

ATIVIDADE EM SALA 6.2 – JORNADA FINAL.....

O QUE SÃO OS FOGUETES ESPACIAIS?

CAPÍTULO 1



Réplica de um V2 no museu Peenemünde, Alemanha.
Fonte: Wikipédia

ATIVIDADE EM SALA 1.1

MAPA MENTAL SOBRE FOGUETES

Esta atividade tem como objetivo verificar os seus conhecimentos prévios (iniciais) sobre FOGUETES.

ATENÇÃO

Um mapa mental é uma representação gráfica que RELACIONA diferentes informações a um tema central.

Siga os passos a seguir:

- ✓ Elabore um mapa mental na folha ao lado começando com o tema FOGUETES.
- ✓ Em seguida, faça a leitura do QR-CODE abaixo.
- ✓ Assista ao vídeo e estabeleça, por escrito, conexões entre os acontecimentos apresentados no vídeo.
- ✓ Explique, de maneira resumida, quais os conceitos de Física que você conhece que estão relacionados com os conteúdos apresentados no vídeo.
- ✓ Para cada situação, coloque o(s) instrumento(s)/ equipamento(s)/ objeto(s) observados no vídeo e a ligação destes com o tema central do vídeo.

"The Evolution of Space Rockets"
do canal Tech Vision no YouTube

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

FOLHA PARA CONSTRUIR SEU MAPA MENTAL

1.1 PRECURSORES NO ESTUDO DE LANÇAMENTOS DOS PROJÉTEIS

Nesta seção, vamos explorar brevemente o legado de cinco renomados pesquisadores que desempenharam papéis fundamentais na compreensão do lançamento de projéteis: Aristóteles, Leonardo da Vinci, Niccolò Tartaglia, Galileu Galilei e Sir Isaac Newton. Cada um ofereceu contribuições valiosas por meio de suas pesquisas e experimentos.

Aristóteles escreveu o importante livro de Filosofia Natural "Física", contendo suas ideias a respeito de fenômenos naturais.

Figura 1- Estátua do busto do Aristóteles

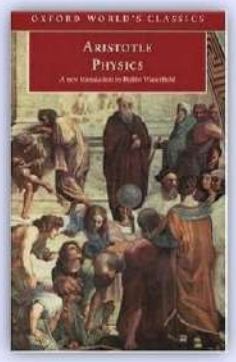


Figura 2 - Capa do livro Física de Aristóteles

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

O polímata e filósofo Aristóteles nasceu em Estagira (384 a. C.) e faleceu em Atena (322 a.C.). A vasta amplitude intelectual de Aristóteles, na **Figura 1**, compreendia diversas áreas do conhecimento, englobando grande parte das ciências e diversas artes. Entre elas estavam a biologia, botânica, química, ética, história, lógica, metafísica, retórica, filosofia da ciência, física, poética, teoria política e psicologia, além de zoologia. Ele é reconhecido como fundador da lógica formal, desenvolvendo um sistema completo que por séculos foi considerado a base dessa disciplina. Aristóteles também se destacou como pioneiro no estudo da zoologia, tanto através da observação quanto de suas teorias, alguns de seus trabalhos permaneceram referências até o século XIX. Contudo, sua maior notoriedade reside no papel como filósofo. O livro Física, conforme mostrado na **Figura 2**, consiste em uma compilação de tratados que exploram princípios mais abrangentes (filosóficos) do movimento, seja para seres vivos quanto inanimados, ao invés de teorias físicas no sentido contemporâneo.

A física aristotélica afirmava que, ao se lançar um projétil, ele seguiria uma trajetória retilínea até atingir uma certa altura, momento em que cairia verticalmente no chão, conforme mostrado na **Figura 3**. Essa afirmação se fundamentava na ideia de que os corpos tendem a ocupar seus lugares naturais.

Figura 3 - Trajetórias retilíneas dos projéteis, tanto na ascensão quanto na descida

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Leonardo da Vinci (1452- 1519) dedicou uma parte significativa de sua vida ao estudo e à compreensão dos fenômenos naturais, incluindo o movimento de projéteis e a influência da resistência do ar nesse movimento.

Figura 4 - Cientista e inventor Leonardo Da Vinci

Figura 5 - Uma das obras mais conhecidas de Leonardo

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Leonardo da Vinci, notável figura da Renascença italiana, é representado na **Figura 4**, incorporando os ideais humanistas da época de forma única. Este talentoso artista e construtor destacou-se em pintura, escultura e engenharia, evidenciando sua habilidade em obras como "A Última Ceia" e a enigmática "Mona Lisa" (vide **Figura 5**). No entanto, seu gênio transcendia as telas, como demonstrado em seus cadernos repletos de esboços e observações minuciosas que exploravam a anatomia, a física e até mesmo a aviação, séculos antes de se tornarem disciplinas científicas estabelecidas. Para Leonardo, a visão era o sentido mais elevado do ser humano, transmitindo os fatos da experiência de forma imediata, precisa e indubitável. Assim, todo fenômeno percebido se tornava objeto de conhecimento, e "saper vedere" ("saber ver") se tornava o tema central de seus estudos. Empregando seu intelecto excepcional, poderes extraordinários de observação e maestria na arte do desenho, ele estudou a própria natureza, uma linha de investigação que permitiu o florescimento de sua busca simultânea pela arte e pela ciência.

Utilize o QR-CODE para ter acesso à galeria:
"Leonardo da Vinci – Explore a obra do gênio da Renascença" do Google Arts & Culture

Da Vinci estava profundamente interessado no movimento dos objetos lançados no ar, especialmente em relação à balística.

VOCÊ SABIA...

que foi Da Vinci que reconheceu que a trajetória de um objeto lançado não era uma linha reta, mas sim uma curva suave, que mais tarde seria conhecida como parábola?

Note a sutileza da física de Leonardo da Vinci e veja no canto inferior esquerdo da **Figura 6** que as trajetórias dos projéteis eram arqueadas.

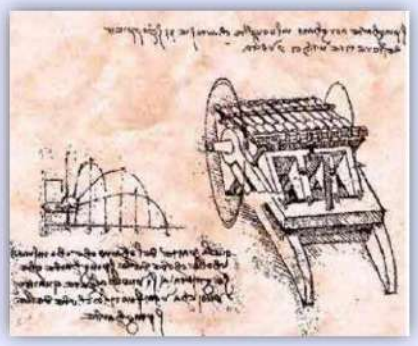


Figura 6 - Gravura de Leonardo da Vinci, o canhão de balas e suas trajetórias

Então podemos dizer que o grande gênio renascentista tinha uma ideia muito mais próxima da realidade sobre o caminho descrito pelos corpos quando lançados segundo um ângulo de inclinação com o chão.

Utilize o QR-CODE para ter acesso à reportagem:
"Os experimentos esquecidos que mostram o que Da Vinci entendia sobre a gravidade antes de Galileu e Newton"
do portal **G1**

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Niccolò Tartaglia (1499 – 1557) foi um matemático italiano que originou a ciência da balística.

Figura 7 - Matemático italiano Tartaglia

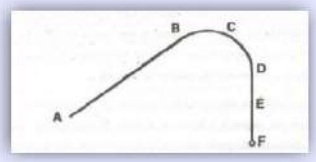


Figura 8 - Trajetórias de projéteis lançados no ar, de acordo com Tartaglia

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Niccolò Fontana Tartaglia, seu retrato é apresentado na **Figura 7**, nasceu em 1499, na Brescia, na república de Veneza e faleceu em 13 de dezembro de 1557 em Veneza. Em 1537, 27 anos antes do nascimento de Galileu, Tartaglia publicou o livro "*Nova Ciência*", fundando a balística moderna – a ciência dos projéteis. É fato que Tartaglia teve duas grandes influências: a geometria de Euclides e a física de Aristóteles. A **Figura 8** é um dos registros presentes em seu livro e que demonstra as trajetórias dos projéteis como a junção de: um segmento de reta AB, um arco de círculo BCD e outro segmento de reta DEF. Tal trajetória, na teoria de Tartaglia, era chamada de curva contínua. Tartaglia utilizou a geometria de Euclides para analisar o movimento, mas não conseguiu romper completamente com a física de Aristóteles, o que resultou em algumas confusões e erros, do ponto de vista da Física atual.

Coube a Galileu, por meio de experimentos e interpretações teóricas, provar que a curva contínua de Tartaglia é, na verdade, uma parábola.

VOCÊ SABIA...

que Tartaglia começou a estudar balística em 1532, quando um soldado lhe perguntou qual seria o ângulo ideal para que um canhão atingisse o alcance máximo. Utilizando a geometria euclidiana, Tartaglia determinou que o ângulo ideal era de 45°. Além do mais, ele desenvolveu um dispositivo chamado quadrante, destinado a medir os ângulos de elevação dos canhões.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Galileu Galilei (1564 – 1642), nasceu em Pisa, na atual Itália. Ele foi filósofo natural renascentista cujas contribuições permearam a Astronomia, Física, Matemática e Filosofia. Galileu foi professor de Matemática na Universidade de Pisa e mais tarde na Universidade de Pádua.

VOCÊ SABIA...

que os Filósofos Naturais surgiram na Grécia Antiga, principalmente durante o século VI a.C., e acreditavam na capacidade da razão e da observação para compreender qual é a substância material que compõe tudo que existe no universo? Entre os grandes nomes da Filosofia Natural estão Tales de Mileto, Anaximandro de Mileto, Anaxímenes de Mileto, Heráclito de Éfeso e Demócrito de Abdera.

Figura 9 - Astrônomo, filosofo natural e inventor florentino Galileu Galilei

Figura 10 – Telescópio galileano

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Galileu, apresentado na **Figura 9**, deixou contribuições fundamentais para as ciências do movimento, resistência dos materiais, além de ter contribuído para o desenvolvimento do método científico. Sua formulação da inércia, da lei da queda dos corpos e das trajetórias parabólicas (resultante da combinação de dois movimentos que, quando desprezado a resistência do ar, são: um com velocidade constante na direção paralela ao chão e outro com aceleração uniforme na direção perpendicular ao chão) marcou o início de uma mudança radical no estudo dos movimentos. Sua insistência de que o grande livro da natureza deveria ser escrito na linguagem da matemática transformou a filosofia natural de uma abordagem verbal e qualitativa para uma abordagem matemática, na qual a experimentação se tornou um método reconhecido para descobrir os fatos da natureza. Suas descobertas com o telescópio, vide **Figura 10**, revolucionaram a astronomia e pavimentaram a aceitação do modelo heliocêntrico proposto por Copérnico, que postula que a Terra e os outros planetas orbitam em torno do Sol, em vez de o contrário.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE EM SALA 1.2

VIAJANDO COM GALILEU GALILEI

Os integrantes do grupo devem seguir os passos abaixo:

1º passo) organizem-se em grupos de 3 a 4 alunos.

2º passo) utilizem o smartphone para escanear o QR-code.

3º passo) encontrem a descrição do mapa virtual e façam a leitura.

4º passo) leiam as perguntas abaixo, discutam-nas, investiguem utilizando o mapa virtual e elaborem uma resposta conjunta.

QUESTIONÁRIO

1) Em qual da região geográfica fica Pisa?

_____

2) Em qual região geográfica fica Pádua?

_____

3) Qual a distância entre Pisa e Pádua?

_____

Utilize o QR-CODE para acessar o mapa
"Viajando com Galileu Galilei"

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

_____

_____

_____

_____

_____

_____

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

É importante destacar que Galileu foi o primeiro a estudar cientificamente o movimento de objetos em queda livre e o de projéteis.

VOCÊ SABIA...

que por volta de 1240, Roger Bacon (1220-1292) ingressou na Ordem Franciscana e fortemente influenciado por Robert Grosseteste (1175-1253) dedicou-se a estudos em que introduziu a observação da natureza e a experimentação como bases do conhecimento natural? Bacon avançou além do seu mentor ao descrever o método científico como um ciclo repetitivo de observação, hipótese, experimentação e verificação independente. Ele registrava seus experimentos com detalhes, permitindo que outros pudessem reproduzi-los e testar seus resultados. Essa capacidade de verificação independente é uma parte fundamental do método científico contemporâneo.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

TAREFA DE CASA 1.1

EXPLORANDO O MÉTODO CIENTÍFICO JUNTOS

INSTRUÇÕES

Formação dos grupos:

1. Formem grupos de 3 a 4 alunos.
2. Cada grupo será responsável por uma das etapas do Método Científico: observação, hipóteses, experimentação e verificação independente.

Pesquisa e preparação:

3. Pesquisem sobre a etapa designada ao seu grupo. Use livros, artigos científicos, e fontes confiáveis na internet.
4. Preparem uma breve explicação sobre o objetivo e a importância dessa etapa no contexto do Método Científico Contemporâneo.
5. Incluam exemplos práticos e reais para ilustrar como essa etapa é aplicada na ciência.

Elaboração da apresentação:

6. Criem uma apresentação de 5 a 10 minutos sobre a sua etapa. A apresentação pode incluir slides, pôsteres, dramatizações ou outras formas criativas de comunicação.
7. Assegurem-se de que todos os membros do grupo participem e contribuam igualmente para a apresentação.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

Galileu realizou experimentos cuidadosos utilizando planos inclinados, como mostrado na **Figura 11**, para investigar as leis do movimento e as trajetórias parabólicas.

Figura 11 – Plano inclinado de Galileu

VOCÊ SABIA...

que o pesquisador precursor no estudo do lançamento de projéteis levando em consideração a resistência do ar foi Galileu Galilei? Em sua obra "*Discurso e Demonstrações Matemáticas sobre Duas Novas Ciências*", publicado em 1683, Galileu abordou o movimento dos corpos em um meio resistente, como o ar.

Variando a velocidade horizontal dos projéteis e a altura de queda, Galileu conseguiu demonstrar que a trajetória desse movimento seguia uma *parábola*, como apresentado na **Figura 12**.

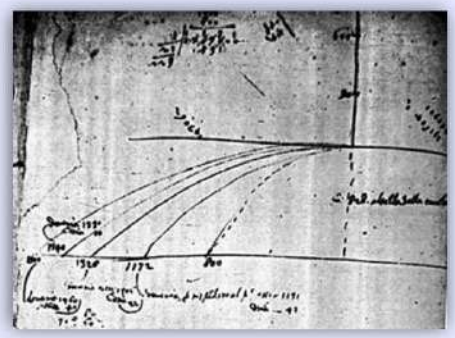


Figura 12 – Registros experimentais obtidos por Galileu

Além do mais, foi Galileu quem teve a brilhante ideia de que o movimento de um projétil, como indicado na **Figura 13**, poderia ser decomposto em dois movimentos independentes, um ao longo do eixo x e outro ao longo do eixo y.

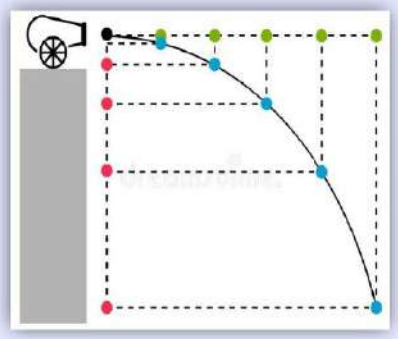


Figura 13 – Movimento parabólico sendo decomposto em dois movimentos simultâneos e independentes

ATIVIDADE EM SALA 1.3

MOVIMENTO DOS PROJÉTEIS COM PROF. WALTER LEWIN

Acesse o vídeo através do QR-CODE ao lado, assista-o e responda o que se pede.

1) Na subida, a bolinha caminha:

(__) mais rápido

(__) mais devagar

2) Na descida, a bolinha caminha:

(__) mais rápido

(__) mais devagar

3) Qual grandeza física influencia na velocidade vertical da bolinha?

_____

_____

Acesse o QR-CODE e assista ao vídeo
"Projectile motion – prof. Walter Lewin" no YouTube

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

Sir Isaac Newton (1643 – 1727) nasceu em Woolsthorpe, Lincolnshire, Inglaterra, em 1643. Ele é reconhecido como um dos maiores cientistas de todos os tempos. Newton atuou como professor na Universidade de Cambridge, onde foi incumbido da Cadeira Lucasiana de Matemática, em 1669.

Figura 14 – Matemático, Filósofo Natural, Astrônomo, Teólogo, Autor Inglês, Sir Isaac Newton

Figura 15 – Telescópio newtoniano

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Isaac Newton, retratado na **Figura 14**, aos 20 anos de idade, emergiu como o principal matemático da Europa. Dedicou-se por várias décadas ao estudo da Alquimia, uma ciência conhecida como química da Antiguidade ou da Idade Média, que visava a transmutação de elementos, originando a ideia de ação à distância, essencial para a formulação da lei da gravitação universal. Desenvolveu uma teoria da Óptica Física que sustentava a composição da luz branca. Newton foi também um inventor prolífico. Em 1668, projetou e construiu manualmente o primeiro telescópio refletor prático, conhecido como telescópio newtoniano (ver **Figura 15**). Ao contrário dos telescópios refratores, que empregavam lentes para focalizar a luz, o telescópio newtoniano utilizava um espelho parabólico para refletir a luz e formar uma imagem. Isso solucionou muitos dos problemas de aberração cromática associados aos telescópios refratores da época, tornando-o uma ferramenta valiosa para a astronomia. Como Newton afirmava "Se eu vi mais longe, foi porque estava sobre os ombros de gigantes", trazendo a luz a importância de "descobrir a verdade a partir das descobertas anteriores". Newton teve o privilégio de se apoiar nos monumentais trabalhos não apenas de Galileu, mas também de outros pioneiros da ciência moderna.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

TAREFA DE CASA 1.2

OBERSERVANDO ALÉM DOS CÉUS

SIGAS AS INSTRUÇÕES ABAIXO

- Faça a leitura do QR-CODE abaixo com seu smartphone.

Agora respondas as perguntas abaixo:

1ª) Explique, resumidamente, o que se trata o QR-code acima.

_____

2ª) Descreva, brevemente, sobre a importância de tais equipamentos.

_____

3ª) Represente, esquematicamente, o funcionamento dos telescópios galileano e o newtoniano. Quais princípios físicos contemplam estes equipamentos?

4ª) Quais limitações ou problemas que ambos os telescópios apresentam?

_____

5ª) Qual(is) a relação(ões) entre a construção de foguetes espaciais e telescópios? Justifique sua resposta.

_____

_____

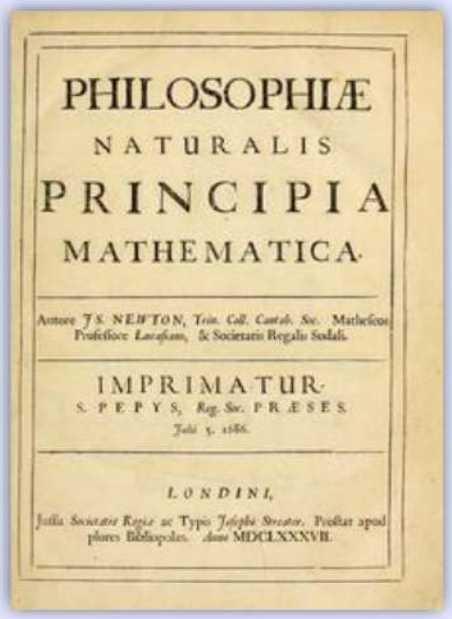
_____

_____

VOCÊ SABIA...

que o calendário Juliano foi criado por Júlio César em 46 a.C. e utilizado até o século XVI, enquanto o calendário Gregoriano foi instituído pelo papa Gregório XIII em 1592? O calendário Juliano tinha 365 dias, com um dia extra a cada quatro anos, chamado de ano bissexto. O calendário Gregoriano foi criado para corrigir desajustes do calendário Juliano, introduzindo uma regra mais precisa para anos bissextos, eliminando três dias a cada 400 anos. Um exemplo disso é a data de nascimento de Newton: no calendário Juliano, é 25 de dezembro de 1642, enquanto no Gregoriano é 04 de janeiro de 1643.

Suas descobertas revolucionaram nossa compreensão do universo e estabeleceram as bases da Mecânica Clássica. Ao investigar o lançamento de projéteis, Newton desenvolveu sua teoria sobre o movimento dos corpos em um ambiente gravitacional. Ele relatou essas descobertas em sua obra "*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*" (vide **Figura 16**), ou seja, "Princípio Matemáticos da Filosofia Natural" na tradução para o português.



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

Autore Js. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Justu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Figura 16 – Primeira página do Principia publicado em 1687

Neste trabalho monumental, Newton introduziu suas três leis do movimento (Primeira Lei - *Princípio da Inércia*, Segunda Lei - *Princípio Fundamental da Dinâmica* e Terceira Lei – *Princípio da Ação e Reação*) e explicou como os corpos ao serem lançados se movem sob a influência da gravidade como apresentado na **Figura 17**.

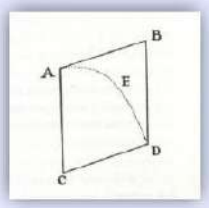


Figura 17 – na seção intitulada "de motu corporum", que significa "sobre o movimento dos corpos", que Newton trata sobre as trajetórias seguidas pelos projéteis quando arremessados no ar

É essencial ressaltar que Newton desenvolveu as relações matemáticas que elucidam os fenômenos físicos associados ao movimento de projéteis.

ATIVIDADE EM SALA 1.4

FOGOS DE ARTIFÍCIO E A FÍSICA

Observe a **Figura 18** e responda as perguntas abaixo:

Figura 18 - Fogos de artifício explodindo no céu

a) Em uma situação sem a presença do ar, qual seria a trajetória dos fragmentos?

_____

b) Qual seria a trajetória dos fragmentos de fogos de artifício caso não existisse gravidade?

_____

c) Qual(ais) diferença(s) obteríamos caso os fogos de artifício fossem na Lua?

_____

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

1.2 BREVE HISTÓRIA SOBRE OS FOGUETES ESPACIAIS

A história dos foguetes é uma jornada fascinante que remonta a séculos atrás e continua a evoluir até os dias de hoje. Desde os primeiros rudimentos de fogos de artifício na China antiga até as impressionantes missões espaciais que levaram o homem à Lua.

Nesta seção, vamos explorar uma breve história dos foguetes, desde seus primeiros registros históricos até os marcos mais significativos na conquista do espaço, destacando as descobertas, inovações e desafios enfrentados ao longo do caminho.

SÉCULO XIII

Os chineses aprimoraram a tecnologia dos foguetes, desenvolvendo fogos de artifícios mais complexos, que foram utilizados em flechas de fogo, como na **Figura 19**, para impulsioná-las a longas distâncias.

Figura 19 - Desenho de um soldado chines acendendo uma flecha-de-fogo

SÉCULO XIV

Os indianos empregaram foguetes em conflitos bélicos, enquanto os coreanos, em 1374, fabricaram pólvora para ser usada em canhões e foguetes, como os primeiros registros dessas aplicações datando de 1377.

SÉCULO XV

O engenheiro militar alemão, Konrad Kyeser (1366-1405), vide **Figura 20** detalha o uso de foguetes em operações militares no seu livro '*Belllifortis*', publicado por volta de 1405

Figura 20 - Retrato do Konrad presente em livro

SÉCULO XVI

O polímata italiano Leonardo da Vinci contribuiu para o desenvolvimento da aerodinâmica, ciência que estuda o movimento relativo entre o ar e corpos sólidos. Embora nunca tenha construído um foguete funcional, da Vinci desenvolveu protótipos dos primeiros helicópteros da história (ver **Figura 21**). Suas ideias influenciaram o desenvolvimento futuro da tecnologia de foguetes.

Figura 21 – Projeto do pai do helicóptero moderno desenhada por Da Vinci

VOCÊ SABIA...

que a palavra *foguete*, tem origem em 1379, quando o italiano chamado Muratori, usou a palavra "*rochetta*" para descrever as flechas propelidas por pólvora no período medieval? Além do mais, o termo italiano foi adotado em alemão em meados do século XVI escrito como *rackette*.

Em meados do século XVI, Conrad Haas, veja o selo em sua homenagem na **Figura 22**, conhecido como "mestre dos fogos", escreveu um livro que descreveria a *tecnologia* de foguetes que combinava fogos de artifício e tecnologias de armas.

Figura 22 - Selo em homenagem Conrad Haas

Haas foi precursor na categorização de foguetes, desde o de estágio único até aparelho com 2 a 3 estágios, sendo classificados como multiestágios, observe **Figura 23** abaixo.

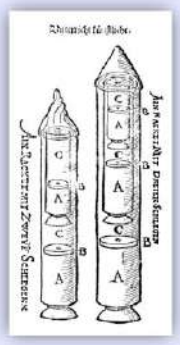


Figura 23 - Modelos de foguetes com 2 a 3 estágios proposto por Haas

SÉCULO XVII

O livro "Grande Arte da Artilharia, a Primeira Parte", também conhecido como "A Arte Completa da Artilharia", vide **Figura 24,** foi escrito pelo engenheiro militar e especialista em artilharia Kazimierz Siemienowicz.

Figura 24 - Contracapa do livro Artis Magnae Artilleriae pars prima de 1651

Este escrito foi utilizado como referência básica para departamento de artilharia. O livro forneceu os projetos padrão para criação de foguetes e outros dispositivos pirotécnicos. Há capítulos que abordam sobre produção, construção e propriedades de foguetes (para fins civis e militares) com um ou mais estágios, como apresentado na **Figura 25**.

Figura 25 – Protótipos de Siemienowicz

SÉCULO XVIII

Em 1792, foguetes *mysoreanos* foram utilizados contra as maiores forças da Companhia Britânica das Índias Orientais durante as guerras anglo-mysores (veja **Figura 26**).

VOCÊ SABIA...

que soldados mysoreanos pertenciam ao Reino de Mysore? Tal reino estava localizado na região sul da Índia, sendo fundado em 1399. A Mysore acabou se tornando independente no final do século XVI, atingindo o ponto mais alto de seu poderio militar no século XVIII.

Nestas guerras, os britânicos se interessaram por tal tecnologia e a desenvolveram, em larga escala, em meados do século XIX.

Figura 26 - Soldados britânicos sendo bombardeados por foguetes mysoreanos

SÉCULO XIX

Os livros de ficção científica de Júlio Verne e H. G. Wells foram precursores no tratamento de temas relacionados com viagens ao espaço. O livro de Júlio Verne, "Da Terra à Lua", publicado em 1865 (vide **Figura 27**), é um dos exemplos de literatura de ficção científica que influenciaram nas pesquisas acerca de transportes para exploração espacial.

Figura 27 - Da Terra à Lua de Júlio Verne

Utilize o QR-CODE para acessar a reportagem
"Como Júlio Verne inspirou a NASA"

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Figura 28 - Escritor francês e inventor do gênero de ficção científica, Jules Gabriel Verne

Figura 29 – "À Volta da Lua" foi publicado em 1870

Figura 30 - Escritor britânico H. G. Wells

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

O retrato de Jules Gabriel Verne é mostrado na **Figura 28.** Verne nasceu em 8 de fevereiro de 1828, em Nantes, na França – faleceu em 24 de março de 1905, em Amiens. Verne foi um prolífero autor francês cujos escritos lançaram as bases da ficção científica moderna. Suas obras, como "Da Terra à Lua" (na **Figura 27**, é apresentada a capa atual do livro), e "À Volta da Lua" (veja **Figura 29** ao lado), escritas no final do século XIX, descreviam viagens espaciais e exploração lunar. As descrições detalhadas de Verne sobre a construção de espaçonaves, o seu lançamento e os desafios enfrentados pelos astronautas ajudaram a popularizar a ideia de viagens interplanetárias e aguçaram a criatividade dos primeiros visionários e cientistas que trabalharam no desenvolvimento de tecnologias de foguetes. A **Figura 30** é a fotografia de Herbert George Wells. Wells nasceu em 21 de setembro de 1866, em Bromley, na Inglaterra, e faleceu em 13 de agosto de 1946, em Londres. Renomado romancista, jornalista, historiador e sociólogo inglês, é notoriamente reconhecido por seus proeminentes romances de ficção científica. Entre suas obras mais famosas estão "A Máquina do Tempo", publicado em 1895, e "A Guerra dos Mundos", lançada em 1898. A obra visionária de Wells, repleta de viagens espaciais e explorações interplanetárias, despertou a imaginação do físico R. Goddard. Em 1931, Goddard chegou a consultar Wells sobre a física por trás das viagens espaciais, demonstrando profundo respeito e admiração que ele tinha pelas ideias do escritor.

Os livros de Verne e Wells tiveram grande influência nas produções cinematográficas de ficção científica, sendo Georges Méliès o responsável por sua produção.

Figura 31 - Ilusionista e cineasta francês Georges Méliès

Figura 32 - Cena da nave pousando no olho da "Homem Lua"

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Marie George Jean Méliès, nasceu em 8 de dezembro de 1861 em Paris e faleceu em 21 de janeiro de 1938 em Paris. Méliès, veja **Figura 31**, iniciou sua carreira cinematográfica após assistir a uma demonstração do cinematógrafo (dispositivo utilizado para gravação e projeção de filmes) dos irmãos Lumierè em 1895. Fascinado pela apresentação, ele adquiriu um projetor e começou a fazer seus próprios filmes. Um dos importantes filmes produzido por Méliès e que influenciou o cinema da ficção científica foi Le Voyage dans la Lune (Viagem a Lua) em 1902. Este filme mudo, foi baseado nos livros de Júlio Verne (Da Terra à Lua) de H. G. Wells (O Primeiro Homem na Lua). É considerado o primeiro filme de ficção científica e por tratar de seres extraterrestes, usando recursos inovadores de animações e efeitos especiais, incluindo a famosa cena apresentada na **Figura 32**.

Assista ao filme "**Viagem a Lua**" no YouTube

VOCÊ SABIA...

que o filme "A Invenção de Hugo Cabret" (2011), dirigido por Martin Scorcese, tem como personagem principal o cineasta George Méliès? O filme conta a história de Hugo, um órfão que vive escondido na estação de trem de Paris nos anos de 1930. Hugo (**Figura 33**) cuida dos relógios da estação e tenta consertar um autômato deixado por seu falecido pai. Durante sua jornada, Hugo conhece Isabelle (**Figura 34**)e juntos descobrem a ligação entre o autômato (**Figura 35**) com o lendário cineasta Georges Méliès (**Figura 36**).

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Figura 33 - Hugo Cabret foi interpretado pelo ator Asa Butterfield

Figura 34 - Isabelle foi interpretado pela atriz Chloë Grace Moretz

Figura 35 - Hugo e Isabelle observando os escritos do autômato

Figura 36 - Hugo na companhia de Georges Méliès (Ben Kingsley)

TAREFA DE CASA 1.3

EXPLORANDO A HISTÓRIA DO CINEMA DE FICÇÃO CIENTÍFICA RELACIONADO COM A EXPLORAÇÃO DO ESPAÇO

SIGA AS INSTRUÇÕES ABAIXO

1ª) Procurar e anotar sobre a história desse tipo de cinema e identificar o primeiro filme que trata desse tema.

2ª) Levantar informações como título do filme, ano de lançamento, sinopse e qualquer curiosidade relevante sobre o filme.

3ª) Preparar uma breve apresentação para compartilhar suas descobertas com a turma.

4ª) Explicar por que escolheram o filme pesquisado e destacar pontos interessantes sobre ele.

OBSERVAÇÃO: faça seus registros em papel A4 sulfite ou de caderno e entregue ao professor depois de concluir sua apresentação.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

SÉCULO XX

Em 1903, o físico e professor do Ensino Médio, Konstantin Eduardovich Tsiolkovski, publicou Exploration of Cosmic Space by Means of Reaction Devices, sendo o primeiro trabalho científico acerca de viagens espaciais.

Figura 37 – Tsiolkovsky no ano de 1924

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Tsiolkovsky (**Figura 37**) nasceu em 17 de setembro de 1857 em Izhevskoye e faleceu em 19 de setembro de 1935 em Kaluga, ambas cidades russas. Tsiolkovsky foi um renomado cientista, pesquisador em aerodinâmica e astronáutica, pioneiro na pesquisa de foguetes espaciais e no uso de túneis de vento para estudos aerodinâmicos. Em 1924 publicou "Os foguetes na Espaço Cósmico" e estabeleceu contato com Goddard e Oberth, ambos cientistas peritos em viagens espaciais.

Assista ao vídeo **Konstantin Tsiolkovsky – The Deaf Teacher | Biopic** do canal **astris** no Youtube

VOCÊ SABIA...

que a expressão matemática de Tsiolkovsky, também chamada de equação do foguete,

$$\Delta v = v_e . \ln\left(\frac{m_i}{m_f}\right) \quad (1),$$

desempenhou papel fundamental no programa Sputnik? A equação **(1)** apresenta os seguintes termos: Δv – é a variação da velocidade do foguete; v_e – é a velocidade de ejeção dos gases; ln – é o logaritmo natural, ou também conhecido como neperiano. Este logaritmo possui base e (número Euler, número irracional que corresponde aproximadamente a 2,71828); m_i – é a massa total inicial do foguete; m_f – é a massa total final do foguete. Foi através deste programa Sputnik que, pela primeira vez, um homem foi lançado para o espaço em 1961.

Em 1912, Robert Charles Albert Esnault-Pelterie, publicou um artigo para Sociedade de Física da França e apresentou palestras sobre foguetes e viagens para fora do planeta Terra.

Figura 38 – Robert Esnault-Pelterie, projetis francês e teórico do voo espacial

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Robert Esnault-Pelterie, sua fotografia é apresentada na **Figura 38**, nasceu em 8 de novembro de 1881 em Paris e faleceu em 06 de dezembro de 1957 em Genebra. Engenheiro francês, Esnault-Pelterie foi um visionário espacial e projetista de aviões. Foi ele quem cunhou o termo "Astronáutica" em seu livro "*L'Astronautique*", publicado no ano de 1930 e foi um forte defensor da exploração espacial. Ele obtém, independentemente, a equação de Tsiolovsky e fez cálculos básicos de energia para viagens planetárias.

VOCÊ SABE...

o significado da palavra Astronáutica? Astronáutica, também conhecida como cosmonáutica, é o ramo da ciência e da tecnologia que se dedica ao estudo e à realização de viagens espaciais, tanto tripuladas (a Estação Espacial Internacional é exemplo de cooperação internacional em astronáutica, onde astronautas de diversos países vivem e realizam pesquisas científicas) quanto não tripuladas (satélites de comunicação são lançados para fornecer serviços de telecomunicações, como TV via satélite, telefonia e internet).

Em 1912, Robert Hutchings Goddard propôs que os foguetes espaciais deveriam utilizar combustíveis sólidos e sugeriu três alternativas para melhorar a eficácia de voo (câmara de combustão, estágios e velocidade de escape). Em 1921, Goddard propôs que combustíveis líquidos também poderiam ser usados como combustível para foguetes.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Figura 39 - Físico experimental estadunidense, Robert Goddard

Figura 40 - Goddard e o primeiro voo de foguete propelido a combustível líquido em 16/03/1926

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Robert Hutchings Goddard, apresentado na **Figura 39**, nasceu em 5 de outubro de 1882, Worcester, Massachusetts, EUA e faleceu em 10 de agosto de 1945, Batimore, Maryland, EUA. Em 1898, a imaginação do jovem Goddard foi inspirada pelo romance de ficção científica "A Guerra dos Mundos", de H. G. Wells, que estava sendo publicado em série no Boston Post. Em 1908, Goddard obteve seu doutorado na Clark University, lecionou física e conduziu experimentos com foguetes (sendo reconhecido atualmente como o pai dos foguetes modernos). Goddard foi o primeiro a desenvolver um motor de foguete utilizando combustíveis líquidos (oxigênio líquido e gasolina). Em 1919 é publicado seu artigo "Um Método para Alcançar Altitudes Extremas". Em 16 de março de 1926, ocorreu o primeiro voo mundial de um motor de foguete de propulsão líquida na fazenda de sua tia Effie, como mostrado na **Figura 40**, em Auburn, Massachusetts, conseguindo uma breve decolagem. Goddard, ao decolar seu modesto, porém sofisticado motor de foguete, posiciona seus modelos experimentais à frente dos pioneiros espaciais russos e alemães da época.

Utilize o QR-CODE para ter acesso ao vídeo: **"Dr. Robert Goddard experiments with rockets"** do canal **Cosmosphere** no YouTube.

Em 1923, Herman Oberth (veja sua fotografia na **Figura 41**) publicou sua obra intitulada "*Die Rakete zu den Planetenräumen*", que em português significa "*O Foguete no Espaço Planetário*". O livro,

financiado por Oberth, explicava matematicamente como os foguetes poderiam escapar da atração gravitacional do Terra, ganhando amplo reconhecimento científico.

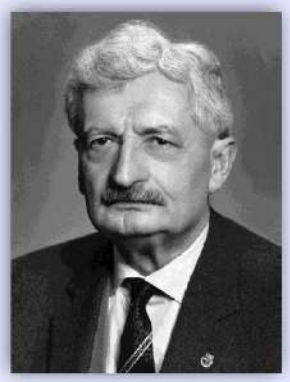


Figura 41 - Cientista alemão e pioneiro da moderna astronáutica

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Hermann Oberth nasceu em 25 de junho de 1894, em Nagyszeben, na Áustria-Hungria e faleceu em 29 de dezembro de 1989, em Nürnberg, Alemanha. Cientista alemão e um dos fundadores da Astronáutica Moderna. Oberth estudou medicina em Munique, mas a Primeira Grande Guerra Mundial interrompeu sua educação. Após ser ferido na guerra, Oberth dedicou-se à Astronáutica, realizando experimentos sobre ausência de peso e projetando um foguete de propelente líquido, porém, foi rejeitado pelo Ministério da Guerra. Oberth, pós-guerra, tentou obter seu doutorado na Universidade de Heidelberg, mas sua dissertação foi rejeitada.

Em 1927, a Opel Automobile GmbH, fabricante alemã de automóveis, iniciou pesquisas sobre veículos movidos a foguetes. Estes estudos foram liderados por Max Valier (vide **Figura 42**) e pelo engenheiro de foguetes, Friedrich Wilhelm Sander.

Figura 42 - Valier testando um carro foguete em abril de 1930

Na Alemanha em 1932, o Verein für Raumschiffahrt (Sociedade para Viagens Espaciais), que incluía membros como Hermann Oberth e Wernher von Braun, lançaram o foguete Mirak (vide **Figura 43**).

Figura 43 - Foguete Mirak foi utilizado como arma de guerra pelo exército alemão

O Mirak foi um dos primeiros foguetes experimentais movidos a combustível líquido desenvolvidos pela VfR, e seus testes contribuíram significativamente para o avanço da tecnologia de foguetes.

Em 12 de novembro de 1932, a *American Rocket (Interplanetary) Society* lançou seu primeiro foguete não tripulado, baseado no projeto da Sociedade Alemã de Foguete, mas este lançamento falhou.

Outros testes realizados pela
American Rocket (Interplanetary) Society – ARS rockets

Em 1943, a Alemanha começou a produzir em massa o *Aggregat 4*, ou simplesmente A-4, como o *Vergeltungswaffe 2*, Arma de Vingança 2, ou também chamado de V-2 (vide **Figura 44**).

VOCÊ SABE...

o que significa a palavra *Aggregat*? No idioma alemão significa Agregado ou Montagem, que foi a designação empregada para foguetes utilizados nos testes de novas tecnologias na área de desenvolvimento de foguetes com aplicações bélicas.

Figura 44 – Foguete A-4, conhecido mais tarde como V-2, antes do lançamento em Peenemünde

Na década de 1950, o R-7 Semyorka foi o primeiro míssil balístico intercontinental do mundo, tendo sido desenvolvido pela antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) durante a Guerra Fria. Um desses mísseis foi modificado, sendo chamado de Sputnik Rocket, contendo dois estágios e foi o responsável por lançar e colocar em órbita o primeiro satélite artificial Sputnik 1 em 4 de outubro de 1957.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

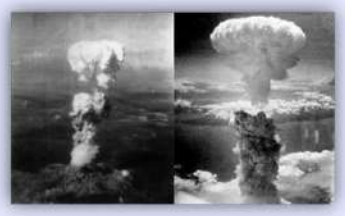


Figura 45 – Nuvem de cogumelo sobre Hiroshima (esquerda) e sobre Nagasaki (direita) em 06 e 09/09/1945. A queda das duas bombas nucleares deu início a guerra fria

Figura 46 - Comboio soviético posicionando mísseis próximo a San Cristobal, Cuba, em 14/10/1962

Figura 47 - Cidadão alemão tentando derrubar o muro de Berlim. A queda ocorreu em 09/10/1989

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

A Guerra Fria foi um período de tensão geopolítica entre os Estados Unidos da América (EUA) e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), e seus respectivos aliados, o Bloco Ocidental (aliados capitalistas) e o Bloco Oriental (sistema socialista). Esse período começou em 1945 (vide **Figura 45**) e durou até 1991, com a queda da União Soviética. O termo Guerra Fria é utilizado porque não houve combate bélico direto entre as duas superpotências, mas cada uma delas apoiou lados opostos em grandes conflitos regionais conhecidos como guerras por procuração. O conflito baseou-se na luta ideológica e geopolítica pela influência global por parte dessas duas superpotências. Além da corrida às armas nucleares e do destacamento militar convencional, a luta pelo domínio foi expressa de forma indireta, através de guerra psicológica, campanhas de propaganda, espionagem, embargos de grande alcance, diplomacia esportiva e competições tecnológicas, como a Corrida Espacial. Durante a Guerra Fria, ocorreram eventos marcantes como a Crise dos Mísseis em Cuba (veja **Figura 46**), em 1962, quando a descoberta de mísseis nucleares soviéticos em território cubano levou o mundo à beira de uma guerra nuclear. Outro evento significativo foi a queda do Muro de Berlim (**Figura 47**) em 1989, que simbolizou o fim da divisão ideológica e física entre o Leste e o Oeste europeu, marcando o início do colapso da URSS e o fim da Guerra Fria.

Assista ao vídeo **Fim da URSS**
do canal **Nerdologia** no YouTube

VOCÊ SABE...

o que significa corrida espacial? Corrida espacial é definida como uma competição entre nações para alcançar superioridade e tecnologia espacial. Ela durou aproximadamente de 1955 a 1975. Tal competição impulsionou grandes avanços na tecnologia de foguetes, como por exemplo:

- Desenvolvimento de foguetes (os soviéticos desenvolveram a série R-7 de foguetes, enquanto os americanos criaram a família Saturn).
- Sistemas de navegação e controle (melhoramento nos sistemas de navegação e controle de espaçonaves).
- Tecnologia de reentrada (desenvolvimento de escudos térmicos eficientes permitiu que cápsulas espaciais reentrassem na atmosfera terrestre sem se desintegrar, uma tecnologia crucial para o retorno seguro dos astronautas).
- Exploração lunar e científica (missões lunares, como a missão Apollo dos EUA, trouxeram enorme quantidade de dados científicos sobre a Lua, incluindo amostras de rochas lunares).
- Sondas e robôs espaciais (envios de sondas não tripuladas para outros planetas).

A corrida espacial não só avançou o conhecimento científico sobre o espaço, mas também impulsionou a inovação em diversas áreas da ciência e tecnologia, incluindo informática, telecomunicações. O legado dessa competição pode ser visto na cooperação espacial atual, como a Estação Espacial Internacional (ISS), onde várias nações, incluindo os antigos rivais, colaboram para a exploração contínua do espaço.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

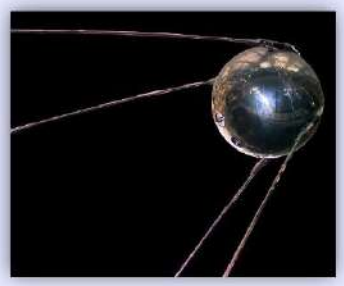


Figura 48 - Sonda Sputnik 1

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

O satélite Sputnik 1, como apresentado na **Figura 48**, foi o primeiro satélite artificial da Terra. Esta situação causou surpresa e preocupação nos EUA e no resto do mundo, levando a uma intensificação da corrida espacial. Porém, o Sputnik 1 forneceu dados importantes sobre a densidade da alta atmosfera e a propagação de ondas de rádio na ionosfera. O R-7 Semyorka foi o primeiro míssil balístico intercontinental (ICBM) desenvolvido pela URSS e serviu como veículo lançador do Sputnik 1. O R-7, em particular, evoluiu para a família de foguetes Soyuz, que ainda hoje é usada para transportar astronautas e cargas para a ISS.

Descrição completa sobre **Sputnik 1** no site oficial da **NASA**

Estimulada parcialmente pela Guerra Fria, a década de 1960 tornou-se a década de rápido desenvolvimento tecnológico acerca de foguetes, tanto na União Soviética (Vostok, Soyuz, Proton) e nos Estados Unidos da América (X-15. e X-20 Dyna Solar).

Em 12 de abril de 1961, a bordo da Vostok 1, Iuri Gagarin foi o primeiro cosmonauta soviético a viajar pelo espaço.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Figura 49 - Gagarin no ônibus a caminho da plataforma de lançamento em 1961

Figura 50 - Foguete Vostok-K em ascensão (esquerda) e a cápsula Vostok 1 antes e depois (direita)

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Iuri Alexeievitch Gagarin, vide **Figura 49**, nasceu em 9 de março de 1934, na vila de Klushino, perto de Gzhatsk, na URSS. Filho de carpinteiro e de ordenhadora, Gargarin demonstrou interesse em aviação, o que o levou a ingressar em escolas técnicas e de aviação. Ele se formou na escola técnica de Saratov e, posteriormente, na Escola de Pilotos de Aviação Militar de Orenburg, onde foi comissionado como tenente na Força Aérea Soviética. Em 1960, Gagarin foi selecionado para o treinamento de cosmonautas no recém-criado programa espacial soviético, destacando-se pela sua habilidade, inteligência e tranquilidade. A missão histórica de Gagarin, Vostok 1, foi lançada a partir do Cosmódromo de Baikonur, no Cazaquistão (veja **Figura 50**). O foguete responsável por levar Gagarin ao espaço foi Vostok-K, uma modificação do míssil balístico intercontinental R-7 Semyorka. A cápsula Vostok 1, onde Gagarin estava, foi projetada para uma única órbita terrestre.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Em 20 de julho de 1969, utilizando o foguete Saturno 5, o homem pisou na Lua durante a missão Apollo 11.

Figura 51 - Foguete Saturno 5 sendo carregado até seu local de lançamento

Figura 52 - Da esquerda para direita temos: Edwin E. Aldrin Jr, Neil Armstrong e Michael Collins

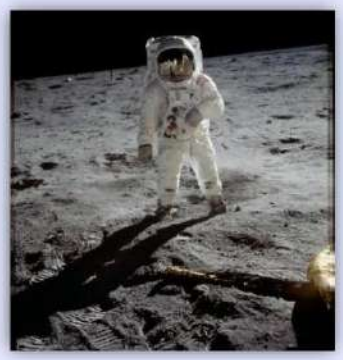


Figura 53 - Aldrin próximo do módulo lunar Eagle (à direita)

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Lançado em 16 de julho de 1969, no Centro Espacial Keneddy, na Flórida, a missão Apollo 11 utilizou o foguete Saturn V (Saturno 5) para chegar a Lua (veja **Figura 51**). A tripulação da Apollo 11, apresentada na **Figura 52**, era composta por três astronautas: Neil Armstrong, comandante da missão; Edwin "Buzz" Aldrin, piloto do módulo lunar; e Michael Collins, piloto do módulo de comando. Após uma viagem de aproximadamente três dias, a Apollo 11 entrou em órbita lunar. No dia 20 de julho de 1969, Armstrong e Aldrin desceram na superfície lunar a bordo do módulo lunar "Eagle", enquanto Collins permanecia em órbita lunar no módulo de comando "Columbia". Neil Armstrong foi o primeiro a descer do módulo lunar, pronunciando as famosas palavras: "Este é um pequeno passo para o homem, um grande salto para a humanidade". Logo depois, Aldrin se juntou a ele na superfície lunar (veja **Figura 53**). Os dois astronautas passaram cerca de duas horas e meia fora do módulo, coletando amostras de rochas e solo lunar, instalando instrumentos científicos e tirando fotos. Eles coletaram um total de 21,5 kg de material lunar para trazer de volta à Terra. Após cerca de 21 horas na superfície lunar, Armstrong e Aldrin retornaram ao módulo lunar, que então decolou para se encontrar com o módulo de comando em órbita lunar. A tripulação retornou à Terra, pousando no Oceano Pacífico em 24 de julho de 1969, onde foram recuperados pelo navio de resgate USS Hornet.

Galeria de fotos da missão **Apolo 11** no site oficial da **NASA**

Conheça mais sobre o **Programa Apollo** no site oficial da **NASA**

Na década de 1970, os EUA realizaram mais 5 pousos lunares antes de finalizar o programa Apollo em 1975.

Na década de 1980, os EUA desenvolveram tecnologias militares espaciais, que quase resultaram na militarização do espaço. Em 12 de abril de 1981, ocorreu o lançamento do ônibus espacial Columbia (veja **Figura 54**), missão STS-1 (Space Transportation System-1), no Cabo Kennedy.

Figura 54 - Decolagem do foguete Columbia

VOCÊ SABIA...

que a missão STS-1 foi pioneira no lançamento do ônibus espacial, sendo também a primeira a utilizar combustível sólido em um voo tripulado? O principal objetivo da missão era testar o novo veículo espacial, verificar os sistemas gerais do ônibus espacial, realizar a ascensão até entrar em órbita e retornar à Terra para uma aterrissagem segura. Todos os objetivos foram atingidos.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Figura 55 - Decolagem do foguete Challenger

Figura 56 - Atrás e da esquerda para direita: Onizuka, McAuliffe, Jarvis e Resnik. Na frente: Smith, Scobee e McNair.

Figura 57 - Momentos após a explosão do ônibus espacial Challenger

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Em 28 de janeiro de 1986, no Centro Espacial Kennedy, na Flórida, ocorreu o 25º voo do programa espacial norte-americano, realizado com a nave Challenger (vide **Figura 55**). A missão STS-51-L é conhecida pelo trágico acidente que resultou na destruição do veículo espacial e na perda de sua tripulação. Os objetivos da missão incluíam o lançamento do satélite de rastreamento e retransmissão de dados, a realização de experimentos SPARTAN-HALLEY destinados a observar o cometa Halley e a condução de aulas a bordo como parte do projeto "Teacher in Space". A tripulação da missão, vide a foto oficial da missão na Figura 56, era composta por sete membros: Francis R. Scobee (Comandante), Michael J. Smith (Piloto), Ronald McNair (Especialista de Missão), Ellison Onizuka (Especialista de Missão), Judith Resnik (Especialista de Missão), Gregory Jarvis (Especialista de Carga) e Christa McAuliffe (Especialista de Carga e Professora). Nos 73 segundos após o lançamento, o ônibus espacial Challenger explodiu (veja **Figura 57**). A causa imediata do acidente foi a falha de um dos anéis de vedação (O-ring) no segmento de acoplamento do foguete auxiliar direito, permitindo a fuga de gás quente pressurizado que provocou a ruptura do tanque externo de combustível. Após o acidente, foi criada a Comissão Rogers, oficialmente conhecida como a Comissão Presidencial sobre o Acidente do Ônibus Espacial Challenger. Presidida por William P. Rogers, a comissão incluía membros notáveis, como Neil Armstrong e o físico Richard Feynman. A investigação concluiu que a falha do O-ring foi exacerbada por baixas temperaturas no dia do lançamento e identificou problemas no processo de tomada de decisão da NASA.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Em 24 de abril de 1990, a partir do Centro Espacial Kennedy, na Flórida, o telescópio espacial Hubble foi lançado ao espaço pelo ônibus espacial Discovery na missão STS-31 (vide **Figura 58**).

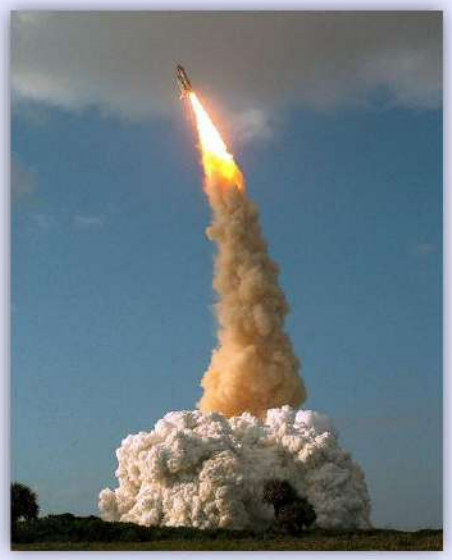


Figura 58 - Lançamento do Hubble a bordo da Discovery

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Figura 59 - Primeira manutenção do telescópio Hubble graças a missão SM-1 em dezembro de 1993

Figura 60 - Primeira imagem feita pelo Telescópio Espacial Hubble em 20/05/1990

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Os principais objetivos da missão eram colocar o telescópio espacial Hubble em órbita baixa da Terra para permitir a observação do universo em uma ampla gama de comprimentos de onda, sem a interferência da atmosfera terrestre. O Hubble foi projetado para fornecer imagens de alta resolução e dados espectroscópicos que revolucionariam nossa compreensão do universo, abrangendo áreas como a formação e evolução das estrelas, galáxias e a expansão do universo. Após o lançamento, foi descoberto que o Hubble tinha um problema significativo: a aberração esférica no espelho principal, que causava imagens borradas. Esse defeito foi resultado de um erro minúsculo na forma do espelho, que foi polido de maneira incorreta. Para corrigir essa falha, a NASA realizou a missão de serviço STS-61 em dezembro de 1993 (**Figura 59**). Durante essa missão, os astronautas instalaram o Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement (COSTAR) e a Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC2), que compensaram a aberração e restauraram a capacidade de imagem do Hubble. A primeira imagem capturada pelo Hubble, antes da correção, mostrou uma visão embaçada de uma estrela, evidenciando o problema de aberração esférica. Após a correção, o Hubble produziu imagens nítidas (veja **Figura 60**) e detalhadas do universo, começando uma era de descobertas astronômicas que continuam até hoje. Uma das primeiras imagens claras pós-reparação foi a da galáxia M100, que demonstrou a eficácia das correções e o potencial científico do telescópio.

Site oficial do **Telescópio Espacial Hubble**

VOCÊ SABIA...

que a primeira estação espacial a entrar em órbita foi a Salyut 1 (**Figura 63**)? Lançada em 19 de abril de 1971, a partir do Cosmódromo de Baikonur, no Cazaquistão. A estação foi projetada para estudar os efeitos da permanência prolongada no espaço sobre os seres humanos e para realizar observações astronômicas (**Figura 62**). A Salyut 1 foi colocada em órbita pelo foguete Proton-K (**Figura 61**), um veículo de lançamento pesado desenvolvido pela União Soviética.

Figura 61 - Foguete Proton-K foi quem transportou a Estação Espacial Salyut-1 em 19/04/1971

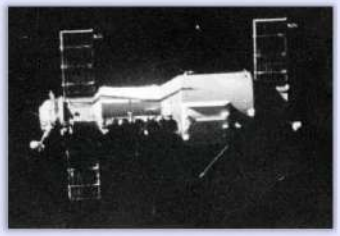


Figura 62 - Foto da Salyut 1 tirada pela tribulação da Soyuz 10 em 23/04/1971

Figura 63 - Salyut 1 em preparação para o seu lançamento

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Em 1998, iniciou-se a construção da Estação Espacial Internacional (International Space Station) em órbita terrestre, que foi concluída em 8 de julho de 2011 na missão STS-135, com o ônibus espacial Atlantis.

Figura 64 - Fotografia feita por um membro da tribulação da STS-132 a bordo do ônibus espacial Atlantis em 23/05/2010

Figura 65 - Tripulantes na ISS com o manuscrito original e o livro "da Terra à Lua" de Júlio Verne

Figura 66 - Fotografia do Kennedy Space Center feita em 20/05/2024

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

A Estação Espacial Internacional (ISS, na sigla em inglês), veja **Figura 64**, é um projeto conjunto envolvendo várias agências espaciais, incluindo a NASA (Estados Unidos), Roscosmos (Rússia), JAXA (Japão), ESA (Europa) e CSA (Canadá). A construção da ISS começou em 20 de novembro de 1998, com o lançamento do módulo Zarya, a partir do Cosmódromo de Baikonur, no Cazaquistão. Desde então, vários módulos e componentes adicionais foram lançados a partir de diversos locais, incluindo o Centro Espacial Kennedy (**Figura 66**), na Flórida, EUA. Diversos foguetes têm sido responsáveis pelos lançamentos dos módulos da ISS, incluindo o Space Shuttle da NASA, o Proton e Soyuz da Roscosmos, o H-IIA da JAXA, e o Ariane 5 da ESA. Os principais objetivos da ISS são: realizar pesquisas científicas em um ambiente de microgravidade, testar tecnologias necessárias para a exploração espacial de longo prazo que incluem futuras missões a Lua e Marte; promover a cooperação internacional (**Figura 65**) em ciência e tecnologia espacial e servir como observatório.

Assista ao vídeo **A História da Estação Espacial Internacional (ISS)** do canal **Nerdologia** no YouTube

SÉCULO XXI

A exploração espacial no século XXI tem sido marcada por avanços tecnológicos significativos, a expansão da participação privada, novas missões interplanetárias, e um renovado interesse em retornar à Lua e explorar Marte.

Uma das características mais notáveis da exploração espacial contemporânea é o crescente papel do setor privado. Empresas como SpaceX, Blue Origin, e Rocket Lab têm revolucionado a indústria espacial com inovações em lançamentos reutilizáveis, redução de custos, e novas abordagens para exploração e desenvolvimento espacial.

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Fundada por Elon Musk, a SpaceX tem sido pioneira em lançamentos reutilizáveis com seus foguetes Falcon 9 (**Figura 67**) e Falcon Heavy. A empresa também desenvolveu a cápsula Dragon, que já transportou carga e astronautas para a Estação Espacial Internacional (ISS). O desenvolvimento da Starship, um veículo totalmente reutilizável destinado a missões interplanetárias, está em andamento. Fundada por Jeff Bezos, a Blue Origin tem focado em desenvolver foguetes reutilizáveis, como o New Shepard (**Figura 68**) para voos suborbitais e o New Glenn para órbita terrestre. A empresa também está trabalhando no módulo lunar Blue Moon. Com sede na Nova Zelândia e nos EUA, a Rocket Lab tem se destacado por seus lançadores pequenos, como o Electron (**Figura 69**), focados em missões comerciais e científicas de menor porte.

Figura 67 - Lançamento do foguete Falcon 9 em maio de 2018

Figura 68 - Foguete New Shepard lançado em 19/05/2024

Figura 69 - Foguete Electron prestes a ser lançado

A Lua voltou a ser um foco importante na exploração espacial. O programa Artemis da NASA visa levar astronautas de volta à superfície lunar. A Artemis I (**Figura 70**), uma missão não tripulada, foi a primeira grande etapa, testando a nova espaçonave Orion e o foguete SLS (Space Launch System).

Confira a notícia publicada Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação sobre **as principais missões espaciais de 2024**

Figura 70 - Foguete Artemis-1 lançado em 16/10/2022

Parte do programa Artemis, a NASA está desenvolvendo a Lunar Gateway, uma estação espacial em órbita lunar que servirá como um ponto de apoio para missões à superfície lunar e futuras viagens a Marte.

Marte é um objetivo a longo prazo, com várias agências espaciais e empresas privadas planejando missões. A SpaceX, com seu projeto Starship (**Figura 71**), visa levar humanos a Marte na década de 2030. A NASA também está desenvolvendo tecnologias e missões que apoiarão futuras missões tripuladas ao planeta vermelho.

Figura 71 - Foguete Starship será o transporte responsável por levar humanos ao planeta vermelho

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

A pesquisa de planetas e satélites é apenas uma parte do trabalho importante na exploração espacial. Compreender a origem do universo é igualmente crucial. Nesse contexto, o Telescópio James Webb tem sido uma ferramenta indispensável.

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

O Telescópio Espacial James Webb (JWST), veja, **Figura 72**, um observatório desenvolvido pela NASA, ESA e CSA, foi planejado como o sucessor do Telescópio Espacial Hubble (HST). Lançado em 25 de dezembro de 2021, a bordo do foguete Ariane 5 (**Figura 73**), a partir de Kourou, na Guiana Francesa, o JWST possui um espelho de 6,5 metros de diâmetro, sete vezes maior que o do HST. Ele orbita o Sol em um padrão de Lissajous ao redor do segundo ponto de Lagrange, situado a cerca de 1,5 milhão de quilômetros da Terra, no lado noturno do planeta. Nomeado em homenagem a James Webb, administrador da NASA durante o programa Apollo de 1961 a 1968, o JWST é projetado principalmente para detectar luz infravermelha, permitindo a observação de fontes como as primeiras galáxias e protoestrelas que emitem radiação nesse comprimento de onda (**Figura 74**). Para protegê-lo da radiação térmica, o telescópio é equipado com um escudo solar de aproximadamente 150 metros quadrados. Como não há foguete grande o suficiente para transportar o JWST em seu estado totalmente desdobrado, tanto o escudo solar quanto o espelho foram lançados dobrados e somente desdobrados no espaço.

Figura 72 - Telescópio James Webb pronto para sua missão científica

Figura 73 – James Webb abordo Foguete Ariane 5

Figura 74 - Primeira imagem, publicada em 11/07/2022, feito pelo James Webb

Site oficial do **Telescópio Espacial James Webb**

A cooperação internacional continua sendo um pilar da exploração espacial. A Estação Espacial Internacional (ISS) permanece como um símbolo de colaboração global, com a participação de 15 nações. Parcerias internacionais também estão sendo formadas para futuras missões lunares e além, incluindo a colaboração entre a NASA e a ESA para o programa Artemis.

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

A Agência Espacial Europeia (ESA), estabelecida oficialmente em 30 de maio de 1975, foi o resultado da fusão de duas organizações predecessoras: a Organização Europeia para o Desenvolvimento de Lançadores (ELDO) e a Organização Europeia de Pesquisa Espacial (ESRO). A ELDO, criada em 1964, tinha como objetivo desenvolver lançadores espaciais, enquanto a ESRO, fundada em 1962, focava em missões científicas e no desenvolvimento de satélites. A ESA tem sua sede principal em Paris, França (**Figura 75**). Uma das primeiras missões científicas da ESA foi o satélite Cos-B, lançado em 9 de agosto de 1975. O Cos-B foi dedicado à observação de raios gama cósmicos, proporcionando dados valiosos sobre as fontes de radiação gama na galáxia. A missão durou até 1982, superando em muito a expectativa inicial de vida útil. A série de foguetes Ariane é uma das contribuições mais significativas da ESA para a exploração espacial. O Ariane 1 (**Figura 76**), lançado pela primeira vez em 24 de dezembro de 1979, foi o primeiro de uma longa linha de lançadores bem-sucedidos. Ele foi desenvolvido para fornecer à Europa uma capacidade independente de lançar satélites, especialmente para telecomunicações e observação da Terra. Outro marco importante foi o lançamento do Meteosat-1 em 23 de novembro de 1977. O Meteosat-1 foi o primeiro satélite meteorológico da Europa, inaugurando uma série de satélites que têm fornecido dados meteorológicos cruciais para previsões do tempo e monitoramento do clima global. Lançado em colaboração com a NASA e o Reino Unido, o IUE foi um observatório espacial focado na observação ultravioleta.

Figura 75 - Sede da European Space Agency (ESA) em Paris

Figura 76 - Modelo do foguete Ariane 1 em exposição no Museo do Ar ao Espaço na França

Site oficial do **ESA (Agência Espacial Europeia)**

A exploração espacial do século XXI está revolucionando nossa compreensão do universo, promovendo a cooperação internacional e impulsionando inovações tecnológicas. Missões ambiciosas estão desvendando os mistérios de planetas distantes, luas, asteroides e cometas, enquanto telescópios avançados, como o James Webb, estão revelando detalhes nunca vistos das profundezas do cosmos.

A crescente colaboração entre agências espaciais de diferentes países, como a NASA, ESA, Roscosmos (State Space Corporation), CNSA (China National Sapace Administration), e ISRO (Indian Space Research Organisation), está fortalecendo a união global e facilitando projetos conjuntos de grande envergadura.

Além disso, o envolvimento crescente do setor privado, está revolucionando a indústria espacial com tecnologias inovadoras e reduzindo os custos de acesso ao espaço.

Mais detalhes sobre a primeira missão tripulada do foguete espacial **Starliner**, da Boeing, destinada à Estação Espacial Internacional (ISS)

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

VOCÊ SABIA...

que atualmente está ocorrendo uma corrida espacial lunar? A corrida espacial à Lua tem ganhado novo impulso com a participação de várias nações, incluindo os Estados Unidos, China, Índia, Japão e Rússia. Cada um desses países está desenvolvendo programas ambiciosos para explorar, estudar e potencialmente colonizar o nosso satélite natural. Os Estados Unidos, através da NASA, estão liderando uma nova era de exploração lunar com o programa Artemis. O objetivo principal é retornar astronautas à Lua, estabelecer uma presença humana sustentável até o final da década de 2020, e utilizar a Lua como um trampolim para futuras missões a Marte.

Artemis I: Lançada em novembro de 2022, esta missão não tripulada testou o foguete Space Launch System (SLS) e a cápsula Orion em uma viagem ao redor da Lua.

Artemis II: Prevista para 2024, será a primeira missão tripulada que orbitará a Lua.

Artemis III: Planejada para 2025, tem como meta levar a primeira mulher e a próxima pessoa à superfície lunar, pousando no polo sul lunar.

A China tem feito avanços significativos em seu programa lunar através da Administração Espacial Nacional da China (CNSA). A série de missões Chang'e tem sido um sucesso, com destaque para:

Chang'e 4: Em 2019, tornou-se a primeira missão a pousar no lado oculto da Lua, levando um rover para explorar essa região inexplorada.

Chang'e 5: Em 2020, retornou amostras de solo lunar à Terra pela primeira vez em mais de 40 anos.

A China também planeja enviar astronautas à Lua por volta de 2030 e estabelecer uma base lunar até 2040.

A Organização de Pesquisa Espacial Indiana (ISRO) tem investido em missões lunares, demonstrando suas capacidades tecnológicas e científicas.

Chandrayaan-2: Lançada em 2019, apesar do módulo de pouso Vikram ter falhado na descida, a missão continua a orbitar a Lua, enviando dados valiosos.

Chandrayaan-3: Prevista para 2024, esta missão tem como objetivo tentar novamente um pouso lunar suave, corrigindo as falhas da missão anterior.

A Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) está envolvida em várias iniciativas lunares em colaboração com outras agências e empresas privadas.

SLIM (Smart Lander for Investigating Moon): Prevista para ser lançada em 2023, esta missão busca demonstrar tecnologias de pouso de precisão.

Artemis: JAXA está colaborando com a NASA no programa Artemis, contribuindo com componentes para a Gateway lunar e outras missões conjuntas.

A Rússia, com uma longa história de exploração espacial, também está renovando seus esforços para retornar à Lua através da Roscosmos.

Luna-25: Esperada para ser lançada em 2023, é uma missão de pouso lunar que visa estudar o solo lunar no polo sul.

Luna-27: Planejada para o futuro próximo, esta missão buscará estudar os recursos e a estrutura do regolito lunar.

Acessem a reportagem **Astronauta, Cosmonauta e Taikonauta: entenda a diferença entre esses termos** da plataforma Olhar Digital

Além do mais, o Brasil tem se destacado em pesquisas espaciais e no lançamento de foguetes. A principal agência espacial do Brasil é a Agência Espacial Brasileira (AEB).

A AEB, veja **Figura 77**, foi criada em 10 de fevereiro de 1994, pelo Decreto nº 1.332, durante o governo do presidente Itamar Franco. A sua criação representou a institucionalização dos esforços do Brasil em desenvolver uma política espacial de longo prazo.

Figura 77 - AEB está localizada no município de Alcântara, Maranhão

Antes da AEB, o Programa Espacial Brasileiro era coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), fundado em 1961, que ainda hoje desempenha um papel crucial nas atividades espaciais do país.

A AEB e o INPE (**Figura 78**) têm conduzido várias missões espaciais ao longo dos anos, com foco em satélites de sensoriamento remoto, meteorologia, comunicação etc.

Figura 78 - Entrada do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em São José dos Campos, São Paulo

Alguns exemplos de missões são:

- **Satélite de Coleta de Dados (SCD)**: O primeiro satélite brasileiro, o SCD-1 (veja **Figura 79**), foi lançado em 1993, seguido pelo SCD-2 (**Figura 80**) em 1998. Esses satélites são usados para coleta de dados ambientais e meteorológicos.

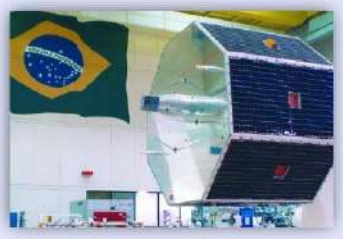


Figura 79 - SCD-1 foi o primeiro satélite brasileiro a realizar coleta de dado direto do espaço

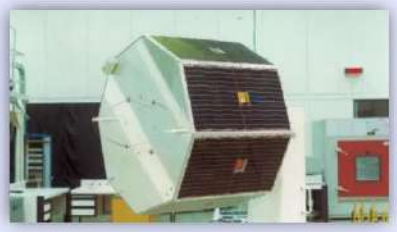


Figura 80 - Ilustração do satélite SCD-2 lançado pelo foguete Pegasus

- **Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite)**: Em parceria com a China, o Brasil lançou cinco satélites CBERS (**Figura 81**) entre 1999 e 2019. Esses satélites de sensoriamento remoto são usados para monitorar recursos naturais e o meio ambiente.

Figura 81 - Satélite CBERS-1 (China-Brazil Earth Resources Satellite, que em português se traduz como Satélite Sino-Brasileiro de Recurso Terrestres) sendo ajustado para seu lançamento

- **Amazonia-1**: Lançado em fevereiro de 2021, o Amazonia-1 (**Figura 82**) é o primeiro satélite de observação da Terra totalmente projetado, integrado, testado e operado pelo Brasil. Ele monitora o desmatamento na Amazônia e outros biomas brasileiros.

Figura 82 - Satélite Amazonia-1

A principal base de lançamento do Brasil é o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), localizado no Maranhão, próximo à linha do equador.

Satélites melhores e Alcântara: o que esperar do novo programa espacial brasileiro
publicado no site **Terra** em 25/07/2023

A localização equatorial oferece vantagens significativas para lançamentos espaciais, permitindo um maior impulso devido à rotação da Terra, o que economiza combustível. Inaugurado em 1983, o CLA (**Figura 83**) é utilizado para lançamentos de satélites e foguetes de sondagem. Recentemente, o Brasil tem firmado acordos para uso comercial da base, permitindo que outros países e empresas privadas lancem seus satélites a partir de Alcântara.

Figura 83 - Centro de Lançamento de Alcântara

Aponte sua câmera aqui e saiba mais sobre o **Acidente de Alcântara**

Outra base de lançamento está localizada no Rio Grande do Norte, o CLBI (**Figura 84**), Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, foi o primeiro centro de lançamento do Brasil, inaugurado em 1965. Ele é utilizado principalmente para lançamentos de foguetes de sondagem e apoio a atividades de rastreamento e telemetria.

Figura 84 - CLBI é uma base da Força Aérea Brasileira destinada a lançamento de foguetes

Neste capítulo, exploramos a fascinante trajetória dos foguetes espaciais, desde seus primórdios até as notáveis inovações do século XXI. Ilustramos a complexidade e a grandiosidade da exploração espacial, destacando como os foguetes, em todas as suas formas e evoluções, têm sido instrumentos essenciais para a humanidade na busca por conhecimento e inovação.

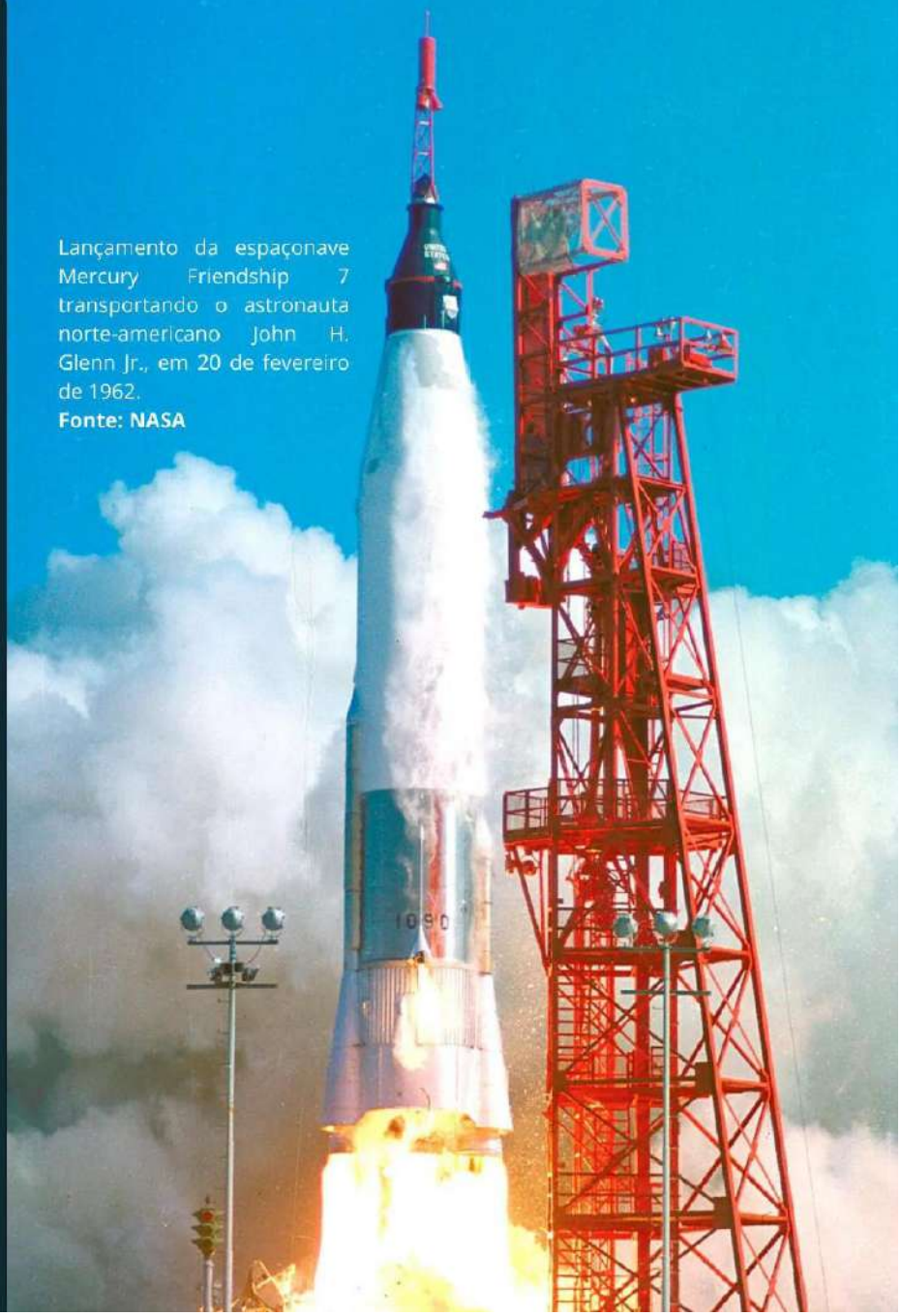
Ao concluir, reconhecemos que a saga dos foguetes espaciais está longe de terminar. Com cada novo lançamento, nos aproximamos mais de um futuro em que a presença humana no espaço se torna rotineira, e os frutos dessas jornadas cósmicas resultam em avanços tecnológicos, científicos e sociais significativos aqui na Terra.

No próximo capítulo iremos investigar e estudar o lançamento de projéteis quando não há resistência ao movimento.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

A FÍSICA POR TRÁS DO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS

CAPÍTULO 2



Lançamento da espaçonave Mercury Friendship 7 transportando o astronauta norte-americano John H. Glenn Jr., em 20 de fevereiro de 1962.
Fonte: NASA

ATIVIDADE EM SALA 2.1

MAPA MENTAL SOBRE VETORES

Esta atividade tem como objetivo verificar os seus conhecimentos prévios sobre VETORES.

RELEMBRANDO

Um mapa mental é uma representação gráfica que RELACIONA diferentes informações a um tema central.

SIGA OS PASSOS A SEGUIR:

✓ Escreva a palavra "VETORES" no centro da folha e desenhe um círculo ou outra forma ao redor para destacá-la.

✓ Pense no que você já sabe sobre vetores.

✓ Escreva palavras-chave, frases curtas ou desenhe ao redor do tópico central, conectando-os com linhas.

✓ Sugestão de divisão para subtemas principais:

- Definição;
- Componentes;
- Aplicações;
- Representação gráfica.

✓ Em cada subtema, adicione mais informações detalhadas, criando ramificações conforme necessário.

✓ Use diferentes cores para cada subtema ou nível de informação para tornar o mapa mais organizado e visualmente agradável.

✓ Olhe seu mapa mental e veja se há algo mais que você possa adicionar ou se há alguma informação que possa ser reorganizada para melhor clareza.

✓ Não se preocupe com perfeição! O importante é que o mapa mental faça sentido para você.

Faça aqui suas anotações

FOLHA PARA CONSTRUIR SEU MAPA MENTAL

2.1 DECOMPOSIÇÃO DE VETORES

Antes de tudo, você se lembra do que é um VETOR? Não? Então leia o box "**É HORA DE REVISAR!**" abaixo.

É HORA DE REVISAR!

Vetor é um elemento matemático usado para representar grandezas que possuem tanto intensidade quanto direção e sentido (orientação espacial). Um vetor é representado por um segmento de reta que aponta em uma determinada direção e tem um certo comprimento (associado à intensidade), veja a **Figura 85**. Suas características são:

- → Intensidade: também chamada de módulo ou comprimento, é a medida da extensão do vetor.
- → Direção: reta suporte do vetor. Portanto, para determinar a direção do vetor basta saber a direção da reta suporte.
- → Sentido: refere-se ao "lado" para o qual a seta está apontando. Para uma dada direção, há dois sentidos (para lá e para cá, por exemplo).

Em Física, existem grandezas com características vetoriais. Isso significa que, para defini-las, é preciso especificar tanto o seu módulo quanto a orientação espacial. Exemplos dessas grandezas vetoriais incluem deslocamento, velocidade, aceleração, força, entre outros.

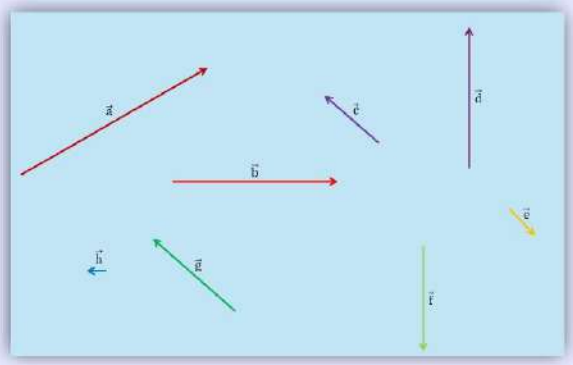


Figura 85 - Exemplos de vetores desenhados no plano da folha

Qualquer vetor pode ser "decomposto" em dois vetores componentes, mutuamente perpendiculares. Estes dois vetores são conhecidos como os componentes daquele vetor que eles são capazes de substituir (veja **Figura 86**).

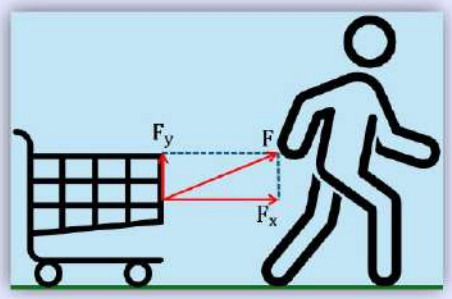


Figura 86 - A força **F** que uma pessoa aplica sobre um carrinho de supermercado possui uma componente horizontal, $\mathbf{F_x}$, e outra componente vertical, $\mathbf{F_y}$

O processo de determinação das componentes de um certo vetor é chamado de decomposição. A decomposição vetorial é ilustrada abaixo. Um $\vec{v}$ é desenhado na direção apropriada para representar uma grandeza vetorial. Então, o vetor $\vec{v}$ é posicionado de tal forma que sua origem coincida com a origem do sistema de referência, pois esse procedimento facilita a determinação das componentes do vetor, vide **Figura 87**. O referencial adotado será o plano cartesiano que é composto de dois eixos perpendiculares (x e y).

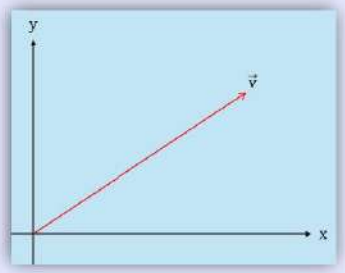


Figura 87 - O vetor $\vec{v}$ representado no sistema de coordenadas cartesianas

VOCÊ SABE...

a origem da palavra cartesiana? O termo "cartesiana" é derivado do nome latinizado de René Descartes, "Cartesius". A geometria cartesiana, também conhecida como geometria analítica, é um ramo da matemática que utiliza um sistema de coordenadas para estudar propriedades e relações de figuras geométricas. Este sistema de coordenadas é conhecido como Sistema de Coordenadas Cartesianas. Na geometria analítica, um problema geométrico é resolvido de maneira algébrica.

Figura 88 - Pintura de René Descartes pintada por Frans Hals em 1649

Figura 89 - Folha de rosto da primeira edição do livro Discurso do Método, escrito por Descartes (1637)

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

René Descartes (**Figura 88**), nascido em 31 de março de 1596 em La Haye em Touraine, França, e falecido em 11 de fevereiro de 1650 em Estocolmo, Suécia, foi uma figura central no desenvolvimento da filosofia moderna e da matemática. Sua cidade natal, La Haye, foi posteriormente renomeada para Descartes em sua homenagem, refletindo a profunda influência que ele teve não apenas na França, mas no mundo todo. Descartes é amplamente conhecido como o "pai da filosofia moderna" devido a sua abordagem inovadora e ao seu método de dúvida sistemática, que buscava estabelecer verdades indubitáveis como base para o conhecimento. Este método é exemplarmente apresentado em sua obra "Discurso do Método", vide **Figura 89**, em que ele escreve a famosa frase "*Cogito, ergo sum*" ("Penso, logo existo"). Além de suas contribuições filosóficas, Descartes também fez avanços significativos na matemática. Ele é o fundador da geometria analítica. Descartes também fez importantes contribuições à física. Em seu livro "Princípios da Filosofia", publicado em 1644, ele propôs a ideia de que o universo opera como uma máquina, regida por leis físicas compreensíveis. Ele desenvolveu teorias sobre a luz e a visão, detalhadas em seu trabalho "Dióptrica" (1637), onde explorou a natureza da reflexão e refração da luz.

Dando continuidade à explicação sobre decomposição de um vetor $\vec{v}$, desenha-se um retângulo em que $\vec{v}$ é a sua diagonal. Os lados desse retângulo são as componentes desejadas, ou seja, $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$. Veja o resultado na **Figura 90**.

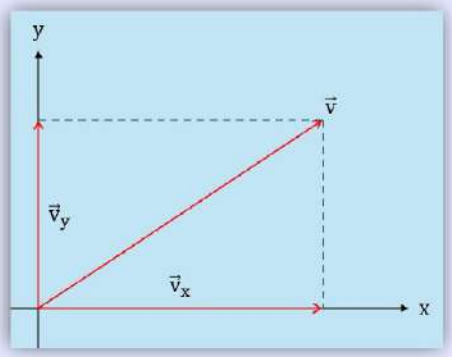


Figura 90 – Vetor $\vec{v}$ e suas componentes $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$

Agora iremos acrescentar um ângulo θ que o vetor $\vec{v}$ faz com o sentido positivo do eixo x (**Figura 91**).

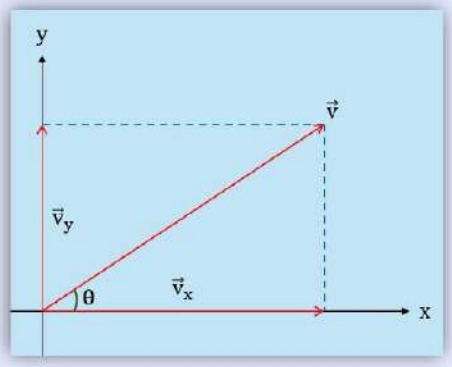


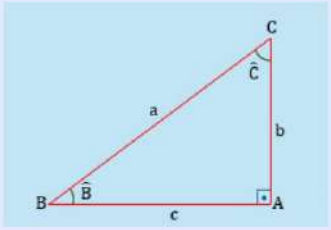
Figura 91 – Normalmente, o ângulo θ é medido no sentido anti-horário a partir do semieixo x positivo

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

TAREFA DE CASA 2.1

ESTUDO DIRIGIDO: RELAÇÕES TRIGONOMÉTRICAS E SUAS INVERSAS

Seja ABC um triângulo retângulo em $\hat{A}$.



Indicaremos pôr a o comprimento da hipotenusa (lado oposto ao ângulo $\hat{A}$), por b o cateto oposto ao ângulo $\hat{B}$ e por c o cateto oposto ao ângulo $\hat{C}$. Definiremos as seguintes relações trigonométricas e os ângulos agudos $\hat{B}$ e $\hat{C}$ do triângulo retângulo ABC.

Seno de um ângulo. O seno de um ângulo ($\hat{B}$ ou $\hat{C}$) é igual à medida do cateto oposto ao ângulo, divida pela medida da hipotenusa.

$$\text{seno de um ângulo} = \frac{\text{cateto oposto a esse ângulo}}{\text{hipotenusa}} \qquad (1)$$

Logo

$$\operatorname{sen}\hat{B} = \frac{\text{cateto op. a } \hat{B}}{\text{hipotenusa}} = \frac{b}{a} \qquad (2)$$

$$\operatorname{sen}\hat{C} = \frac{\text{cateto op. a } \hat{C}}{\text{hipotenusa}} = \frac{c}{a} \qquad (3)$$

Cosseno de um ângulo. O cosseno de um ângulo ($\hat{B}$ ou $\hat{C}$) é igual à razão da medida do cateto adjacente ao ângulo pela medida da hipotenusa.

$$\text{cosseno de um ângulo} = \frac{\text{cateto adjacente a esse ângulo}}{\text{hipotenusa}} \qquad (4)$$

Portanto

$$\cos \hat{B} = \frac{\text{cateto adj. a } \hat{B}}{\text{hipotenusa}} = \frac{c}{a} \quad (5)$$

$$\cos \hat{C} = \frac{\text{cateto adj. a } \hat{C}}{\text{hipotenusa}} = \frac{b}{a} \quad (6)$$

Tangente de um ângulo. A tangente de um ângulo ($\hat{B}$ ou $\hat{C}$) é igual à razão da medida do cateto oposto a esse ângulo pela medida do cateto que lhe é adjacente.

$$\text{tangente de um ângulo} = \frac{\text{cateto oposto ao ângulo}}{\text{cateto adjacente}} \quad (7)$$

Assim

$$\tan \hat{B} = \frac{\text{cateto op. a } \hat{B}}{\text{cateto adj. a } \hat{B}} = \frac{b}{c} \quad (8)$$

$$\tan \hat{C} = \frac{\text{cateto op. a } \hat{C}}{\text{cateto adj. a } \hat{C}} = \frac{c}{b} \quad (9)$$

As funções trigonométricas inversas são funções que "desfazem" as funções trigonométricas citadas anteriormente. Elas são usadas para encontrar o ângulo quando se conhece o valor da função trigonométrica. As três principais funções trigonométricas inversas são:

Arco seno (arcsen ou sen^{-1}) é a função inversa do seno. Portanto:

$$y = \text{sen}\,\hat{B} \rightarrow \hat{B} = \text{arcsen}(y) \quad (10)$$

Arco cosseno (arccos ou $\cos^{-1}$) é a função inversa do cosseno. Assim:

$$y = \cos \hat{B} \rightarrow \hat{B} = \arccos(y) \quad (11)$$

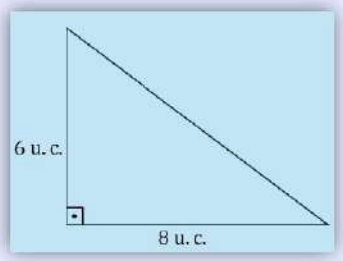
Arco tangente (arctan ou $\tan^{-1}$) é a função inversa da tangente. Logo:

$$y = \tan \hat{B} \rightarrow \hat{B} = \arctan(y) \quad (12)$$

ATIVIDADE EM SALA 2.2

TRIÂNGULO RETÂNGULO E RELAÇÕES TRIGONOMÉTRICAS

Observe o triângulo retângulo abaixo.



Observação: u. c. significa unidades de comprimento.

Admita que o cateto adjacente ao ângulo θ (letra grega minúscula) seja 8 u. c. e o cateto oposto ao ângulo θ igual a 6 u. c. Com essas informações, faça o que se pede:

a) Marque na figura acima onde está localizado o ângulo θ.

b) Determine a tangente do ângulo θ.

c) Determine o valor do ângulo θ utilizando o valor a função inversa arco tangente.

d) Sabendo que a soma dos ângulos internos é igual a 180°, proponha e descreva uma maneira de se determinar o valor do ângulo α (seus catetos adjacente e oposto têm 6 e 8 u. c., respectivamente).

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

Se o módulo v do vetor $\vec{v}$ e a sua direção, indicada pelo ângulo θ, forem conhecidos, é possível calcular o comprimento das componentes. Das definições trigonométricas, temos que:

$$\cos\theta = \frac{v_x}{v} \qquad (2)$$

$$v_x = v.\cos\theta \qquad (3)$$

e

$$\operatorname{sen}\theta = \frac{v_y}{v} \qquad (4)$$

$$v_y = v.\operatorname{sen}\theta \qquad (5)$$

Também é possível determinar o módulo v e o ângulo θ sabendo o módulo das componentes v_x e v_y.

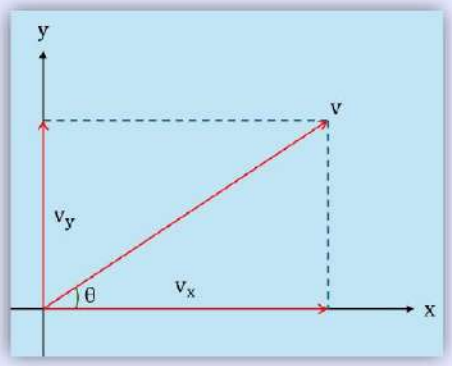


Figura 92 - Neste caso é apresentado o módulo das componentes e do vetor $\vec{v}$

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

TAREFA DE CASA 2.2
ESTUDO DIRIGIDO: TEOREMA DE PITÁGORAS

O teorema de Pitágoras é um resultado fundamental na geometria, que relaciona os comprimentos dos lados de um triângulo retângulo. Embora Pitágoras seja creditado com a formulação do teorema, é importante notar que evidências históricas sugerem que conhecimentos similares ao teorema de Pitágoras já existiam em outras culturas antigas antes de Pitágoras, incluindo os babilônios e os egípcios.

No presente caso, o teorema de Pitágoras será demonstrado pelo método geométrico. Este modelo é frequentemente empregado para ilustrar o Teorema de Pitágoras. Para tal, é necessário construir um triângulo retângulo com lados de comprimento 3, 4 e 5 e, em seguida, traçar quadrados em cada um desses lados (**Figura 93**).

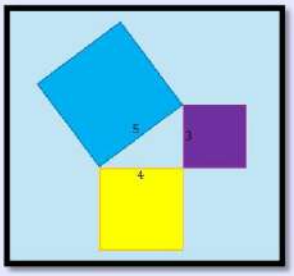


Figura 93 - Representação geométrica para demonstrar o Teorema de Pitágoras

Somando a área do quadrado amarelo ($4 \times 4 = 16$ unidades de área) com a área do quadrado roxo ($3 \times 3 = 9$ unidades de área), temos a área do quadrado azul ($5 \times 5 = 25$ unidades de área). Ou seja,

$$16 + 9 = 25\ (\mathbf{1}) \Longrightarrow 25 = 16 + 9\ (\mathbf{2})$$

Portanto

$$(5)^2 = (4)^2 + (3)^2 \qquad (\mathbf{3})$$

Veja o resultando na **Figura 94**.

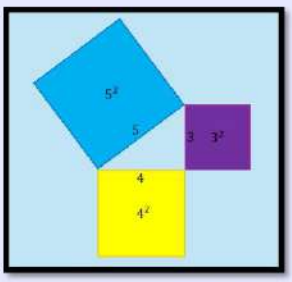


Figura 94 - A soma das áreas dos quadrados menores corresponde a área do quadrado maior

Portanto, podemos generalizar que em um triângulo retângulo, a área do quadrado formado a partir da hipotenusa equivale à soma das áreas dos quadrados formados a partir dos catetos. Matematicamente, é expresso da seguinte maneira:

$$c^2 = a^2 + b^2 \qquad (\mathbf{4})$$

O resultado da equação (4) é conhecido como teorema de Pitágoras.

ATIVIDADE EM SALA 2.3

MEDINDO A INCLINAÇÃO DAS RUAS

Faça a leitura do QR-code abaixo.

Inclinação de uma rua a partir de fotos: como fazer?
Créditos: CREF – Centro de Referência em Ensino de Física

Após a leitura do artigo e aplicando os seus conhecimentos, faça uma estimativa da inclinação da rua Baldwin (**Figura 95**).

Figura 95 - Casa na rua Baldwin, Nova Zelândia

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

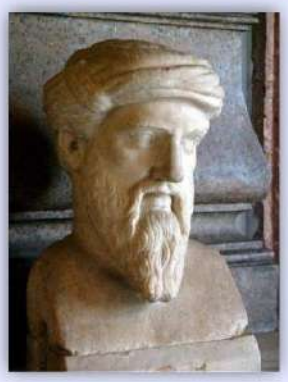


Figura 96 - Busto do Pitágoras

Figura 97 - Pitágoras retratado na pintura Escola de Atenas de Rafael Sanzio (1509)

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Pitágoras de Samos, vide **Figura 96**, nascido por volta de 570 a.C. na ilha de Samos, Grécia, e falecido aproximadamente em 495 a.C. em Metaponto, na Magna Grécia (atual Itália), foi um renomado filósofo e matemático grego, amplamente reconhecido como uma das figuras mais influentes da antiguidade. Sua vida e obra estão envoltas em um misto de fatos históricos e lendas, mas sua contribuição para a matemática e a filosofia é indiscutível. Além do teorema que o tornou célebre, Pitágoras (**Figura 97**) e seus seguidores fizeram descobertas significativas em diversas áreas da matemática e da ciência. Eles foram pioneiros na compreensão dos números irracionais, na teoria dos números e na música, estabelecendo a base da harmonia musical através da relação entre as frequências das notas musicais e as proporções matemáticas. Pitágoras também teve uma profunda influência na filosofia, onde é creditado com a ideia de que o universo é governado por princípios matemáticos e que a essência da realidade pode ser compreendida através dos números. Esta crença influenciou fortemente o desenvolvimento posterior da filosofia grega, especialmente Platão.

Agora que já recordamos o que é o teorema de Pitágoras, podemos aplicá-lo à **Figura 92**. Deste modo, temos que:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 \tag{6}$$

E pela definição de tangente de um ângulo e da sua função inversa, encontramos que:

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} \tag{7}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{v_y}{v_x}\right) \tag{8}$$

ATIVIDADE EM SALA 2.4

FÍSICA APLICADA NO LEG PRESS

O leg press é um equipamento, frequentemente encontrado nas academias de musculação, projetado para fortalecer os músculos das pernas, como apresentado na **Figura 98**.

Figura 98 - Representação de uma pessoa utilizando o leg press inclinado

Existem vários tipos de leg press, o apresentado na figura acima é o que tem inclinação de 45°. Note que a pessoa que está sentada na leg press empurra, com uma força F, a carga ao longo da rampa do equipamento. Simplificando a situação acima, podemos representá-la como na **Figura 99**.

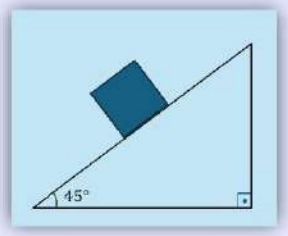


Figura 99 - Esquema, simplificado, do leg press 45°

O leg press é representado pelo plano inclinado (rampa) e a carga pelo bloco. Desprezando as forças de resistência ao movimento do bloco sobre a superfície, faça o que se pede:

a) Desenhe o sistema de referência cartesiano sobre o bloco, de tal maneira que o eixo x seja paralelo e o eixo y perpendicular à superfície inclinada.

b) Desenhe as forças normal $\vec{\mathrm{N}}$ e peso $\vec{\mathrm{P}}$.

c) Faça o desenho da decomposição da força peso em relação ao sistema de coordenadas adotado.

d) Determine os módulos das componentes $\mathrm{P_x}$ e $\mathrm{P_y}$.

e) Determine a intensidade a força

DIÁLOGO E INTERAÇÃO

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

2.2 INTRODUZINDO TRATAMENTO VETORIAL NO ESTUDO DA TRAJETÓRIA DE PROJÉTEIS: DECOMPOSIÇÃO DO VETOR VELOCIDADE INICIAL $\vec{v}_0$

Nesta seção iremos discutir as principais características na descrição do movimento dos projéteis lançados obliquamente (ângulo de lançamento, em relação ao chão, diferente de 0° e menor que 90°) próximo da superfície terrestre, usando a descrição vetorial discutida anteriormente.

VOCÊ SABIA QUE...

o termo projétil é usado para descrever qualquer objeto que segue uma trajetória definida pela força da gravidade e da força de arrasto (vinculada à resistência do ar), após receber uma velocidade inicial? Porém, um projétil pontual é conceituado como um ponto que não possui tamanho, forma ou volume.

A trajetória curvilínea de um projétil é o resultado de uma combinação de dois movimentos: movimento horizontal, com velocidade constante e movimento vertical, com aceleração constante (aceleração da gravidade g).

É HORA DE REVISAR!

Como vimos no Capítulo 1, Galileu Galileo foi o responsável pela descrição correta da trajetória no movimento dos projéteis. Os movimentos na direção x e y são independentes (princípio da independência dos movimentos), podendo ser analisados separadamente. Além do mais, ambos movimentos ocorrem ao mesmo tempo (princípio da simultaneidade dos movimentos).

A velocidade no instante $t = 0$ (instante em que o projétil é lançado) é $\vec{v}_0$ e faz um ângulo θ com o sentido positivo do eixo **Ox** (**Figura 100**).

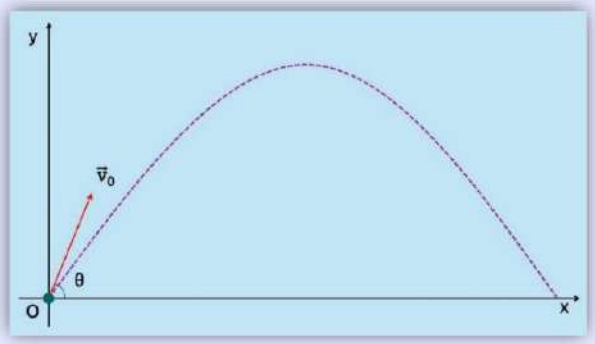


Figura 100 - Projétil (círculo azul) lançado obliquamente. O pontilhado roxo representa sua trajetória parabólica (ELABORADO PELO AUTOR)

Para analisar os movimentos nas direções **Ox** e **Oy**, será realizada a decomposição do vetor $\vec{v}_0$ (**Figura 101**).

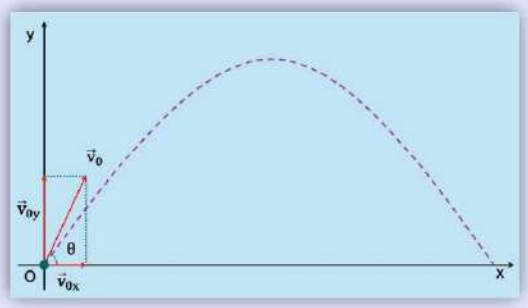


Figura 101 - Trajetória parabólica de um projétil, o vetor velocidade $\vec{v}_0$ e suas respectivas componentes, $\vec{v}_{0x}$ e $\vec{v}_{0y}$
(ELABORADO PELO AUTOR)

Os componentes de $\vec{v}_0$, em módulo, segundo os eixos **Ox** e **Oy** são

$$v_{0x} = v_0 . \cos\theta \qquad (1)$$

e

$$v_{0y} = v_0 . \operatorname{sen}\theta \qquad (2)$$

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

2.3 LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS SEM RESISTÊNCIA DO AR: CONSTRUINDO A EQUAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Como já mencionado, no lançamento oblíquo, o movimento parabólico será decomposto em duas direções perpendiculares: horizontal (eixo **Ox**) e vertical (eixo **Oy**).

A **Tabela 1** apresenta as características dos movimentos na vertical e horizontal.

Direção horizontal (paralela ao solo)	Direção vertical (perpendicular ao solo)
- É aquele que ocorre com velocidade constante (movimento uniforme), uma vez que, na ausência de resistência do ar, não há forças atuando na direção horizontal após o lançamento. - Nesta direção a trajetória é retilínea.	- É caracterizado por uma aceleração constante devido à força da gravidade, representada pela letra g. - À medida que o projétil sobe, a aceleração devido à gravidade reduz gradualmente sua velocidade vertical até que ela se torne zero no ponto mais alto da trajetória. - Após atingir este ponto, a mesma aceleração faz com que o projétil acelere para baixo, aumentando sua velocidade até que ele retorne ao solo. - Tanto na subida quanto na descida, o movimento é retilíneo uniformemente variado. Na subida, como a velocidade está diminuindo, o movimento é uniformemente desacelerado. Na descida com a velocidade está aumentando, o movimento é uniformemente acelerado.

Tabela 1 - Características dos movimentos na direção horizontal e vertical, veja **Figura 102**

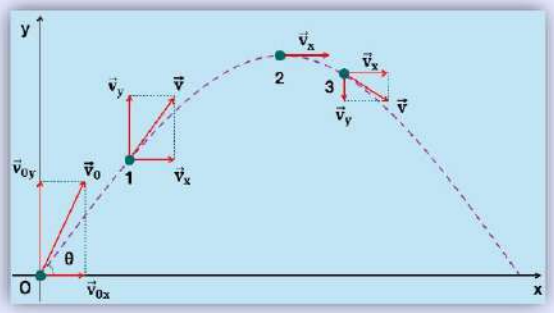


Figura 102 - Posição do projétil em quatro instantes de tempo distintos (PRÓPRIO AUTOR)

Iremos determinar as coordenadas da posição, x e y, do projétil em qualquer instante de tempo t. Na direção x, paralela ao solo, a posição horizontal x do projétil em um tempo t é descrita por

$$x = v_{0x}.t \qquad (3)$$

Substituindo (1) em (3), temos

$$x = v_0.\cos\theta.t \qquad (4)$$

A posição vertical y do projétil em um tempo t é descrita pela equação

$$y = v_{0y}.t - \frac{g}{2}.t^2 \qquad (5)$$

Substituindo (2) e (5)

$$y = v_0.\operatorname{sen}\theta.t - \frac{g}{2}.t^2 \qquad (6)$$

OBSERVAÇÃO

Note que o tempo t que aparece na equação (4), relacionada com o movimento na horizontal, é o mesmo tempo t que aparece na equação (6), relacionada com o movimento na vertical. Isso ocorre porque, de acordo com o princípio da simultaneidade, os dois movimentos ocorrem durante o mesmo tempo t.

Para se obter a equação da trajetória, serão combinadas as expressões dos movimentos horizontal e vertical. Primeiramente, quando se isola o instante de tempo t da equação (4), se obtém

$$t = \frac{x}{v_0.\cos\theta} \qquad (7)$$

Substituindo-se (7) em (6), temos

$$y = v_0.\operatorname{sen}\theta.\left(\frac{x}{v_0.\cos\theta}\right) - \frac{g}{2}.\left(\frac{x}{v_0.\cos\theta}\right)^2 \qquad (8)$$

Usando a definição de $\tan\theta$, podemos simplificar a equação acima

$$y = \tan\theta \,.\, x - \frac{g}{2(v_0 . \cos\theta)^2} . x^2 \qquad (9)$$

A expressão (9) relaciona a coordenada y com a coordenada x e é denominada equação da trajetória do projétil.

VOCÊ SABE...

que tipo de curva obtemos ao fazer o gráfico, y por x, utilizando a expressão (9)? Como v_0, θ e g são constantes, (9) é da forma

$$y = b.x - c.x^2 \qquad (10)$$

que é a equação da parábola. Portanto, a trajetória de um projétil é parabólica.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE EM SALA 2.5

OBTENDO TRAJETÓRIAS PARABÓLICAS COM EXCEL

Nesta atividade será utilizado o software Excel da Microsoft, ou semelhante, para gerar as trajetórias parabólicas, usando a equação (**9**) demonstrada anteriormente. Preste atenção nas etapas apresentadas pelo professor e responda o questionário abaixo:

QUESTIONÁRIO

1) Quais valores θ foram utilizados?

2) Ao comparar as distâncias percorridas na horizontal, para qual ângulo θ o alcance é máximo?

3) Ao comparar as distâncias percorridas na horizontal, para quais ângulos θ os alcances serão iguais?

4) Ao comparar as distâncias percorridas na vertical, para qual ângulo θ a altura foi máxima?

5) Ao comparar as distâncias percorridas na vertical, para qual ângulo θ a altura foi mínima?

6) Utilizando os gráficos que você gerou, é possível prever o que acontece com as componentes da velocidade no ponto mais alto da trajetória?

7) Por que em todos os casos a concavidade da trajetória está voltada para baixo?

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

2.4 O QUE É CENTRO DE MASSA (CM)?

O centro de massa de um objeto é um ponto especial, que tem um papel importante na descrição de seu movimento. Caso o objeto seja homogêneo, a posição de seu centro de massa coincide com o seu centro geométrico (**Figura 103**).

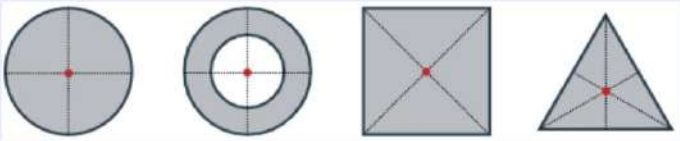


Figura 103 - Centro de massa para algumas formas geométricas simples

Porém, isso não ocorre quando o objeto é heterogêneo, ou seja, a distribuição de massa ao longo da sua estrutura não é a mesma. Além do mais, a localização do CM pode estar dentro ou fora do objeto, veja como indicado na **Figura 104** e na **Figura 105**.

Figura 104 - CM dentro de alguns objetos

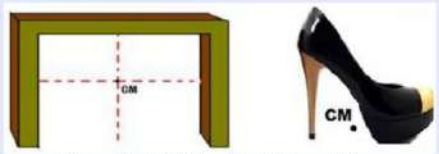


Figura 105 - CM localizado fora objetos

O CM é usado para simplificar o estudo de movimentos complexos realizados por corpos rígidos (corpos idealizados que não sofrem deformações) ou de sistemas de partículas. A trajetória do CM será discutida na próxima seção.

Artigo sobre **Estudo do centro de massa e estabilidade de quatro posturas básicas do Kung-fu Pak Hok** publicado na **Revista Brasileira de Ensino de Física**

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE EM SALA 2.5

LOCALIZANDO O CM

Siga as instruções:

- Utilize um pedaço de papelão, recorte em formato retangular (o comprimento dos lados é de sua escolha);
- Fure um dos cantos do retângulo com alfinete.
- Amarre um fio com contrapeso no alfinete.
-Trace uma linha no papelão paralela ao fio.
- Repita o procedimento em outa aresta do papelão.
- Marque a interseção das linhas.
- Desenho o resultado obtido.

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

TAREFA DE CASA 2.3

CENTRO DE GRAVIDADE (CG)

Pesquise e registre abaixo a definição do centro de gravidade de um objeto e qual a sua relação com centro de massa.

2.5 USANDO O CENTRO DE MASSA NA ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DE UM OBJETO

Vamos considerar um objeto lançado obliquamente nas proximidades da superfície terrestre, como o martelo da **Figura 106**. O centro de massa desse objeto está indicado pelo ponto em vermelho. Observe que a trajetória descrita pelo centro de massa é parabólica. Se você imaginar uma partícula com massa igual à do objeto, localizada no centro de massa, a trajetória descrita por esta partícula, sujeita à força peso, também será parabólica. Portanto, se você descrever o movimento dessa partícula, automaticamente, você descreverá o movimento do objeto. Ou seja, o conceito de centro de massa permite que as equações da cinemática de uma partícula sejam utilizadas na descrição do movimento de um objeto contínuo ou de um sistema discreto de partículas.

Figura 106 - Martelo arremessado obliquamente

Ao executar um salto em distância, conforme ilustrado na **Figura 107,** o atleta movimenta seus braços, pernas e cabeça, alterando consequentemente a posição do centro de massa do seu corpo. No entanto, mesmo com essas alterações, o CM descreve uma trajetória parabólica em relação à Terra.

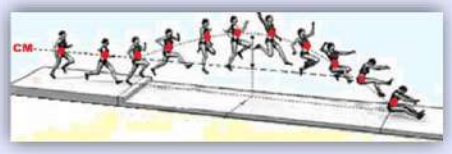


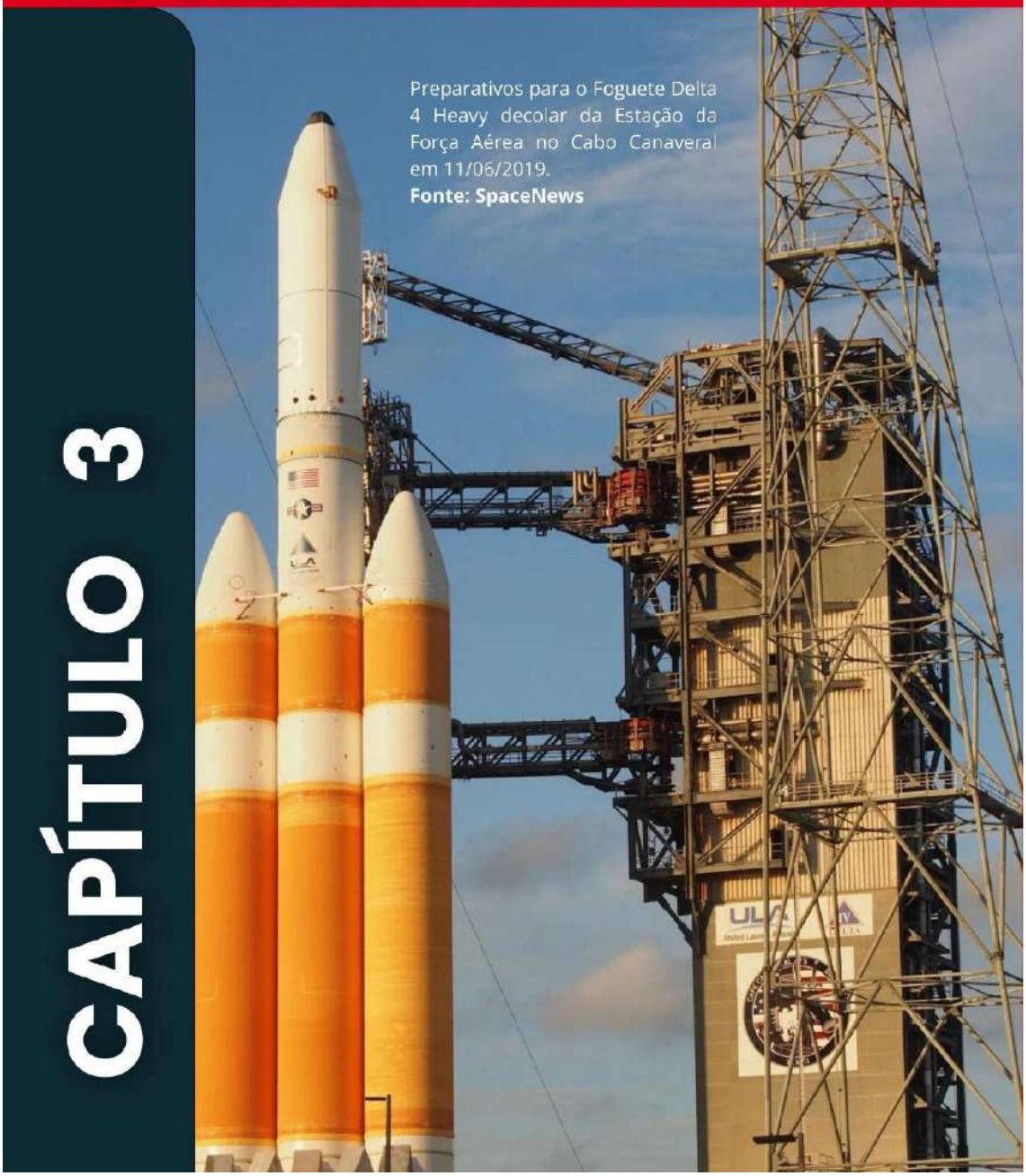
Figura 107 - Trajetória parabólica descreva pelo CM do atleta no salto em distância

O estudo da trajetória do centro de massa de corpos extensos permite simplificar a análise de movimentos complexos, prever comportamentos pós-colisão, otimizar designs para estabilidade e segurança, e melhorar o desempenho atlético.

No próximo capítulo, serão apresentados, dentre outros fatores, os elementos químicos responsáveis pelo lançamento do foguete de garrafa PET.

CAPÍTULO 3

PROPELENTE E MONTAGEM DO FOGUETE DE GARRAFA PET



Preparativos para o Foguete Delta 4 Heavy decolar da Estação da Força Aérea no Cabo Canaveral em 11/06/2019.
Fonte: SpaceNews

3.1 PRESSÃO E CENTRO DE PRESSÃO (CP)

Pressão é a medida da força exercida por unidade de área sobre uma superfície. Há dois tipos de pressão: a hidrostática e a hidrodinâmica. A **Tabela 1** apresenta características elementares das pressões citadas anteriormente.

Pressão	
Hidrostática	**Hidrodinâmica**
- É a pressão exercida por um fluido em equilíbrio sobre uma superfície imersa. Em um fluido em repouso, a pressão hidrostática aumenta com a profundidade devido ao peso da coluna de fluido acima da superfície. Exemplo: A pressão da água em um mergulhador submerso aumenta à medida que ele desce mais fundo no oceano.	- Refere-se à pressão exercida por um fluido em movimento. É determinada pela velocidade do fluido, densidade e como ele interage com superfícies sólidas. Exemplo: O fluxo de água em uma torneira cria pressão hidrodinâmica que pode ser ajustada para regular a vazão da água.

Tabela 1 - Características das pressões hidrostática e hidrodinâmica

Figura 108 - Retrato do matemático suíço Daniel Bernoulli

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Daniel Bernoulli (**Figura 108**), nascido em 08 de fevereiro de 1700, em Groningen, Países Baixos - falecido em 17 de março de 1782, na Basileia, Suíça. É considerado o mais ilustre da segunda geração da família Bernoulli de matemáticos suíços. Realizou estudos nas áreas de matemática, medicina, biologia, fisiologia, física, astronomia e oceanografia. O Teorema de Bernoulli foi publicado em sua obra Hidrodinâmica (**Figura 109**) em 1738. Tal Teorema expressa que num fluido ideal (sem viscosidade e atrito) em movimento, a energia que o fluido possui permanece constante ao longo de todo percurso.

Figura 109 - Folha de rosto do livro Hidrodinâmica escrito por Daniel

VOCÊ SABE...

o que são fluidos e quais suas características? Fluidos são substâncias com a habilidade de fluir e se deformar, o que ocorre devido à mobilidade das partículas que os constituem, as quais não possuem uma estrutura rígida como os sólidos. As características dos fluidos incluem:

1. Escoamento: os fluidos fluem e tomam a forma do recipiente que os contém.
2. Deformabilidade: eles se deformam sob ação de forças.
3. Coesão: as partículas dos fluidos possuem uma certa força de atração entre si.
4. Adesão: as partículas de um fluido têm a capacidade de aderir às paredes de um recipiente.
5. Densidade: eles possuem massa por unidade de volume.
6. Viscosidade: os fluidos apresentam resistência ao escoamento.
7. Compressibilidade: dependendo do tipo de fluido, eles podem ou não ser compressíveis.

Quando um fluido, como ar ou a água, exerce pressão sobre uma superfície, essa pressão varia em diferentes pontos. Portanto, o centro de pressão é o ponto hipotético onde a força aerodinâmica total causará o mesmo efeito que todas as pressões distribuídas. A **Tabela 2** abaixo apresenta algumas características fundamentais do CP.

Características	
Localização variável	**Interação com o CM**
A posição do centro de pressão depende da distribuição da pressão sobre a superfície, que pode mudar com a forma do corpo, a orientação e a velocidade do fluido.	Em um objeto submerso ou em movimento no ar, o centro de pressão nem sempre coincide com o centro de massa, o que pode causar rotações e influenciar na estabilidade do objeto

Tabela 2 - Características básicas do CP

Em uma asa de avião, o centro de pressão é crucial para determinar a estabilidade e o controle do voo. Pilotos e engenheiros precisam saber onde esse ponto está para garantir que o avião voe de maneira estável e segura (**Figura 110**).

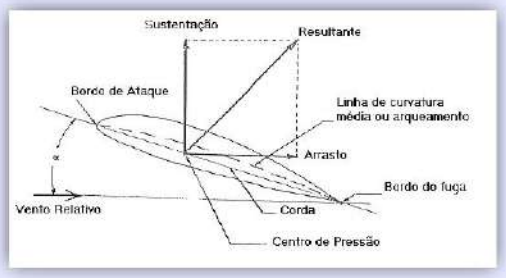


Figura 110 - A resultante das forças aerodinâmicas atua no centro de pressão da asa do avião

Em barcos e submarinos, o centro de pressão influencia a maneira como a água exerce forças sobre a estrutura. O design deve considerar o centro de pressão para garantir estabilidade e execução de manobras

Na construção de barragens, o centro de pressão da água contra a estrutura deve ser cuidadosamente calculado para garantir que a barragem possa suportar a força da água sem falhar.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

3.2 DENSIDADE, TEMPERATURA E A SUA RELAÇÃO

A densidade d é a relação entre a massa m e o volume V de um material, portando, a expressão matemática é

$$d = \frac{m}{V} \qquad (1)$$

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de densidade é o quilograma por metro cúbido, ou seja, kg/m^3. Faça a leitura do QR-code abaixo para conhecer outras unidades de medida de densidade e as suas equivalências.

Conversor de unidades – Convertendo medidas de densidade

A densidade também varia conforme a temperatura. Além do mais, mudanças na pressão em sistemas gasosos e composição química também afetam nas medidas de densidade. Por exemplo, quando a água se torna gelo a uma temperatura abaixo de 0 °C, a sua densidade fica menor do que no estado líquido, sendo 920 kg/m^3. A **Tabela 3** mostra as densidades de alguns materiais.

Sólidos	**Densidade (kg/m^3)**
Garrafa de refrigerante – PET (polietileno tereftalato)	1220 a 1400 (no nível do mar a 25 °C)
Gelo	919 (no nível do mar e a 0 °C)
Líquidos	
Água do mar	1025
Água	1000 (no nível do mar e a 4 °C)
Vinagre	1005,6
Gases	
Ar	1200 (no nível do mar a 20 °C)

Tabela 3 - Densidade de algumas substâncias e seus respectivos valores aproximados

A influência da temperatura na densidade está ligada ao movimento das partículas. Quando a temperatura de um objeto é aumentada, as partículas começam a se mover mais rapidamente, ampliando a distância média entre elas. Esta mudança na temperatura resulta na diminuição da

densidade devido ao crescimento do volume. Entretanto, quando a temperatura do objeto é reduzida, a velocidade das partículas diminui, conduzindo a uma redução na distância média entre elas. Este efeito de resfriamento leva a uma contração volumétrica e ao aumento da densidade (**Figura 111**).

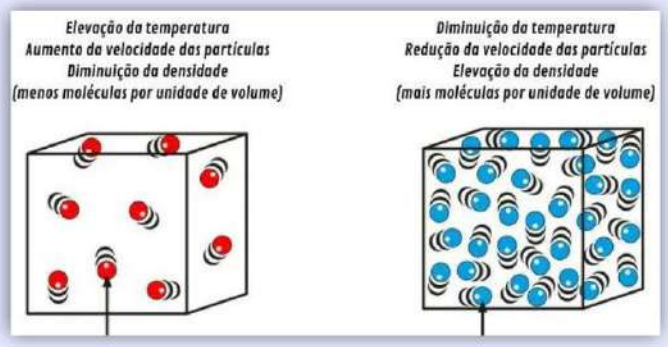


Figura 111 - Variações na densidade provocadas pela alteração na temperatura

VOCÊ SABIA...

certas substâncias ficam mais densas quando aquecidas? A água é um exemplo notável. Entre 0 °C e 4 °C, a água se contrai quando aquecida, aumentando sua densidade. Esse comportamento estranho é devido à estrutura molecular da água e às interações que ocorrem entre as moléculas.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE EM SALA 3.1

MEDINDO A DENSIDADE DOS OBJETOS

Faça a leitura QR-code

Assista ao vídeo **Medidas de Densidade** do canal **Física na Prática** no YouTube

Agora siga as etapas a seguir:

1. **Formação de Grupos**
   - Divida-se em grupos de 4 a 5 alunos.
   - Escolha o nome do grupo.
2. **Seleção dos Materiais**
   - Cada grupo escolhe um objeto para medir a densidade (metal, madeira, plástico etc.).
   - Liste os materiais e instrumentos que serão usados: balança de precisão, proveta, água, régua, calculadora, lápis etc.
3. **Medição da Massa**
   - Ligue a balança de precisão.
   - Coloque o objeto na balança e registre o valor da massa no caderno (NÃO SE ESQUEÇA DE ANOTAR A UNIDADE DE MEDIDA QUE APARECE NO VISOR DA BALANÇA).
4. **Medição do Volume**
   - Encha a proveta com uma quantidade conhecida de água (ex.: 50 mL) e anote o volume inicial.
   - Submerja o objeto na água e anote o novo volume.
   - Calcule o volume do objeto subtraindo o volume final do volume inicial.
5. **Cálculo da Densidade**
   - Use a equação da densidade para determinar a densidade do objeto;
   - Anote o resultado.
6. **Discussão em Grupo**
   - Compare os resultados da densidade dos diferentes objetos medidos pelos grupos.
   - Discuta: Quais materiais tem maior densidade? Como a densidade dos materiais influencia seu uso no cotidiano?
7. **Apresentação dos resultados**
   - Prepare uma breve apresentação para compartilhar seus resultados com a turma.

- Explique como vocês mediram a massa e o volume, e como calcularam a densidade.
- Discuta as descobertas e o que aprenderam sobre a densidade dos diferentes materiais.

8. **Reflexão final**
    - Cada grupo deve escrever uma breve reflexão sobre: O que aprendemos com a atividade? Como a colaboração no grupo ajudou na compreensão do conceito de densidade? Quais dificuldades encontraram e como as superaram?

Após a apresentação dos resultados, participe da discussão final com a turma, refletindo sobre a importância da densidade em diferentes contextos e como a prática colaborativa e a mediação o ajudaram!

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

3.3 SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL

Em um sistema de massa variável, a massa total não é constante, mas sim muda ao longo do tempo. Isso acontece quando a massa é adicionada ou removida do sistema. No caso do foguete (**Figura 112**), a massa diminui à medida que o combustível é queimado e expelido na forma de gases quentes.

Figura 112 - Lançamento do foguete Ariane 6 do espaçoporto em Kourou, na Guiana Francesa, no dia 09/07/2024

Mas como essa mudança de massa impacta no movimento do foguete? É aí que entra a lei da conservação do momento linear, tal princípio fundamental afirma que o momento linear total de um sistema isolado (sem forças externas atuando) permanece constante.

VOCÊ SABE...

quais são os princípios de conservação fundamentais da Física? A Física, como um mapa para o universo, nos presenteia com princípios fundamentais que regem o comportamento da matéria e da energia. Entre esses pilares do conhecimento científico, destacam-se os seguintes princípios de conservação: energia, massa, momento linear, momento angular e carga elétrica.

Faça a leitura do QR-code acima para conhecer mais sobre **leis de conservação**

Em outras palavras, o momento linear do sistema como um todo não pode ser criado ou destruído, apenas transferido entre suas partes. No foguete, a massa dos gases expelidos transfere seu momento linear para o restante do foguete, acelerando-o em sentido oposto.

Os sistemas de massa variável não se limitam aos foguetes espaciais. Diversos outros dispositivos os utilizam para gerar movimento, como motores a jato que funcionam de forma similar aos foguetes, utilizando combustão de gases para impulsionar aeronaves (**Figura 113**).

Figura 113 - Teste estático do motor turbofan Pratt & Whitney F100, usado no F-15 Eagle

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

3.4 O QUE É REAÇÃO QUÍMICA

É o processo, também conhecido como fenômeno químico, em que ocorre a transformação de uma ou mais substâncias, se convertendo em outras, portanto mudando suas propriedades.

VOCÊ SABE...

a diferença entre fenômenos químicos e físicos? Fenômenos químicos são caracterizados pela formação de novas substâncias (variando a natureza da matéria, ou seja, ocorre alterações em sua composição).
Exemplos: prego enferrujando, digestão de alimentos, queima da gasolina dentro do motor etc.
Já os fenômenos físicos causam transformações na matéria sem produzir alterações na sua composição.
Exemplos: papel amassado, taça de vidro quebrada, cubo de gelo derretendo etc.

As reações químicas podem ser representadas por equações químicas, nas quais são mostrados os reagentes (substâncias químicas usadas nas reações) envolvidos no processo e os produtos que serão formados por meio da reação. Ou seja

$$\text{REAGENTE (INÍCIO)} \rightarrow \text{PRODUTO (FIM)} \qquad (1)$$

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

Além do mais, as reações podem envolver a quebra de ligações entre átomos e moléculas (reações de decomposição) ou a formação de novas ligações entre os átomos a fim de criar moléculas (reações de síntese).

Essas reações são regidas pelas leis ponderais, ou seja, leis experimentais que regem as reações químicas em geral e relacionam as massas dos componentes dessas reações. As leis ponderais surgiram em meados do século XVIII. Tais leis são conhecidas como: conservação das massas (lei de Lavoisier), proporções constantes e definidas (lei de Proust) e proporções múltiplas (lei de Dalton).

Figura 114 - Retrato de Antoine Lavoisier

Figura 115 - Químico francês Joseph Proust

Figura 116 - John Dalton, cientista britânico

SENTA QUE LÁ VEM HISTÓRIA!

Antoine-Laurent de Lavoisier (**Figura 114**) nasceu em Paris em 26 de agosto de 1743 e faleceu em Paris em 8 maio de 1794. Nobre e químico francês fundamental na revolução química no século XVIII. Ele é considerado "o pai da química moderna" e foi eleito membro da Royal Society em 1788. Joseph Louis Proust (**Figura 115**) nasceu em 26 de setembro de 1754 – faleceu em 5 de julho de 1826. Seu pai atuou como boticário (dono de estabelecimento onde se preparam ou se vendem medicamentos) em Angers (cidade francesa a sudoeste de Paris). Joseph estudou química na loja do seu pai. John Dalton (**Figura 116**) nasceu 5 ou 6 de setembro de 1766 – faleceu em 27 de julho de 1844. Químico, físico e meteorologista inglês. Ele abordou a teoria atômica na química e sobre o daltonismo (dificuldade que o indivíduo apresenta ao distinguir a cor verde da vermelha).

Assista ao vídeo **Lei da Conservação das Massas – o resultado das reações**
do canal **O incrível Pontinho Azul** no YouTube

As reações químicas são importantes na produção de materiais, na geração de energia, na indústria alimentícia, nos processos biológicos, no meio ambiente e na medicina.

Assista ao vídeo **As 100 Maiores Descoberta da Química Dublado – Documentário Completo**
do canal **Aula de Química com Prof. Alex Dias** no YouTube

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

3.5 BALANCEAMENTO QUÍMICO

É uma técnica empregada para ajustar uma equação química para que ela represente, com precisão, a realidade do que acontece em uma reação química.

O objetivo principal é garantir que o número de átomos de cada elemento seja o mesmo tanto nos reagentes quanto nos produtos. Isso significa que, durante a transformação química, os átomos não são criados ou destruídos, apenas rearranjados em novas combinações.

O balanceamento garante quantidades precisas de cada substância, otimizando processos químicos.

Vamos utilizar como exemplo a combustão completa do metano ($\mathbf{CH_4}$). Na combustão do metano, ele reage com oxigênio para formar gás carbônico (CO_2) e vapor d'água (H_2O). A combustão do metano é do tipo exotérmica (ocorre a liberação de energia na forma de calor).

A equação química não balanceada é:

$$CH_{4(g)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(g)} \qquad (1)$$

Observação: na equação (1), o índice g indica que a substância está no estado gasoso.

Para balancear a equação, siga os seguintes passos:

1. Contar os átomos de cada elemento

Contamos o número de átomos de cada elemento em ambos os lados da equação:

Reagentes	Produtos
C: 1 átomo	C: 1 átomo
H: 4 átomos	H: 2 átomos
O: 2 átomos	O: 3 átomos

2. Balancear os átomos de carbono

O carbono já está balanceado com 1 átomo em cada lado da equação.

3. Balancear os átomos de hidrogênio

Nos reagentes, temos 4 átomos de hidrogênio e nos produtos, temos 2. É necessário balancear a equação da seguinte forma:

$$CH_{4(g)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + \mathbf{2}H_2O_{(g)} \qquad (2)$$

Agora temos:

Reagentes	Produtos
C: 1 átomo	C: 1 átomo
H: 4 átomos	H: 4 átomos
O: 2 átomos	O: 4 átomos

4. Balancear os átomos de oxigênio

Nos reagentes, temos 2 átomos de oxigênio e nos produtos, temos 4. Ajustando a quantidade de oxigênio da seguinte forma:

$$CH_{4(g)} + \mathbf{2}O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + \mathbf{2}H_2O_{(g)} \quad (3)$$

Ao refazer a contagem:

Reagentes	Produtos
C: 1 átomo	C: 1 átomo
H: 4 átomos	H: 4 átomos
O: 4 átomos	O: 4 átomos

É verificado que todos os átomos estão balanceados. Portanto, a equação balanceada da combustão completa do metano é:

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)} \quad (4)$$

TAREFA DE CASA 3.1

FORMAÇÃO DA AMÔNIA

Faça o balanceamento químico da equação abaixo que é referente a síntese da amônia

$$N_{2(g)} + H_{2(g)} \rightarrow NH_{3(g)}$$

3.6 REAÇÃO ENTRE VINAGRE 4% M/V DE ÁCIDO ACÉTICO E BICARBONATO DE SÓDIO

Bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) ou hidrogeno carbonato de sódio, é um pó branco (**Figura 117**) que por aquecimento perde gás carbônico (CO_2). O gás carbônico é utilizado em bebidas refrigerantes, fermentos químicos, em extintores de incêndio e nos antiácidos estomacais.

Figura 117 - Sal de bicarbonato de sódio

Ácido acético ou ácido etanoico ($C_2H_4O_2$ ou CH_3COOH) é um líquido claro, viscoso, de cheiro intenso e solúvel em água, presente nos vinagres (**Figura 118**).

Figura 118 - Ácido acético está presente em vinagres alimentícios nas mais diversas concentrações

A maioria dos vinagres contém 4 a 6% m/V de ácido expresso como ácido acético, que é a concentração recomendada para uso alimentar.

VOCÊ SABE...

o que significa 4% m/V presente nos rótulos de vinagre? Isso quer dizer que há 4 gramas (g) de soluto (ácido acético) dissolvidos em 100 mililitros (mL) da solução (100%) de vinagre. Está é uma forma de expressar a concentração de uma solução.

Colocando em contato as duas substâncias, o ácido acético do vinagre com bicarbonato de sódio, ocorre a formação dos seguintes compostos: dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e acetato de sódio ($C_2H_3O_2Na$).

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

3.7 EQUAÇÃO DE REAÇÃO ENTRE VINAGRE 4% M/V DE ÁCIDO ACÉTICO E BICARBONATO DE SÓDIO

A equação química é

$$C_2H_4O_{2(aq)} + NaHCO_{3(s)} \rightarrow C_2H_3O_2Na_{(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} \qquad (1)$$

Fazendo a contagem de átomos de cada elemento, temos

Reagentes	Produtos
C: 3 átomos	C: 3 átomos
H: 5 átomos	H: 5 átomos
O: 5 átomos	O: 5 átomos
Na:1 átomo	Na: 1 átomo

A equação (1) já está balanceada, portanto não precisamos alterar as quantidades de substâncias nos lados esquerdo e direito desta equação.

ATIVIDADE EM SALA 3.2

DETERMINANDO A MASSA MOLAR DOS COMPOSTOS

Pesquisar sobre a massa molar dos átomos abaixo e preencher a tabela abaixo.

Átomo	Massa molar (g/mol)
Hidrogênio	
Oxigênio	
Carbono	
Sódio	

Utilizando os valores registrados na tabela acima, determine:

a) massa molar do $C_2H_4O_2$ e $NaHCO_3$

c) massa molar total dos reagentes

d) massa molar do $C_2H_3O_2Na$, H_2O e CO_2

e) massa molar total dos produtos

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

TAREFA DE CASA 3.2

PESQUISA SOBRE CLAPEYRON E A EQUAÇÃO DE ESTADO DOS GASES IDEIAS

Pesquise e registre com suas palavras sobre:

a) O químico e físico francês Benôit Paul-Emile Clapeyron.

b) Do que trata a equação de Clapeyron e quais grandezas aparecem nesta equação.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE EM SALA 3.3

DETERMINANDO O NÚMERO DE MOLS DE UM GÁS IDEAL

Admita que CO_2, produzido na reação entre bicarbonato de sódio e o ácido acético do vinagre, pode ser tratado como um gás ideal. O objetivo a ser alcançado é que o dióxido de carbono apresente as seguintes características:

Pressão	100 psi
Volume	1500 mL
Constante Universal dos Gases	0,082 atm. L/(mol. K)
Temperatura	25 °C

Portanto:

a) Converta psi para atm.

b) Converta mL para L.

c) Transforme °C para K.

d) Usando a equação de Clapeyron, determine o número de moles de CO_2

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

TAREFA DE CASA 3.3

DETERMINANDO MASSAS E VOLUMES DE COMPOSTOS QUÍMICOS

Na atividade anterior foi determinado o número de moles de dióxido de carbono para certas condições. Determine:

a) a massa de CO_2 em gramas.

b) a massa de $NaHCO_3$ em gramas.

c) a massa de $C_2H_4O_2$ em gramas.

d) o volume de $C_2H_4O_2$ em mL.

OBSERVAÇÃO: pesquise o valor da densidade do ácido acético.

e) o volume em mL do vinagre necessário.

3.8 CONSTRUÇÃO DO FOGUETE

Nesta seção serão descritos uma sugestão para a construção do foguete de garrafa PET e os materiais a serem utilizados. Esta sugestão foi baseada no regulamento da Mostra Brasileira de Foguetes.

MATERIAIS

- Duas garrafas PET retornáveis ou não;
- Uma tampinha de garrafa PET;
- Pasta plástica escolar;
- Balões de aniversário;
- Tesoura ou estilete;
- Fita adesiva.

PROCEDIMENTO

- Escolha duas garrafas semelhantes, sendo que seus volumes podem ser de 1,5 ou 2,0 L, com o mínimo de ondulações possível.

BICO DO FOGUETE

- Corte uma das garrafas a 15 centímetros do bocal. Esta parte será o bico do foguete (**Figura 119**).

Figura 119 - Corte para construir o bico do foguete

- Encha um balão com, aproximadamente, 50 gramas de água.
- Faça um nó no balão e passe a sua ponta pelo interior do bico da garrafa cortada.
- Coloque a tampinha no bocal da garrafa e gire-a para prender a bexiga.

ALETAS E SAIA

- Na **Figura 120** é apresentado um modelo de aleta trapezoidal e as respectivas medidas de cada lado.

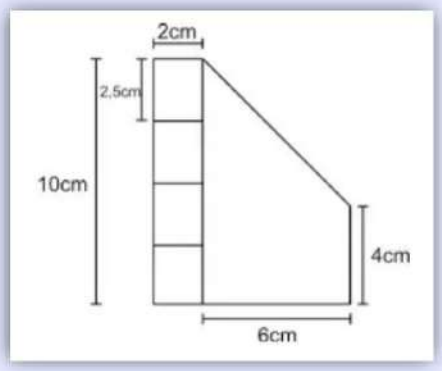


Figura 120 - Molde de aletas em formato de trapézio

- Utilize a pasta escolar para fazer 3 aletas. Após recortar os moldes para as haletas, dobre um retângulo para cada lado, veja a **Figura 121**.

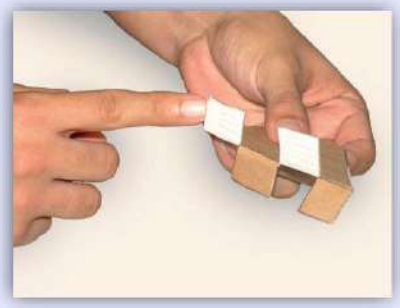


Figura 121 - Alternância entre os retângulos que serão responsáveis pela fixação da haletas na garrafa

- Fixe bem as três aletas dispostas a 120º uma da outra, próximas ao bico da garrafa não cortada.
- Como as aletas devem estar bem presas no foguete, uma alternativa mais segura é preparar uma "saia" e fixar as aletas na saia e está na boca do foguete. A "saia" é obtida recortando-se do corpo da garrafa de onde se retirou o bico, um "anel" com 12 cm de altura como apresentado na **Figura 122** abaixo.

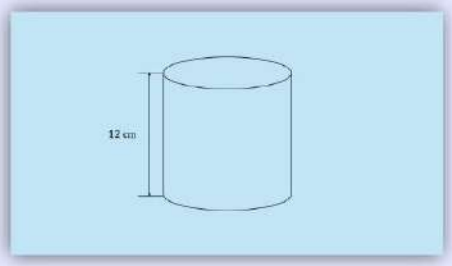


Figura 122 - Molde do anel de plástico (próprio autor)

Nesta "saia" faça três cortes com altura igual à altura das aletas. Os três cortes devem estar dispostos de maneira simétrica, isto é, a distância ao longo do anel, entre o primeiro e o segundo corte, deve ser igual à distância entre o segundo e o terceiro corte ao longo do anel. A **Figura 123** mostra a disposição das aletas vista de cima.

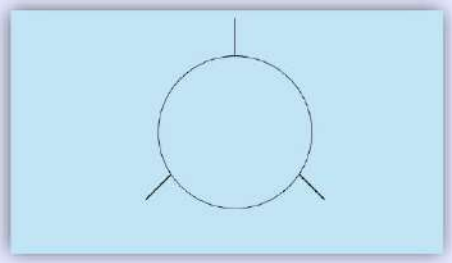


Figura 123 - Vista superior das três aletas (segmentos de reta) fixadas no anel

As aletas são, então, enfiadas de dentro para fora desta saia. As "abas" das aletas são fixadas na parte interna da saia. Depois basta fixar a saia perto da boca do foguete. A vantagem é que a saia com as aletas pode ser colocada em qualquer outro foguete que se faça e não há perigo das aletas se desprenderem do corpo do foguete, pois estão presas por dentro da saia.

FOGUETE

- Encaixe e prenda o bico no fundo da outra garrafa que não foi cortada. O mesmo deve ser feito com a "saia", porém, ela deve ser presa na região onde se encontra o bocal da garrafa (**Figura 124**).

Figura 124 - É recomendado prender o bico e o anel com as aletas na garrafa que não foi cortada

- A **Figura 125** apresenta o resultado da construção de um foguete. Porém, o foguete em questão possui quatro aletas feitas de papelão e não colocado o balão no interior do bico.

Figura 125 - Foguete pronto para lançamento

Caso tenha alguma dúvida assista ao vídeo **Foguete de Garrafa Pet Nível 3 da MOBFOG** do canal **OBA-MOBFOG** no Youtube

O próximo capítulo discutirá sobre simulações computacionais, como são aplicadas no contexto científico e os resultados obtidos na simulação de lançamento de projéteis quando a resistência do ar não é descartada.

FAZENDO SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

CAPÍTULO 4

Foguete Chandrayaan-3 lançado do Centro Espacial Satish Dawan, localizado na ilha Shiharikota, em 14/07/2023.
Fonte: ISRO

4.1 FORÇA DE ARRASTO

A força de arrasto é uma força que atua sobre um objeto em movimento através de um fluido (substância capaz de escoar), como o ar ou a água. Essa força é importante em várias situações do nosso cotidiano e em muitos fenômenos naturais e tecnológicos. Quando andamos de bicicleta, nadamos, dirigimos um carro, saltamos de paraquedas (**Figura 126**) ou mesmo quando um pássaro voa, a força de arrasto está presente e influencia o movimento desses corpos.

Figura 126 – A força de arrasto é fundamental quando se trata de paraquedismo

A força de arrasto é uma força resistiva que se opõe ao movimento de um objeto através ou relativo ao fluido. São três possíveis casos de movimento relativo:

1. Corpo parado e fluido escoando;
2. Fluido parado e corpo deslocando-se;
3. Corpo e fluido com velocidades.

A magnitude da força de arrasto depende de vários fatores, incluindo:

- Velocidade (v) do objeto: quanto maior a velocidade relativa ao fluido, maior será a força de arrasto.
- Área (A) de seção transversal do objeto: objetos com maior área de superfície enfrentam maior força de arrasto. É importante destacar que esta área corresponde a sua projeção na direção perpendicular ao escoamento.
- Forma do objeto (C_d): objetos com formas mais aerodinâmicas enfrentam menor força de arrasto.
- Densidade (ρ) do fluido: quanto mais denso o fluido, maior será a força de arrasto.

Portanto, a equação empírica mais conhecida que descreve a força de arrasto é

$$D = \frac{1}{2} . C_d . \rho . A . v^2 \qquad (1)$$

VOCÊ SABE...

o que é C_d? O coeficiente de arrasto (C_d) é um parâmetro adimensional que quantifica a resistência de um objeto ao movimento através de um fluido. Ele é uma medida da eficácia de um objeto em minimizar a força de arrasto que atua sobre ele.

Digitalize o QR-code acima e
a tabela **Coeficiente de Arrasto**

ATIVIDADE EM SALA 4.1

DETERMINANDO A UNIDADE DA GRANDEZA C_d

Determine a unidade de medida do coeficiente de arrasto C_d utilizando a equação (1)

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

4.2 VELOCIDADE TERMINAL

Vamos considerar um objeto em queda não-livre (isto é, queda sujeita à força de arrasto) e analisar as etapas do seu movimento:

1. Um objeto de massa m cai a partir do repouso ($v_0 = 0$). Inicialmente, somente a força peso $\vec{P}$ está agindo (**Figura 127**).

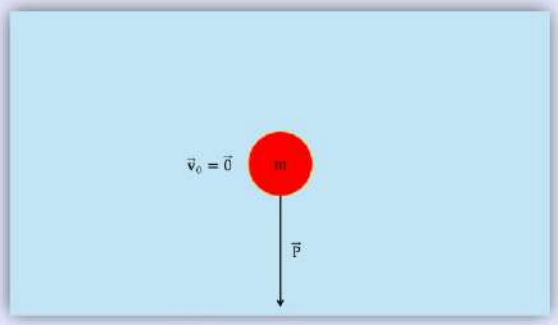


Figura 127 - Um corpo em movimento de queda

2. A força de arrasto aponta para cima e seu módulo aumenta à medida que a velocidade cresce. Comparando-se as **Figura 127** e **Figura 128**, pode-se verificar tal alteração.

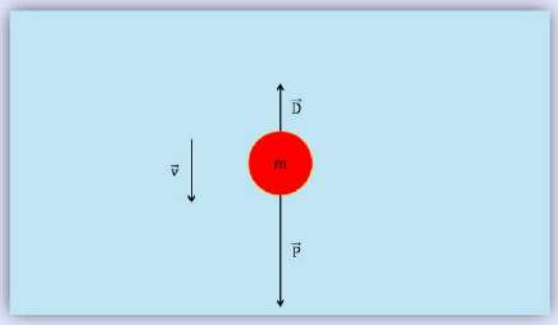


Figura 128 - À medida que a velocidade do corpo varia, o módulo da força de arrasto também muda, porém, esta força opõe-se ao sentido do movimento

3. Caso o objeto caia por tempo suficiente, o módulo da força de arrasto se iguala ao da força peso. Isso significa que a velocidade para de aumentar. O corpo passa, então, a cair com velocidade constante, que é chamada de velocidade terminal v_t e apresentada na **Figura 129**.

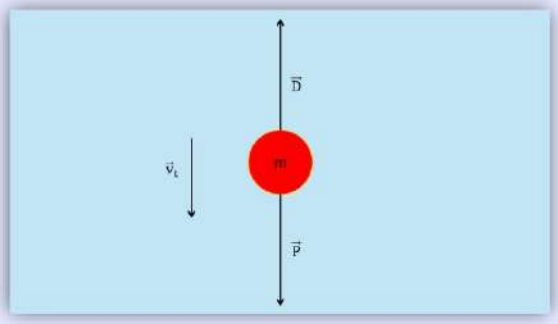


Figura 129 - Como as forças de arrasto e peso se equilibram, o objeto atingiu sua máxima velocidade de queda

Agora será obtida a equação da velocidade terminal v_t. Sabendo-se que o módulo da força de arrasto D é igual ao da força peso P, podemos escrever matematicamente que

$$D = P \qquad (2)$$

O módulo da força de arrasto foi apresentado na equação (**1**) e o módulo da força peso, de acordo com a 2ª lei de Newton, é dado pelo produto entre massa m do objeto e a aceleração da gravidade g local. Fazendo as devidas substituições na equação (**2**), temos

$$\frac{1}{2}.C_d.\rho.A.v_t^2 = m.g \qquad (3)$$

Como o objetivo é obter uma equação para v_t, deve-se isolar v_t na equação (3), de tal forma que se obtenha

$$v_t = \sqrt{\frac{2.m.g}{C_d.\rho.A}} \qquad (4)$$

VOCÊ SABE...

que a força de arrasto nem sempre é proporcional ao quadrado da velocidade, como indicado na equação (1) acima? Enquanto a força de arrasto é frequentemente proporcional ao quadrado da velocidade, há situações, especialmente em baixas velocidades, em que a força de arrasto é proporcional à velocidade. Como por exemplo, na queda de gotas de água em um litro contendo óleo de cozinha.

ATIVIDADE EM SALA 4.2

DETERMINANDO EXPERIMENTALMENTE O VALOR v_t

Siga as etapas abaixo:

- Meça com a régua a distância entre as marcações da proveta;
- Coloque óleo de soja no interior da proveta;
- Ejete uma certa quantidade de água no interior do óleo com auxílio do conta gotas;
- Verifique a formação de pequenas esferas de água e seu movimento;

QUESTIONÁRIO

1 – Qual o formato da água no interior do óleo?

---

2 – As pequenas gotas de água sobem, descem ou ficam na mesma posição?

---

3 – As gotas de água apresentam velocidade alta ou baixa?

---

4 – Preencha a **Tabela 1** da seguinte maneira:

- Na primeira coluna: escrever os valores medidos das distâncias percorridas pela gota da água no interior da proveta.
- Na segunda coluna: escrever os valores dos respetivos intervalos de tempo.
- Na terceira coluna: para cada par distância-intervalo de tempo, calcular a velocidade (distância pelo tempo).

Medida	Distância (cm)	Intervalo de tempo (s)	Velocidade (cm/s)
1ª			
2ª			
3ª			
4ª			
5ª			
6ª			

Tabela 1 – Resultados experimentais

5 – Quais materiais foram utilizados?

6 – Faça um desenho que represente o experimento proposto.

7 – Usando o software Tracker, determine novamente o valor da velocidade terminal v_t e compare-o com o valor calculado através da Tabela 1. Registre abaixo os resultados obtidos.

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

TAREFA DE CASA 4.1

FORÇA DE ARRASTO NA PRÁTICA

Assista aos vídeos abaixo e responda o que se pede.

1º VÍDEO)

Assista ao vídeo **Astrônomo paraquedista explica microgravidade** do canal **Astrotubers** no YouTube

Qual é tempo de queda para se atingir a velocidade terminal? Quais parâmetros, apresentados no vídeo, influenciam na velocidade terminal dos paraquedistas? Qual é, aproximadamente, o valor da velocidade terminal?

2º VÍDEO)

Assista ao **Vídeo ciclista fazendo posição aerodinâmica** no canal **BikeTek Brasil** no YouTube

Explique o motivo pelo qual ocorreu a variação da velocidade do ciclista utilizando a equação (**1**).

A força resultante da ação do fluido no corpo pode ser decomposta em duas componentes: uma paralela à direção do escoamento (Força de Arrasto) e outra perpendicular à direção do escoamento livre (Força de Sustentação). A **Figura 130** apresenta as componentes e a resultante aerodinâmica que estão presente no voo de um aeroplano.

Figura 130 - Representação das componentes da força aerodinâmica resultante

Caso o avião esteja em voo com velocidade constante, em trajetória retilínea e a uma certa altitude, como apresentado na **Figura 131**, a força de tração ou de propulsão, produzida pelo motor, faz com que a aeronave vá para frente e tem o mesmo módulo da força de arrasto. No entanto, para tal situação, a força de sustentação, força que empurra a aeronave para cima, também possui o mesmo módulo que a força peso.

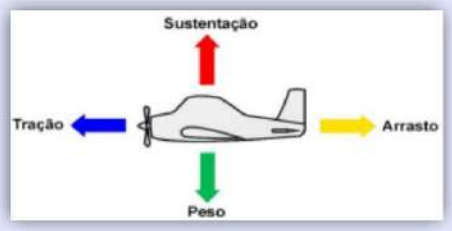


Figura 131 - Desenho esquemático de um planador e as forças que atuam no mesmo

Figura 132 – Representação das forças que atuam no pássaro quando voa com velocidade constante

VOCÊ SABE...

que a dinâmica de voo de um planador é semelhante quando se trata do voo de pássaros? Um pássaro voando com velocidade constante é apresentado na **Figura 132**. As forças na direção horizontal (força de tração e a força de arrasto) e na direção vertical (forças de sustentação e a força peso) se equilibram.

4.3 COMPARANDO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS COM E SEM RESISTÊNCIA DO AR

O software Python é amplamente utilizado para o desenvolvimento de simulações computacionais devido à sua linguagem de programação ser de fácil uso e à vasta biblioteca de ferramentas científicas disponíveis.

As simulações computacionais são importantes, pois permitem modelar e compreender fenômenos que seriam difíceis ou impossíveis de serem replicados em experimentos reais. No estudo do lançamento de projéteis, por exemplo, as simulações permitem analisar o comportamento dos projéteis em ambientes com ou sem resistência do ar. Na **Figura 133**, é apresentado o resultado da simulação, onde se nota a diferença entre as alturas e alcances atingidos pelo projétil.

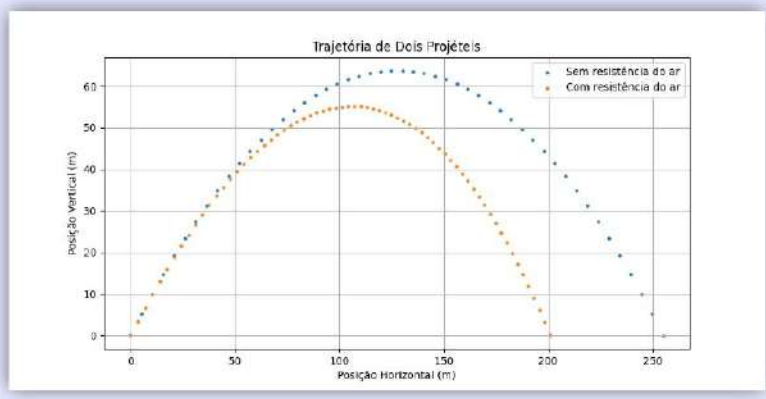


Figura 133 - Projétil lançados com a mesma velocidade e igual ângulo de lançamento em locais sem e com resistência ao movimento (PRÓPRIO AUTOR)

Após a apresentação das trajetórias obtidas pelo programa Python, resolva a atividade proposta a seguir.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE EM SALA 4.3

SIMULANDO NO PHET COLORADO

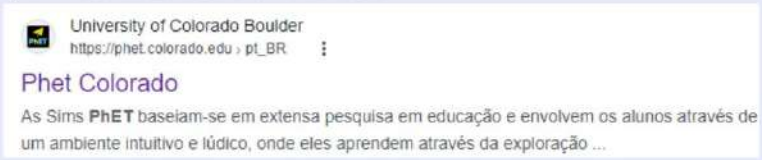
LANÇAMENTOS OBLÍQUO SEM E COM RESISTÊNCIA DO AR

VOCÊ SABE...

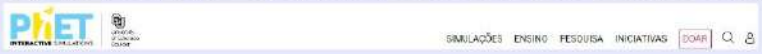
para que serve o PhET Colorado e o que significa? PhET Colorado é uma plataforma educacional online gratuita da Universidade do Colorado Boulder que oferece simulações interativas para o ensino de Ciências e Matemática. O projeto foi criado em 2002 pelo prêmio Nobel Carl Wieman. O nome PhET é uma abreviatura de Physics Education Tecnology, uma vez que o projeto original se concentrava em simulações de Física.

Siga as instruções abaixo:

1ª) Acesse a plataforma PhET Interative Simulations.



2ª) No canto superior direto, deixe o cursor do mouse sob SIMULAÇÕES e clique em Física



3ª) No lado esquerdo deixe habilitado o ícone Movimento.

4ª) Procure e abra o simulador Movimento de Projéteis.

5ª) Clique play que aparece no meio da imagem.

Movimento de Projétil

6ª) Acesse a opção Vetores.

SIMULANDO SEM RESISTÊNCIA DO AR

1 – Quais são as características do vetor velocidade?

2 – Quais são as características do vetor aceleração?

3 – Quais são as características da força resultante ao longo do movimento oblíquo?

4 – Os tempos de subida e de descida são iguais ou diferentes? Justifique.

5 – No ponto mais alto da trajetória, descreva as características das componentes do vetor velocidade.

6 – Preencha a tabela abaixo:

	v_0 (m/s)	θ (°)	t_{subida} (s)	$t_{descida}$ (s)	t_{total} (s)	Alcance (m)	Altura (m)
1							
2							
3							

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma, verifique se alguém precisa de auxílio e o ajude.

TAREFA DE CASA 4.2

SIMULANDO COM RESISTÊNCIA DO AR NO PHET COLORADO

Siga o mesmo procedimento da ATIVIDADE EM SALA 4.2 e responda as perguntas abaixo.

1 – Quais são as características do vetor velocidade?

2 – Quais são as características do vetor aceleração?

3 – Quais são as características da força resultante ao longo do movimento oblíquo?

4 – Os tempos de subida e de descida são iguais ou diferentes? Justifique.

5 – No ponto mais alto da trajetória, descreva as características das componentes do vetor velocidade.

6 – Preencha as tabelas abaixo. Na Tabela 1 abaixo, varie o valor do v_0 e mantenha fixos os valores do diâmetro D, da massa m e do ângulo θ.

	D (m)	m (kg)	v_0 (m/s)	θ (°)
1				
2				
3				

Tabela 1

Na Tabela 2 abaixo, coloque os tempos t, as alturas H e os alcances A para os movimentos de subida e descida da bola de canhão.

	t_{subida} (s)	H_{subida}(m)	A_{subida} (m)	$t_{descida}$ (s)	$H_{descida}$(m)	$A_{descida}$ (m)	t_{total} (s)	$H_{descida}$(m)	$A_{descida}$ (m)
1									
2									
3									

Tabela 2

7 – Compare e discuta os resultados obtidos na Atividade em Sala 4.2 com a Tarefa de Casa 4.2.

No próximo capítulo, iremos registrar os resultados obtidos no lançamento dos foguetes.

COLETANDO DADOS EXPERIMENTAIS

CAPÍTULO 5

Foguete chinês Long March-5B, decola do Centro de Lançamento Espacial de Wenchang, na província de Hainan, no sul da China, em 05/05/2020.
Fonte: Xinhua

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo iremos registrar dados pertinentes ao lançamento dos foguetes de garrafa PET. Portando, leia com atenção as instruções e observações abaixo:

- Formar grupos de 3 a 4 alunos e registrar na **FICHA DE REGISTROS** da **ATIVIDADE DE CAMPO 5.1** (veja ETAPA 1 abaixo).

ETAPA 1

Cada grupo será responsável por construir 1 (mínimo) a 3 (máximo) foguetes para lançamento.

- Anotar informações sobre o nome do(s) foguete(s), quantidade e formato das haletas, formato do(s) bico(s) na **Tabela 1** da **ATIVIDADE DE CAMPO 5.1**.
- Registar a quantidade, o nome e característica(s) do(s) foguete(s) na **FICHA** presente da **ATIVIDADE DE CAMPO 5.1** (veja ETAPA 2).

ETAPA 2

Data, horário e local de lançamento serão definidos e repassados pelo professor. A priori, os lançamentos serão realizados aos sábados pela manhã em campo aberto. Na data, é recomendado ir com roupas antigas e levar capa de chuva.

É de extrema importância levar este caderno para que possa reler o procedimento e registrar os resultados experimentais.

5.2 REGISTRANDO, NO CAMPO DE LANÇAMENTO, OS DADOS EXPERIMENTAIS PARA SOLUÇÃO DE VINAGRE, A FIM DE DETERMINAR O ALCANCE DOS FOGUETES

Na seção 5.1 foi descrito o procedimento que antecede à execução do experimento. Portanto, para realizar o(s) lançamento(s), leia as observações e recomendações abaixo, na ETAPA 3.

ETAPA 3

É necessário anotar os valores das grandezas (massa, volume e pressão) antes de cada lançamento.

- Anotar os valores da massa de bicarbonato de sódio, em gramas, na **Tabela 2** da **ATIVIDADE DE CAMPO 5.1** (veja ETAPA 4).

ETAPA 4

Utilize um funil de plástico pequeno para introduzir bicarbonato de sódio no interior do foguete.

- Anotar os valores de vinagre, em mililitros, na **Tabela 2** (veja ETAPA 5).

ETAPA 5

O vinagre será armazenado em um preservativo no interior do foguete para que não ocorra a reação química antes de encaixá-lo na base de lançamentos.

- Colocar o foguete na base de lançamento para que ocorra a reação química entre o bicarbonato de sódio-vinagre. Em seguida verifique se a base de lançamentos está fixa no chão (veja ETAPA 6).

ETAPA 6

A reação só ocorrerá quando o preservativo for estourado por um espeto metálico que se encontra no interior da base de lançamento. Como já estudado no Capítulo 03, a reação produz gás carbônico que será armazenado no interior do foguete. É importante verificar se não está ocorrendo vazamento de gás, pois a perda gasosa influenciará no alcance do foguete. Observação: deve-se colocar o vinagre dentro de um preservativo, em vez de um balão de festa, porque, desta maneira, consegue-se colocar uma quantidade maior de vinagre, sem que o preservativo estoure.

- Observar a pressão máxima medida pelo manômetro e medir a distância paralela ao chão percorrida pelo foguete após seu lançamento. Os valores de pressão e distância devem ser anotados na **Tabela 2.** Esta distância é aquela que separa a base de lançamento e a metade do foguete (veja ETAPA 7).

ETAPA 7

Ao acionar o gatilho que dispara o foguete, os integrantes do grupo devem ficar a uma certa distância atrás da base de lançamentos. É PROIBIDO ficar na frente da base enquanto ocorre a pressurização do gás.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE DE CAMPO 5.1

FICHA DE REGISTRO

Preencha o que se pede abaixo.

Data de lançamento:____/____/_____

Local de lançamento

_____

Nome da equipe

_____

Sobre o(s) foguete(s)

	Nome do foguete	Massa do foguete (g)	Número de haletas	Formato das haletas	Formato do bico
1					
2					
3					

Tabela 1 – Informações sobre o(s) foguete(s).

Resultados experimentais

	Nome do foguete	Massa de bicarbonato (g)	Volume de vinagre (mL)	Pressão do gás (psi)	Alcance (m)
1					
2					
3					

Tabela 2 – Dados referente os testes.

Neste capítulo, foram descritas detalhadamente as etapas de execução, coleta e organização dos dados experimentais. No Capítulo seguinte, será feita a análise dos resultados coletados. Para se realizar essa análise, os grupos de alunos devem discutir e comparar os resultados obtidos, procurando investigar o que se pode ser feito para melhorá-los.

ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

CAPÍTULO 6

Foguete japonês H-IIA sendo transportado para a plataforma de lançamento no Centro Espacial de Tanegashima em 27/02/2014.
Fonte: NASA/Bill Ingalls

6.1 ANALISANDO OS DADOS EXPERIMENTAIS

A análise de dados experimentais é um componente importante no desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico. Através dela, é possível extrair informações relevantes a partir de dados obtidos em experimentos, permitindo a validação de hipóteses, a identificação de padrões e a tomada de decisões embasadas. Em qualquer experimento, há variáveis e possíveis fontes de erro que podem influenciar os dados coletados. Além disso, a análise de dados facilita a interpretação dos resultados experimentais. Os dados experimentais muitas vezes não revelam informações claras até serem organizados, visualizados e analisados. Através da análise, é possível determinar se os resultados de um experimento podem ser aplicados em outras situações. Apresentar tais resultados e análises, seja de forma escrita ou oral, permite que outras pessoas verifiquem e reproduzam tal experimento, o que é fundamental no método científico.

ATIVIDADE EM SALA 6.1

INVESTIGANDO OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para auxiliar sua análise experimental, leia e responda as perguntas abaixo.

1 – Explique como foi a construção do(s) foguete(s) e justifique como escolheu os materiais que foram utilizados nesta construção.

2 - Qual o formato do foguete? Explique quais os fatores que influenciaram na escolha do formato do foguete.

3 - Você fez alguma mudança ou adaptação no foguete? Caso você tenha feito mudanças, explique por que as fez.

4 – Explique em quais lançamentos os resultados foram satisfatórios e em quais não foram. Quais fatores podem ter influenciado nos lançamentos?

5 – Explique quais seriam os procedimentos para melhorar o desempenho do lançamento.

DIÁLOGO E INTERAÇÃO!

Após terminada esta atividade, compare seus resultados com os demais colegas da turma.

FAÇA AQUI SUAS ANOTAÇÕES

ATIVIDADE EM SALA 6.2

JORNADA FINAL

Faça um mapa mental sobre FOGUETES. Revisite as suas anotações e os conteúdos discutidos ao longo das aulas.

FOLHA PARA CONSTRUIR SEU NOVO MAPA MENTAL

REFERÊNCIAS

AEB: AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Disponível em: https://www.gov.br/aeb/pt-br.

Encyclopedia Britannica | Britannica. Disponível em: https://www.britannica.com.

ESA: European Space Agency. Disponível em: https://www.esa.int.

GONÇALVES, A. G. O. **O movimento parabólico de projéteis: Alcance e parábola de segurança**. Monografia final de curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Instituto de Física/ 2011.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

INPE: Instituto de Pesquisas Espaciais. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br.

NASA: National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: https://www.nasa.gov.

OLIVEIRA, A. M. SILVA, A. **TRIGONOMETRIA E CÁLCULO VETORIAL**. 6. ed – São Paulo: Lisa – livros irradiantes s. a. 1976.

PEDUZZI, L. **Força e movimento de Thales a Galileu**. Instituto de Física – UFRGS, 2008. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Textos_Peduzzi/Thales_Galileu.pdf.

Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural – Livro I/ Isaac Newton. – 2. ed., 5, reimpr. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2020.

RESNICK, R. HALLIDAY, D. **Física 1.** 4 ed – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1983.

RESQUETTI, S. O. NEVES, M. C. D. **Galileu e sua obra no ensino de Física hoje**. Maringá: Eduem, 2011.

SCHWARZA. **Onde estaremos em 2200: uma viagem pela exploração espacial/ Schwarza**. São Paulo: Planeta, 2020.

SEARS, F. ZEMANSKY, M. W. YOUNG, H. D. **Física 1 – Mecânica da Partícula e dos Corpos Rígidos.**2 ed. – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1985.

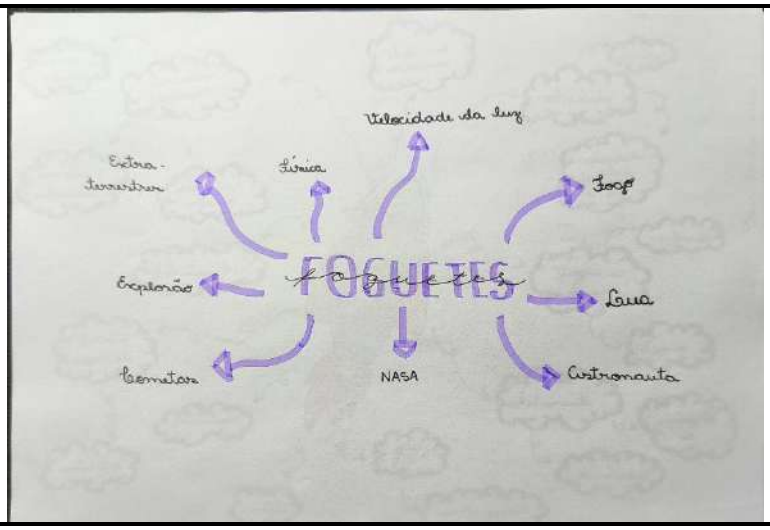
STUDART, N. DAHMEN, S. R. **A Física do Vôo em Sala de Aula**. Física na Escola, v. 7, n. 2, 2006.

Wikipedia, the free encyclopedia. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.

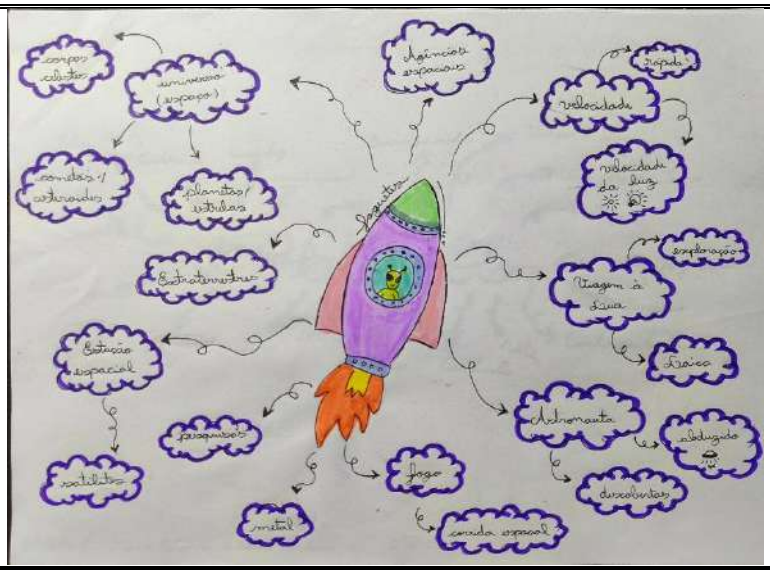
YOUNG, H. D. FREEDMAN, R. A. **Física I, Sears e Zemansky: mecânica**. 14. ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

APÊNDICE E – MAPAS MENTAIS PRÉVIOS DOS ALUNOS SOBRE FOGUETES

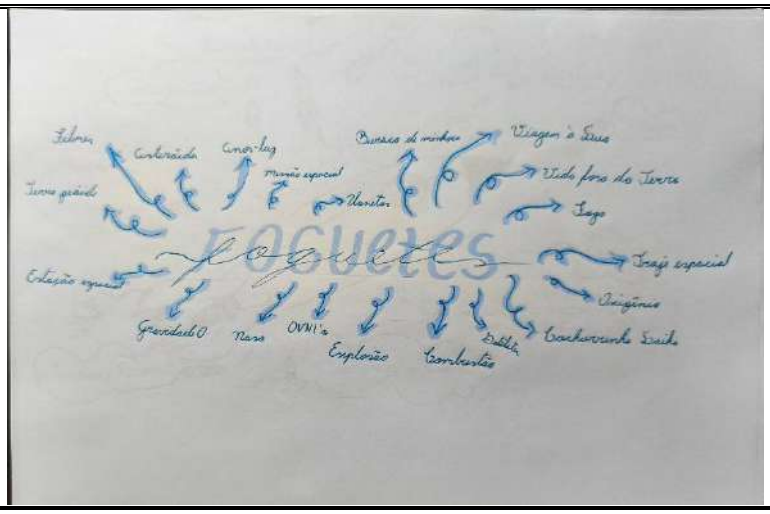
ALUNO A



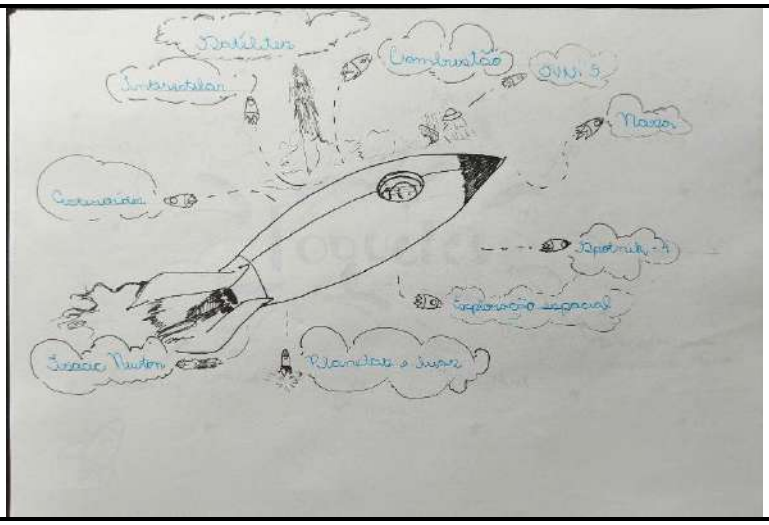
ALUNO B



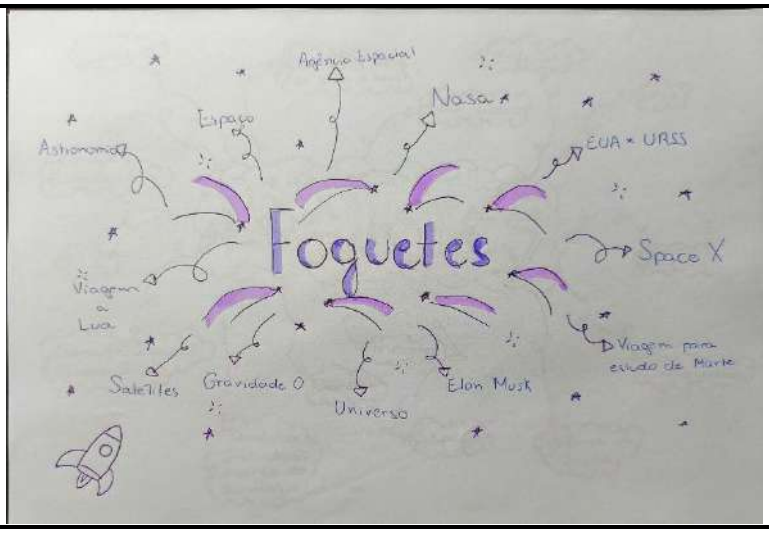
ALUNO C



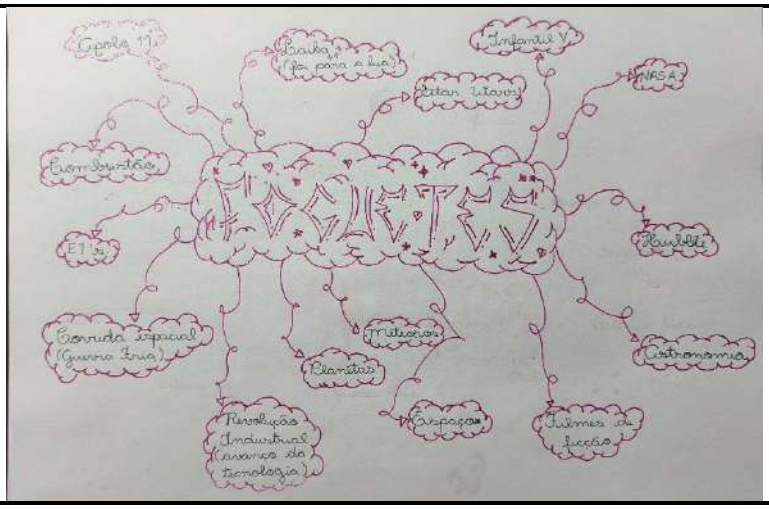
ALUNO D



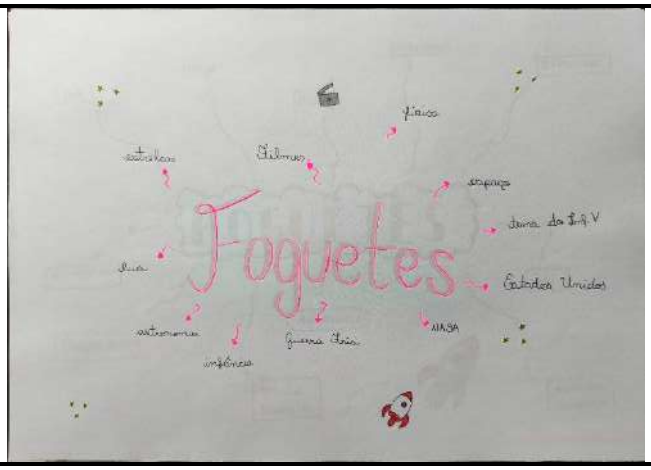
ALUNO E



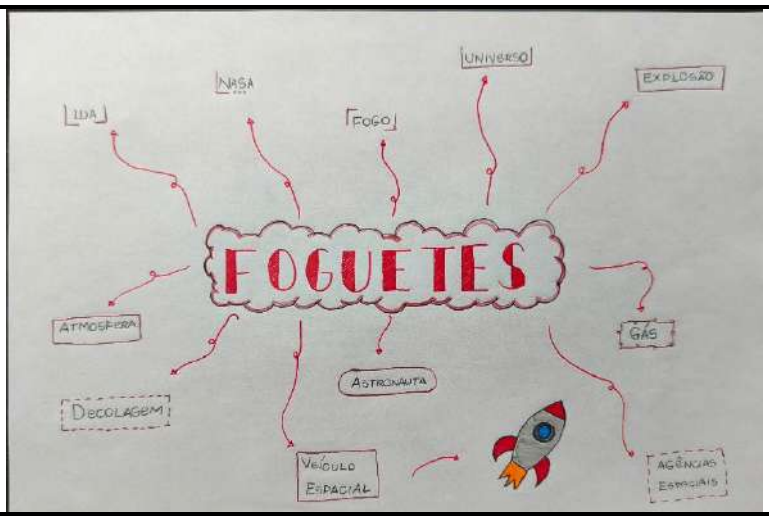
ALUNO F



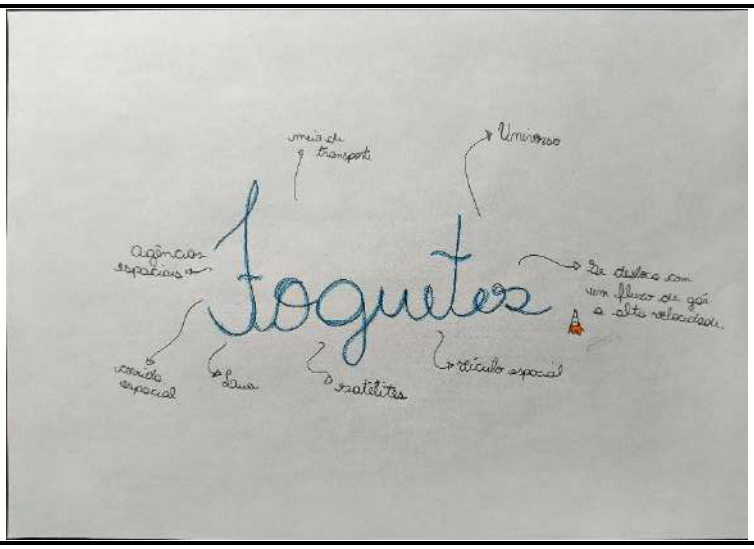
ALUNO G



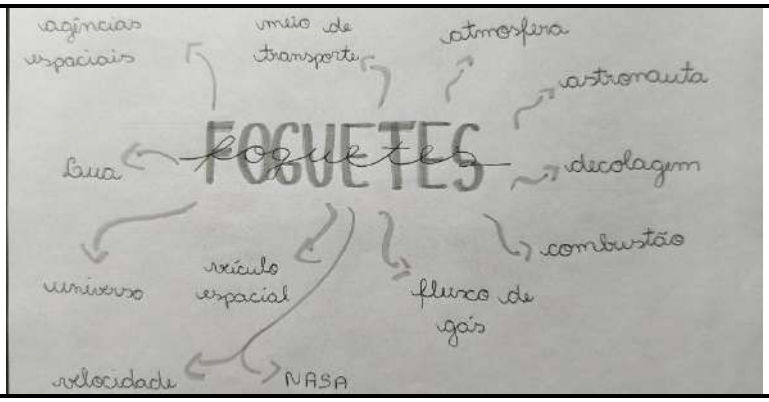
ALUNO H



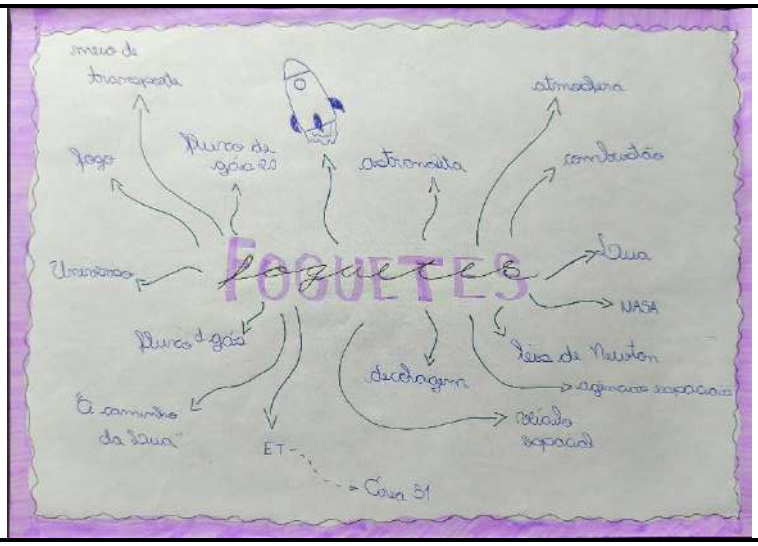
ALUNO I



ALUNO J

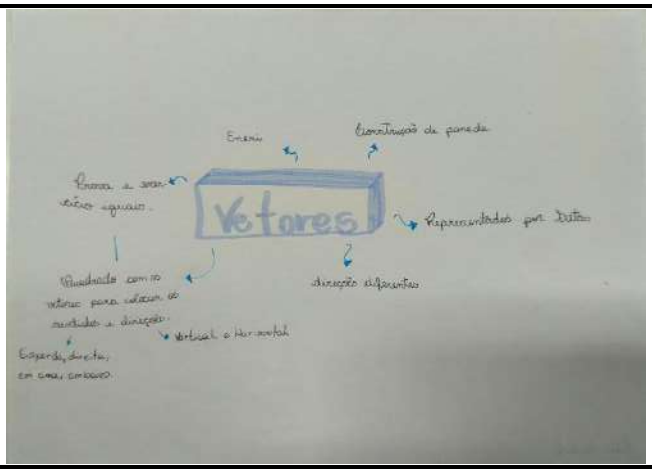


ALUNO K

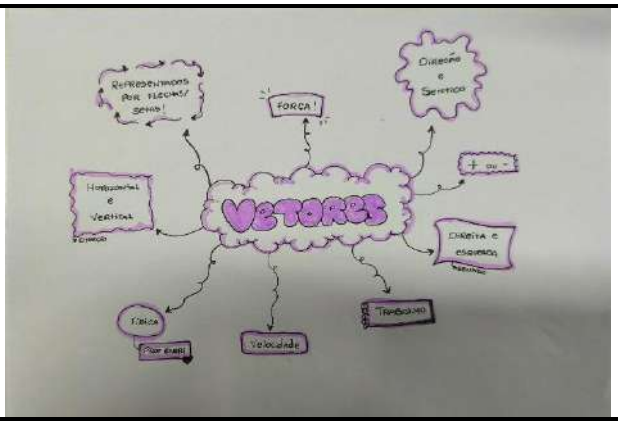


APÊNDICE F – MAPAS MENTAIS SOBRE VETORES ANTES DA AULA SOBRE VETORES

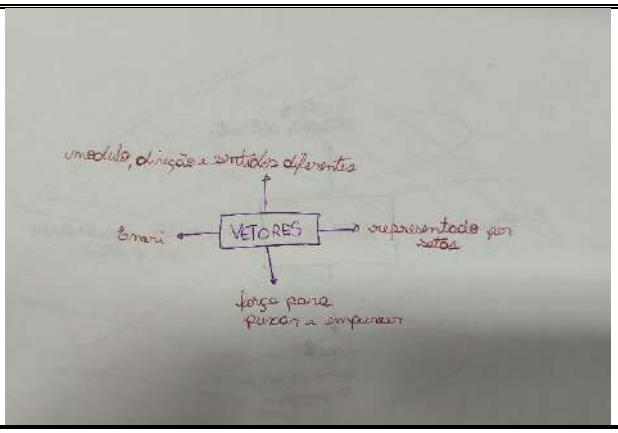
ALUNO 1



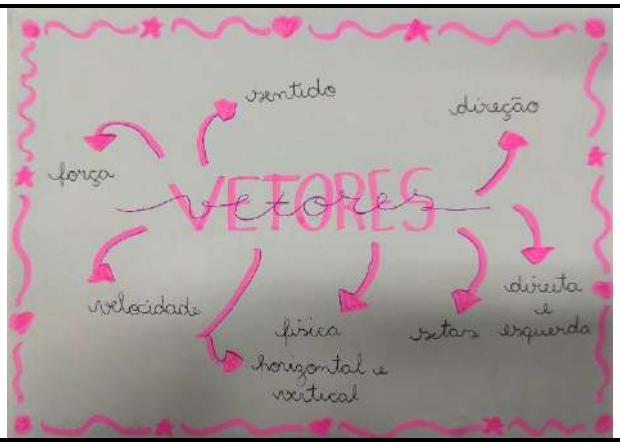
ALUNO 2



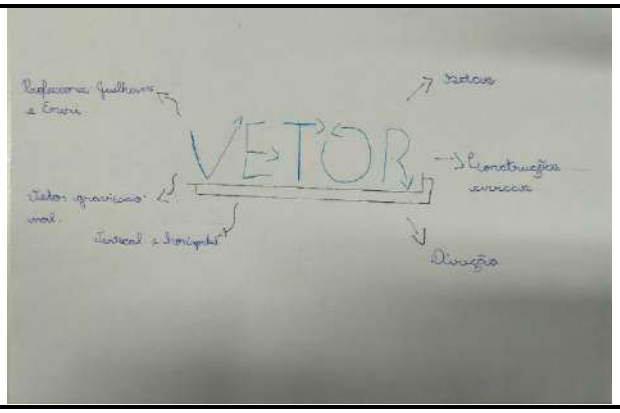
ALUNO 3



ALUNO 4

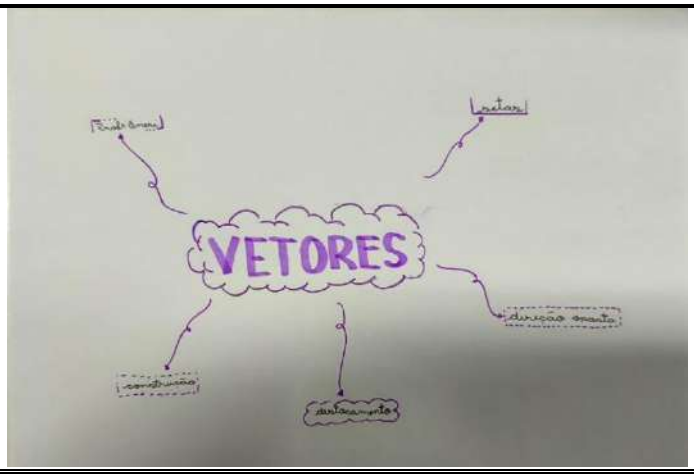


ALUNO 5



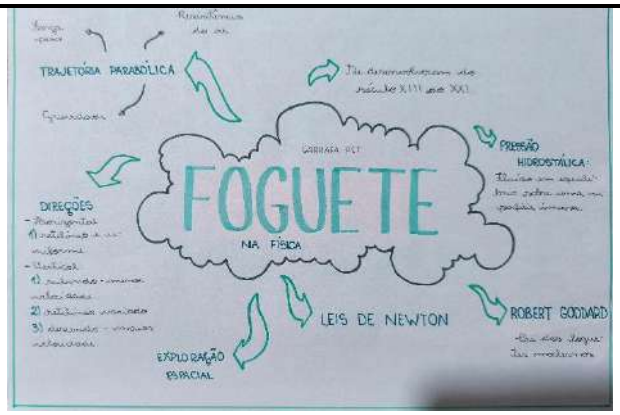
ALUNO 6

ALUNO 7

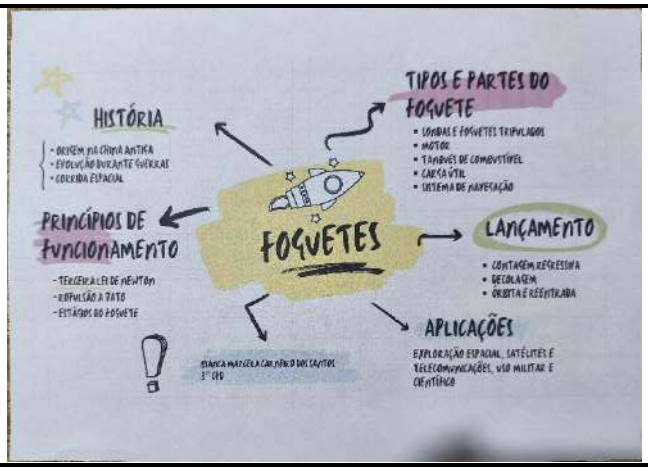


APÊNDICE G – MAPAS MENTAIS FINAIS DOS ALUNOS SOBRE FOGUETES

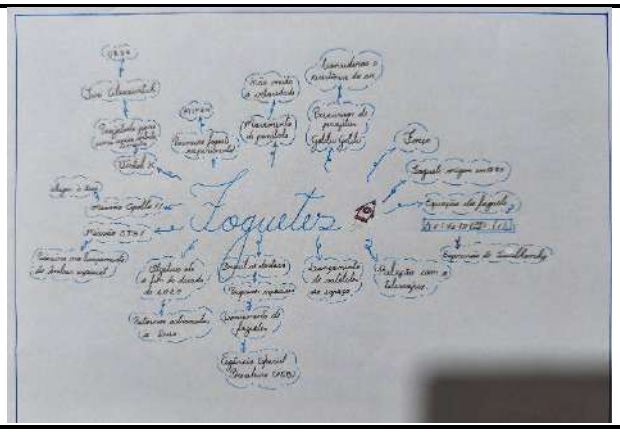
ALUNO A



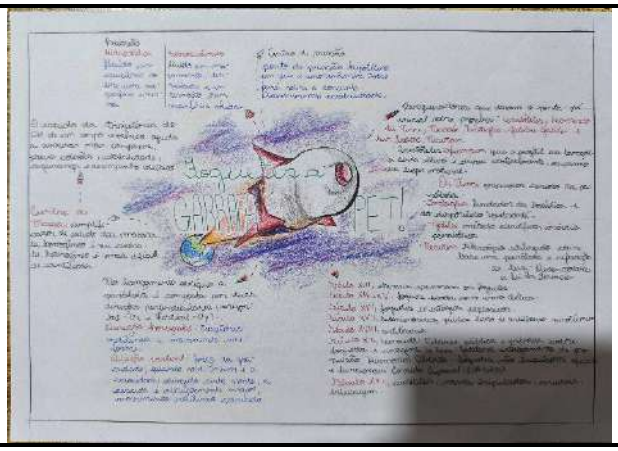
ALUNO B



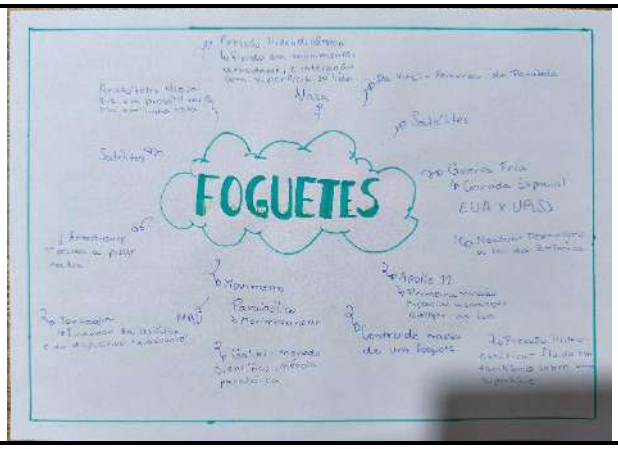
ALUNO C



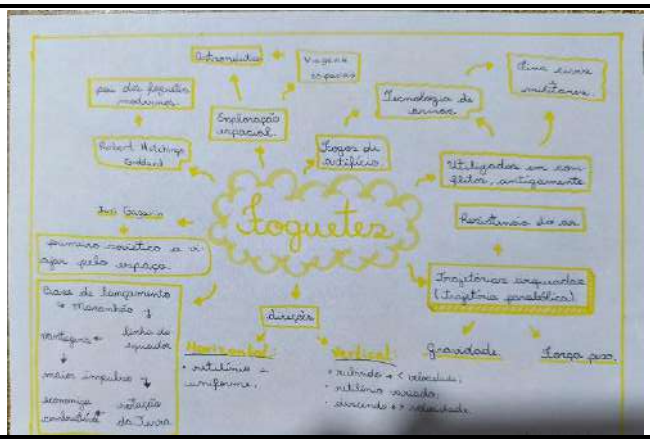
ALUNO D



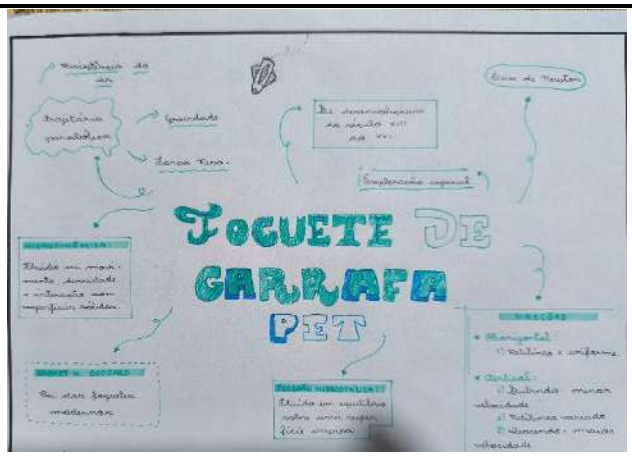
ALUNO E



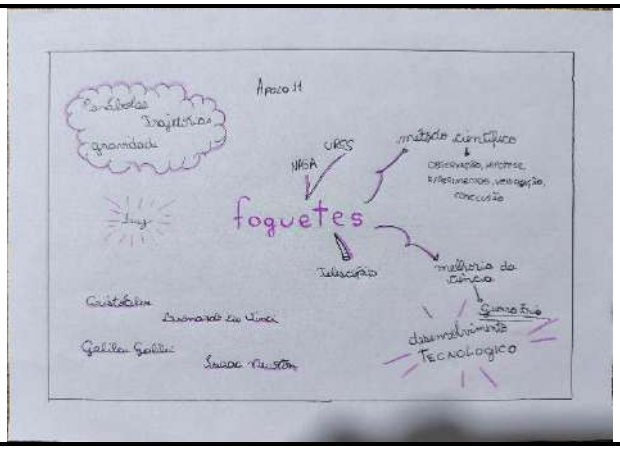
ALUNO G



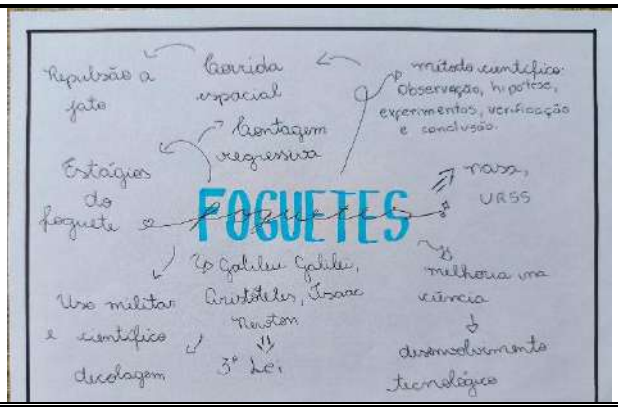
ALUNO H



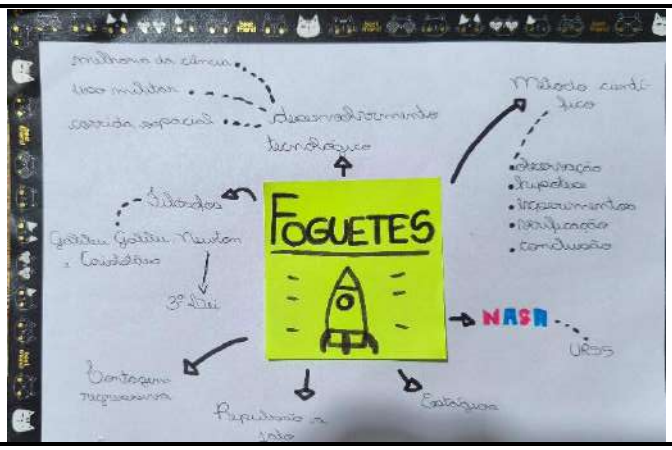
ALUNO I



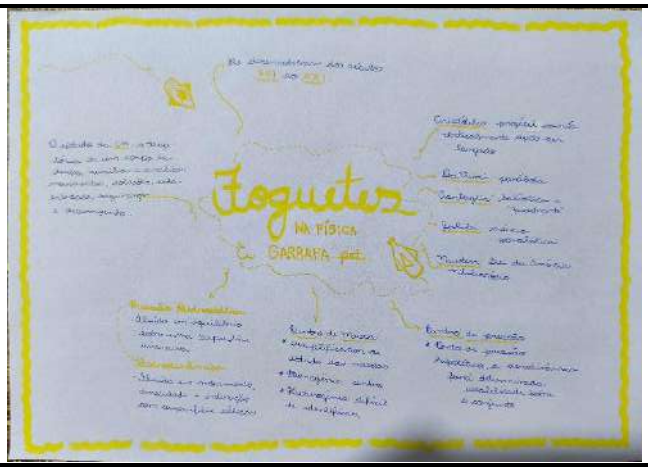
ALUNO J



ALUNO K



ALUNO L



APÊNDICE H – FOTOS DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM 2025

Figura 36 – Lançamento sendo realizado no mês de fevereiro no Colégio Sagrada Família, unidade Auxiliadora (15/02/2025).

Fonte: Autor

Figura 37 – Alunos construindo foguetes com garrafas PET retornáveis (à esquerda). A coifa e as aletas foram fabricados por meio de impressão 3D. O resultado obtido é apresentado à direita (14/03/2025).

(a)

(b)

Fonte: Autor

Figura 38 – Em (a), lançamento que ocorreu de forma não esperada, pois o foguete escapou da base no momento errado. Em (b), alunos interagindo para realizar outro lançamento (15/03/2025).

(a)

(b)

Fonte: Autor

Figura 39 – Resultados dos lançamentos executados em uma área aberta (23/05/2025).

(a)

(b)

Fonte: Autor

Figura 40 – Alunos preparando o foguete que foi lançado em área aberta na UEPG, campus Uvaranas (à esquerda). Resultado acerca do primeiro lançamento (à direita). Os testes foram realizados no dia 05/04/2025 (sábado) pela manhã.

(a)

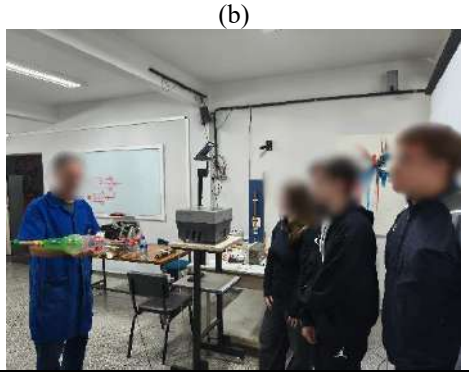
(b)

Fonte: Prof. Dr. Gerson e equipe

Figura 41 – (a) Prof. Dr. Gerson mostrando aos alunos uma haste metálica e suas características. (b) Apresentação do foguete construído pelo Gerson. A visita ao laboratório LAEPI ocorreu na manhã do dia 02/05/2025.

(a)

(b)



Fonte: Autor

Figura 42 – Alunos testando a estabilidade de voo dos novos foguetes, conforme mostrado em (a) e (b). Primeiramente, amarra-se o foguete a um fio de modo que o fio esteja sobre ou mais próximo do seu centro de massa (CM). O conjunto fio-foguete é posto em movimento de rotação em um plano paralelo ao solo. Caso o foguete apresente estabilidade, nota-se que, independentemente do sentido em que o foguete seja girado, a coifa (parte dianteira) deve estar à frente das aletas (parte traseira), e não o contrário. Teste realizados no dia 02/05/2025.

(a)

(b)

Fonte: Autor

Figura 43 – (a) Aluno colocando os reagentes no interior da garrafa. (b) Foguete sendo lançado obliquamente, no dia 03/05/2025, pela manhã, no campus Uvaranas da UEPG.

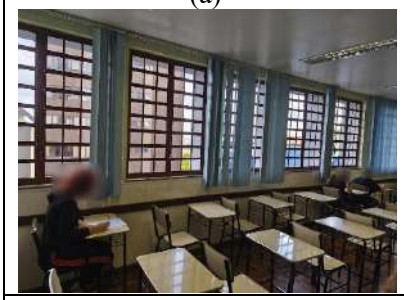
(a)

(b)

Fonte: Tainá Nakamura

Figura 44 – (a), (b) e (c) mostram os alunos resolvendo a prova da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) 2025.

(a)



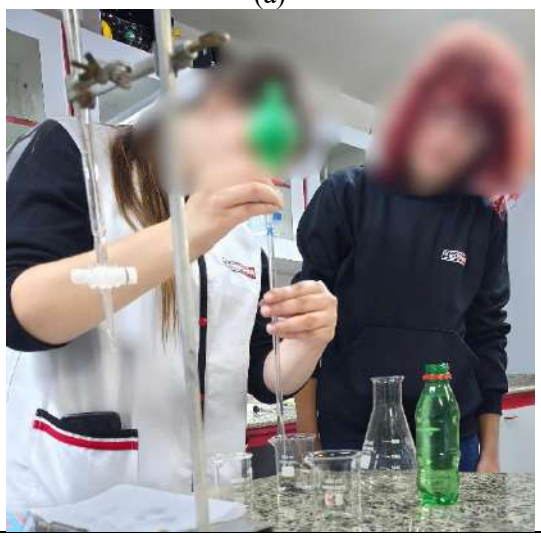
(b)

(c)

Fonte: Autor

Figura 45 – (a) A Prof.ª Dr.ª Caroline Nocera Benetti demonstrou o uso adequado dos equipamentos do laboratório durante a análise experimental da concentração de ácido acético presente no vinagre. (b) O aluno está verificando o resultado obtido para determinar a concentração do vinagre que será utilizado nos lançamentos. Foram analisadas quatro marcas de vinagres. Os primeiros testes em laboratório foram realizados no dia 13/05/2025, no Colégio Sagrada Família – Unidade Centro.

(a)



(b)

Fonte: Autor

Figura 46 – Em (a) e (b), os alunos realizam uma segunda bateria de testes para determinar a concentração final do vinagre após o aquecimento, sob a supervisão da Prof.ª Dr.ª Caroline Nocera Benetti. Eles verificaram que ocorreu aumento na concentração de ácido acético presente em várias amostras de vinagre. (c) O líquido violeta claro dentro do Erlenmeyer é resultado da mistura de hidróxido de sódio, fenolftaleína e o vinagre pré-aquecido. A redução do volume de vinagre por aquecimento resultou no aumento da concentração do ácido acético presente no vinagre. Deve-se destacar que a redução do volume de vinagre por aquecimento foi realizada inicialmente em casa pelos alunos, e depois foi testada em laboratório no dia 17/05/2025, na Unidade Auxiliadora do Colégio Sagrada Família.

(a)

(b)

(c)

Fonte: Autor

Figura 47 – Tanto em (a) quanto em (b), os alunos utilizaram os vinagres reduzidos, testados em laboratório, para verificar se há aumento na produção de gás carbônico no interior da garrafa. A maior produção de gás foi constatada por meio da medição da pressão no interior da garrafa. Os alcances e pressões internas aumentaram significativamente em relação os resultados anteriores. Os lançamentos ocorreram no dia 24/05/2025, pela manhã, no campus Uvaranas/ UEPG.

(a)

(b)

Fonte: Autor

APÊNDICE I – ACEITE DO TRABALHO NO XI CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU) 2025

AVALIAÇÃO DO TRABALHO

Prezado(a) **SAMUEL CORREA MACHADO**, informamos que seu trabalho intitulado "LANÇAMENTO DE FOGUETES UTILIZANDO GARRAFAS PET: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ESTUDANTES DE MAGISTÉRIO", foi avaliado e considerado "**ACEITO**" pela Comissão Científica do XI CONEDU.

Caso a comissão tenha deixado algum comentário, ele encontra-se abaixo:
""

Modalidade: Pôster (PO)
Grupo de Trabalho (GT): GT 16 - Ensino de Ciências
Título: LANÇAMENTO DE FOGUETES UTILIZANDO GARRAFAS PET: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ESTUDANTES DE MAGISTÉRIO
Autor(es): SAMUEL CORREA MACHADO e LUIZ ANTÔNIO BASTOS BERNARDES
Modo de Apresentação: PRESENCIAL

Atenciosamente,
Comissão Científica

APÊNDICE J – ACEITE DO TRABALHO NO ENCONTROS INTEGRADOS EM FÍSICA E SEU ENSINO 2025 (IV ENCONTROS NACIONAL DO MNPEF – ENMNPEF E IX ESCOLA BRASILEIRA DE ENSINO EM FÍSICA – EBEF)

Declaração

Declaramos que o trabalho **SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE LANÇAMENTO DE FOGUETES UTILIZANDO GARRAFAS PET PARA ESTUDANTES DE FORMAÇÃO DE DOCENTES** de autoria de **Samuel Correa Machado, Luiz Antônio Bastos Bernardes UEPG - PR - Brasil** foi aceito para apresentação no(a) **IV Encontro Nacional do MNPEF** no período de 23 a 26 de julho de 2025, Fortaleza, CE.

Inscrição/Trabalho: **153/1**

A forma de apresentação será informada em breve.

São Paulo, 29 de abril de 2025

Comitê Organizador
IV MNPEF

APÊNDICE K – PUBLICAÇÕES FEITAS PELO PORTAL AREDE E JORNAL DA MANHÃ

Figura 48 – Divulgação realizada pelo portal aRede sobre as atividades desenvolvidas no ano de 2025. Data de publicação: 15/05/2025.

Estudos de Física mobilizam estudantes do Sagrada

Tendo como foco a preparação para a Olimpíada Brasileira de Foguetes, estudantes do segundo ano do Ensino Médio do Colégio Sagrada Família têm realizado testes e estudos periódicos visando melhores objetivos na competição

Publicado: 15/05/2025, 13:20

Fonte: Plataforma aRede.

Para acessar a publicação no portal Arede, faça a leitura do QR code abaixo:

Figura 49 – As atividades desenvolvidas neste ano também foram divulgadas no jornal da manhã. Data de publicação: 18/05/2025.

jornaldamanhã
Fim de Semana, 18 a 19 de Maio de 2025 • 13

facebook.com/vamosler
instagram.com/vamosler.arede
tiktok.com/@projetovamosler

Vamos Ler
Geração Digital

Aula do Vamos Ler e Tetra Pak mobiliza educandos de Ipiranga

Abordando temáticas sobre o consumo consciente, o quinto ano da Escola Anita Taborda Puglia se engajou em amplas atividades teóricas e práticas

João Gabriel Vieira
vamosler@grupoarede.com.br

Os alunos do quinto ano A da Escola Municipal Cívico-Militar Professora Anita Taborda Puglia, orientados pela professora Lucimara Elesandra Carneiro, participaram de uma série de atividades sobre consumo consciente, a partir da videoaula do projeto **Vamos Ler** em parceria com a Tetra Pak.

Segundo a docente, a proposta começou com a exibição da videoaula, que abordou práticas sustentáveis e o impacto das escolhas de consumo no meio ambiente. "Após assistirem ao vídeo, os alunos participaram de uma conversa orientada, em que compartilharam percepções, experiências e pontos relevantes sobre o tema", contou.

Na primeira atividade, os estudantes produziram textos destacando os aspectos mais importantes apresentados na videoaula, complementando com suas reflexões e informações debatidas em sala.

Ainda segundo a educadora, outras duas propostas foram enviadas como tarefa de casa. "Na primeira, os alunos fotografaram embalagens sustentáveis que encontraram em casa. Na segunda, gravaram vídeos mostrando atitudes de reutilização de materiais feitas por suas famílias, demonstrando como o reaproveitamento pode contribuir para a redução de resíduos. As atividades contaram com forte participação dos familiares, que se mostraram engajados no projeto", destacou Lucimara.

Divulgação

O conteúdo em formato de videoaula do Vamos Ler foi o ponto de partida das ações da classe nos estudos sobre consumo consciente

APRENDIZADOS

Classe desenvolve oralidade

A professora Lucimara também enfatizou os avanços e ganhos pedagógicos obtidos pelos alunos com as dinâmicas desenvolvidas. "A experiência contribuiu para o desenvolvimento da oralidade, da argumentação e da consciência ambiental dos estudantes, reforçando a importância de discutir temas relevantes de forma participativa e reflexiva", destacou.

Segundo ela, iniciativas assim aproximam os alunos dos conteúdos curriculares por meio de práticas interativas e significativas.

No dia seguinte, a turma vivenciou uma simulação de debate. A professora explicou previamente as regras e a dinâmica da atividade, dividindo os alunos em dois grupos: um a favor e outro contra determinadas atitudes de consumo. Um mediador foi escolhido para conduzir as falas, e os alunos apresentaram argumentos com clareza, demonstrando domínio do conteúdo e espírito crítico.

Vamos Ler e Tetra Pak destacam os objetos renováveis e recicláveis em aula

O projeto **Vamos Ler - Geração Digital**, em parceria com a Tetra Pak, divulga mais uma videoaula, desta vez abordando os materiais renováveis e recicláveis. O conteúdo, vinculado nessa sexta-feira (16), segundo episódio da parceria em 2025, tem como objetivo explicar o que são esses materiais e destacar a importância de sua utilização para o meio ambiente.

A videoaula apresenta de forma clara e acessível os conceitos sobre renovabilidade e reciclabilidade, mostrando como esses materiais são essenciais para a preservação dos recursos naturais e a redução do impacto ambiental. Além disso, o episódio aprofunda o papel da Tetra Pak no uso consciente de tais materiais em seus processos, servindo como exemplo prático de como as empresas podem fazer a sua parte para um futuro mais sustentável.

Com exemplos práticos e sugestões de atividades pedagógicas, o conteúdo incentiva os alunos a refletirem sobre o consumo consciente e o descarte adequado, promovendo ações que podem ser aplicadas no dia a dia escolar e familiar.

Divulgação

A videoaula apresenta de forma clara a necessidade da utilização de materiais renováveis e recicláveis

Estudantes do Colégio Sagrada Família realizam estudos de Física

Os alunos do segundo ano do Ensino Médio do Colégio Sagrada Família participam, sob orientação do professor Samuel Correa Machado, de atividades experimentais voltadas à preparação para Olimpíadas Científicas, com destaque para a 19ª Olimpíada Brasileira de Foguetes.

Segundo o educador, as atividades acontecem aos sábados pela manhã e envolvem os estudantes Ana Leticia Martiniak, Pedro Bonifácio Oliveira Franco, Gabriely Gubert Pianowski, Lucas Carbonar Milão e João Henrique da Silva de Paula. "A prática consiste na construção e lançamento de foguetes feitos com garrafas PET, com foco na análise de aspectos como estabilidade de voo, proporção ideal de reagentes e ângulo de lançamento. Os testes buscam otimizar o alcance dos foguetes, associando a teoria e prática de forma dinâmica e desafiadora", destacou Samuel.

A iniciativa vem sendo desenvolvida pelo professor há dois anos e segue mobilizando os estudantes. As atividades contam com o apoio da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), que cedeu o espaço para a realização dos lançamentos.

Divulgação

As atividades têm empolgado os educandos, com propostas práticas que ocorrem no Campus da UEPG

Fonte: jornal de manhã.