



Variáveis Influenciadoras nos Voos de Foguetes Artesanais: Uma alternativa para o Ensino

Ithalo Gomes Garcia Sousa¹, Enilson Araujo da Silva¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) –
Ituiutaba – MG – Brasil

gomesithalo137@gmail.com, enilson@iftm.edu.br

Resumo. *Este trabalho visa contribuir para o processo de ensino e aprendizagem, ao propor um produto didático por meio de atividades com foguetes artesanais que despertam o interesse dos alunos em conhecimentos científicos. A pesquisa teve como foco identificar o perfil ideal de um foguete artesanal para promover um amplo alcance horizontal em voo estável. Foi conduzida com experimentos envolvendo base de lançamentos em tubo de metal e tubos de PVC, foguetes de formatos variados com estrutura de PET, e lançamentos por reação química entre bicarbonato de sódio e ácido acético. Ao longo do estudo, foram analisados fenômenos ambientais, físicos e químicos, bem como a influência das cargas úteis nos voos. As conclusões apontam para benefícios no ensino de Ciências da Natureza e Matemática, com uma experiência que contextualiza a teoria de forma prática e estimulante.*

Abstract. *This work aims to contribute to the teaching and learning process by proposing a didactic product through activities with handmade rockets that arouse students' interest in scientific knowledge. The research focused on identifying the ideal profile of a handmade rocket to promote a wide horizontal range in stable flight. It was conducted with experiments involving launch pads made of metal tubes and PVC tubes, rockets of various shapes with a PET structure, and launches using a chemical reaction between sodium bicarbonate and acetic acid. Throughout the study, environmental, physical and chemical phenomena were analyzed, as well as the influence of payloads on flights. The conclusions point to benefits in teaching Nature Sciences and Mathematics, with an experience that contextualizes theory in a practical and stimulating way.*

1. Introdução

No atual cenário, é evidente o crescente interesse tanto de instituições governamentais quanto de organizações não governamentais na exploração e conquista do espaço sideral. Essa busca por avanços no espaço exige o desenvolvimento de meios de transporte interplanetários mais acessíveis e de fácil construção, bem como a adoção de novas tecnologias aeroespaciais e a formação de profissionais altamente qualificados para atuar nesse setor. Tais profissionais encontram embasamento em pesquisas conduzidas por pioneiros da área, como Konstantin Tsiolkovsky e Robert Goddard, conforme mencionado por Nogueira, Filho e Souza [2009, p.260].



Por outro lado, as aulas de Ciências são frequentemente questionadas quanto aos seus aspectos teórico-metodológicos, dado que muitas instituições de ensino ainda priorizam aulas expositivas com fins puramente propedêuticos, oferecendo conteúdos lineares com pouca aplicabilidade no cotidiano dos alunos. Diante dessa realidade, atividades que promovam o protagonismo e a autoria dos estudantes, bem como a integração de conhecimentos, têm se destacado. Dentre essas atividades, destacam-se os lançamentos e construção de foguetes artesanais como atividade prática, cujas fundamentações encontram respaldo na Epistemologia do filósofo Gaston Bachelard [1938, *apud* Abreu, 1996], que enfatiza a importância das perguntas como impulsionadoras do conhecimento.

A partir desse pressuposto, a Física assume papel fundamental para o sucesso dos voos dos foguetes, pois suas grandezas estão diretamente relacionadas à aerodinâmica dos protótipos. Nesse sentido, as atividades de lançamento de foguetes abrangem diversos campos do conhecimento, como Física, Matemática, Química, atividades Aeroespaciais, além de promoverem valores como cooperação, trabalho em equipe e criatividade. Essas atividades são propostas em olimpíadas e mostras, como a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) e a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). Os conhecimentos envolvidos estão intrinsecamente ligados aos elementos da aerodinâmica dos foguetes, incluindo o volume da fuselagem, o formato das aletas (empenas), os modelos de coifas, a concentração de soluções e a relação molar dos ingredientes dos propelentes.

Em síntese, um foguete é, estruturalmente, uma câmara contendo gás sob pressão considerável em seu interior. Um pequeno orifício em uma das extremidades da câmara permite que o gás escape, fornecendo a força necessária para impulsionar o foguete na direção oposta, conforme o princípio de ação e reação, conhecido como empuxo [NASA, 2001].

No campo abrangente da exploração aeroespacial, os foguetes desempenham um papel fundamental. A compreensão detalhada de suas estruturas e funcionamento tem sido objeto de investigação em diversas obras [COSTA, 2004; CARANDE, 2011; KASTNER, 2012; SUTTON; BIBLARZ, 2016; SILVA, 2022]. Estudos aprofundados sobre a constituição dos protótipos de foguetes, especialmente aqueles que utilizam garrafas PET como material base, são conduzidos para aprimorar o desenvolvimento desses dispositivos. Tais pesquisas buscam não apenas replicar o funcionamento de foguetes reais, mas também explorar a utilização criativa e acessível de materiais disponíveis na construção desses modelos experimentais.

Os objetivos deste trabalho abrangem o aperfeiçoamento de foguetes artesanais visando aprimorar a estabilidade de voo e alcançar o melhor alcance horizontal possível. Além disso, busca-se gerar argumentos para explorar a utilização dessas atividades no ensino de Ciências da Natureza, contribuindo para o processo de ensino e aprendizagem dos estudantes e fomentando o cumprimento do 4º objetivo de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, que visa assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade, promovendo oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos [ONU, 2015]. Entre as investigações desenvolvidas, procurou-se identificar as variáveis que influenciam nos voos dos foguetes, incluindo dimensões do aparato, concentração de soluto e solvente nos propelentes, e diferentes configurações aerodinâmicas para garantir maior estabilidade ao longo do voo.



2. Materiais e Métodos

A pesquisa foi conduzida no âmbito do programa de Iniciação Científica destinado a alunos do ensino médio do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), campus Ituiutaba. Os experimentos foram realizados no município de Ituiutaba, estado de Minas Gerais, situado nas coordenadas de latitude 18° 57' 55" sul e longitude 49° 27' 49" oeste.

No processo de Iniciação Científica, houve o incentivo a buscar conhecimentos na literatura, abrangendo aspectos relacionados à metodologia de pesquisa, filosofia da ciência, pressupostos de ensino-aprendizagem, astronomia, astronáutica, e conceitos de física, química e matemática.

A metodologia adotada fundamentou-se na premissa de que o conhecimento é impulsionado por questionamentos. Para cada etapa do projeto do foguete, uma pergunta foi formulada, e por meio de experimentação, buscou-se encontrar as melhores respostas. Por exemplo, observando um foguete artesanal e comparando-o com foguetes desenvolvidos por agências espaciais em todo o mundo, foi possível moldar o melhor perfil.

Além disso, foi delineada uma estratégia segura para realizar os lançamentos dos foguetes, em um ambiente que permitisse analisar as variáveis que influenciam os voos, incluindo a medição de temperaturas, pressão atmosférica, velocidade dos ventos no local e horários dos lançamentos.

2.1. Reação Química

Nos lançamentos dos foguetes ocorre uma reação química exotérmica a partir da mistura de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) e ácido acético (CH_3COOH), a qual libera acetato de sódio (H_3CCOONa), água (H_2O) e gás carbônico (CO_2), conforme descrito na fórmula 1.



O ácido etanoico, popularmente conhecido como ácido acético (HAc) é encontrado em solução em diferentes tipos de vinagres com diversas concentrações (%m/m). A produção de CO_2 é proporcional a quantidade de reagentes, para os cálculos iniciais do ácido acético iremos adotar os mesmos valores de densidade (ρ) do vinagre e do ácido acético, sendo $1,01 \text{ g mL}^{-1}$. Assim, utilizando a expressão da densidade (Equação 2), determinamos o volume de vinagre ($V_{\text{ácido acético}}$).

$$\rho_{\text{ácido acético}} = m_{\text{ácido acético}} \div V_{\text{ácido acético}} \quad (2)$$

$$1,01 = 100 \div V_{\text{ácido acético}} \quad (3)$$

$$V_{\text{ácido acético}} = 99 \text{ mL} = 0,09 \text{ L} \quad (4)$$



Outra consideração é sobre os tipos de vinagres, pois possuem variações de 4-6% (m/m) de ácido acético. A partir do volume ($V_{\text{ácido acético}}$), encontramos a relação de massa de ácido acético (m_{HAc}) e porcentagem de ácido acético (%HAc), na forma abaixo (Equação 5).

$$0,09 \div V_{\text{ácido acético}} = \% \text{ HAc} \div m_{\text{HAc}} \quad (5)$$

Então,

$$m_{\text{HAc}} = 44,44 \% \text{ HAc} \cdot V_{\text{ácido acético}} \quad (6)$$

Na equação 2 a proporção molar dos reagentes é de 1:1, então,

$$n_{\text{HAc}} = n_{\text{bicarbonato}} \quad (7)$$

A relação da massa de bicarbonato de sódio (m_b), em gramas, que reagiu na reação 1 é da proporcional,

$$n_{\text{HAc}} \div m_{\text{HAc}} = n_b \div m_b \quad (8)$$

Substituindo os valores das massas molares do ácido acético (60 g mol^{-1}) e bicarbonato de sódio (84 g mol^{-1}), temos:

$$60 \div m_{\text{HAc}} = 84 \div m_b \quad (9)$$

$$60 m_b = 84 m_{\text{HAc}} \quad (10)$$

Substituindo pela equação 6 na equação 10, temos a relação de massa de bicarbonato com a % de ácido acético e volume de ácido acético, ficando:

$$m_b = 62,22 \cdot V_{\text{ácido acético}} \quad (11)$$

Para o cálculo da pressão, temos a equação 12 de *Clausius-Clapeyron*, que expressa a pressão em condições ideais.

$$P = nRT \div V_{\text{útil}} \quad (12)$$

Considerando o valor de $R = 1,205 \text{ (L}^2 \cdot \text{PSI)} \div (\text{mol} \cdot \text{K)}$ para a constante dos gases; V como volume útil; e n o número de mols do ácido acético. Para o volume útil de gás liberado na reação:

$$V_{\text{útil}} = V_{\text{garrafa}} - V_{\text{ácido acético}} \quad (13)$$

E para o número de mols, que está relacionado a estequiometria ao ácido acético. Assim o número de n_{HAc}

$$n_{\text{HAc}} = m_{\text{HAc}} \div M \quad (14)$$

Substituindo a massa de ácido acético pela equação 7:

$$n_{\text{HAc}} = 44,44 \cdot V_{\text{ácido acético}} \div 60 \quad (15)$$

$$n_{\text{HAc}} = 0,74 \cdot V_{\text{ácido acético}} \quad (16)$$

Substituindo as equações 13 e 16 na equação 12 e considerando que não ocorrem trocas de energia na forma de calor, bem como que a temperatura dos reagentes seja a mesma do ambiente, ou seja, 20°C (293,15 K), é possível obter o seguinte resultado:

$$P = (0,74 \cdot V_{\text{ácido acético}} \cdot 1,205 \cdot 293) \div (V_{\text{garrafa}} - V_{\text{ácido acético}}) \quad (17)$$

$$P = (260,5 \cdot V_{\text{ácido acético}}) \div (V_{\text{garrafa}} - V_{\text{ácido acético}}) \quad (18)$$

2.2. Plataforma de lançamentos de foguetes

A fim de concretizar todos os lançamentos com mitigação de variabilidades altas, foi desenvolvida uma base específica para os foguetes artesanais, apresentada na figura 1. Essa estrutura conta com um tubo de PVC como base e um canhão de lançamento em metal, conforme ilustrado na figura 2. Essa base foi projetada para garantir a segurança e a estabilidade dos lançamentos, permitindo a análise precisa das variáveis que influenciam nos voos dos foguetes. Além disso, sua construção permite a reutilização em futuros experimentos e pesquisas relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem, contribuindo assim para a disseminação do conhecimento científico e a formação de profissionais no campo aeroespacial.



Figura 1. Estrutura da base de lançamentos completa. Os autores.

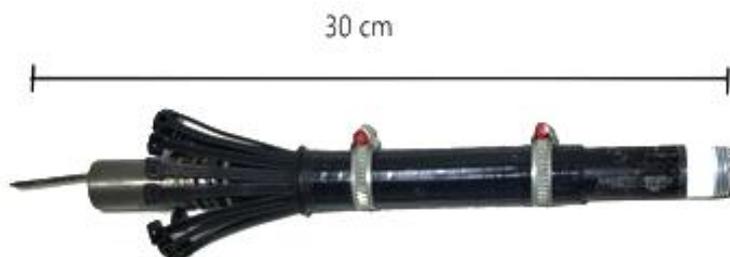


Figura 2. Estrutura da tubeira feita de ferro. Os autores.

Para a elaboração da modelagem da base/plataforma de lançamentos, foram aplicados princípios matemáticos fundamentais, tais como o Teorema de Pitágoras e as Funções Trigonômicas seno e cosseno. Esses cálculos foram especialmente relevantes para definir a inclinação e o ângulo em relação ao plano horizontal, necessários para o posicionamento adequado do canhão de lançamento. Por meio de experimentos realizados nesse momento, observou-se que ângulos complementares, referentes à inclinação do canhão, resultavam em alcances horizontais aproximadamente iguais para os foguetes lançados. Esse achado experimental foi corroborado pela literatura, conforme apresentado por Keller, Gettys e Skove (1997, p. 72), que também indicaram o ângulo de 45° como o mais indicado para alcançar o máximo alcance, conforme ilustrado na figura 3. A utilização desses princípios matemáticos na modelagem da base de lançamentos proporcionou maior precisão e eficiência nos lançamentos dos foguetes artesanais, contribuindo para uma abordagem mais fundamentada e aprofundada no estudo da aerodinâmica desses dispositivos.

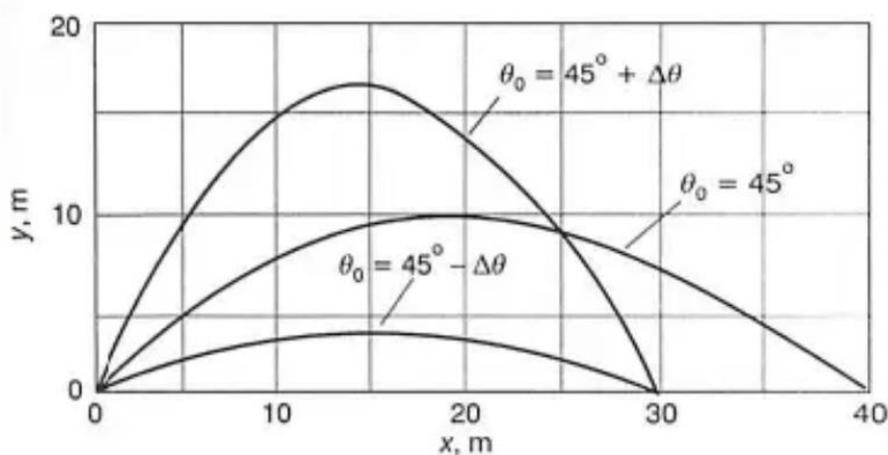


Figura 3. Variação nos ângulos da plataforma. [KELLER; GETTYS; SKOVE, p.72, 1997].

Ao longo de todos os testes realizados, utilizou-se a mesma base de lançamentos, a fim de reduzir ao máximo as variáveis envolvidas nos experimentos. Essa base foi desenvolvida para priorizar o sistema de reação química no foguete, em vez de ocorrer no interior da própria base. Mesmo com esse foco, os eventos químicos durante os

lançamentos foram monitorados com auxílio de um manômetro posicionado na extremidade do tubo de metal. Esse manômetro era responsável por medir a pressão do gás presente no interior do foguete, fornecendo informações para o momento do acionamento do gatilho de lançamento.

Dessa maneira, foi possível montar um aparato funcional, que permitiu a análise detalhada da relação entre a pressão interna do foguete e o alcance horizontal obtido em cada lançamento. Além disso, também foi possível estudar a influência da pressão em relação à concentração do soluto e do solvente presentes nos propelentes utilizados. Essas análises contribuíram para uma compreensão dos fatores que afetam o desempenho dos foguetes artesanais e abriram caminho para futuras pesquisas e otimizações no projeto desses dispositivos.

2.3. Foguetes Artesanais de propelente líquido

Neste estudo, diversos modelos de foguetes PET (Polietileno tereftalato) foram modelados e analisados. Cada foguete foi composto por três partes distintas: corpo, coifa e aletas, conforme representado na figura 4.

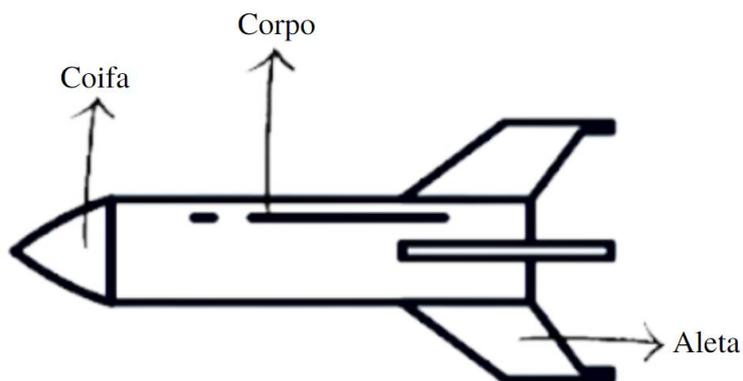


Figura 4. Modelo base de foguetes e suas cargas úteis para análise de desempenho individual.

As cargas úteis desses foguetes artesanais foram divididas de acordo com suas respectivas finalidades, como detalhado na tabela 1.

Tabela 1 – Funcionalidades e propriedades das cargas úteis de um foguete.

Cargas Úteis	Funcionalidade
Coifa	Proteger a carga que está sendo transportada, podendo ser tanto animada, como no caso de astronautas, ou inanimada, como experimentos ou satélites. Sua forma afunilada é projetada para reduzir o atrito do foguete com a



	<p>atmosfera da Terra durante o lançamento. Nos experimentos realizados, optou-se por utilizar a parte superior das garrafas PET para a fabricação da coifa, aproveitando sua estrutura e formato para garantir a máxima eficiência aerodinâmica do foguete. Essa escolha permitiu proteger as cargas úteis transportadas e contribuiu para a otimização do desempenho geral dos foguetes artesanais durante os lançamentos.</p>
Corpo	<p>O corpo do foguete é a estrutura responsável por armazenar e transportar o combustível, também conhecido como propelente, necessário para o funcionamento do foguete. Em uma das extremidades do corpo, ocorre a exaustão dos gases resultantes da combustão do propelente, gerando força de propulsão que impulsiona o foguete. No presente trabalho o material utilizado para a confecção deste aparato foi a garrafa PET com diferentes modelos e tamanhos.</p>
Aletas	<p>As aletas são componentes cruciais do foguete, atuando como asas localizadas na base do corpo. Sua principal função é conferir estabilidade durante o voo, evitando que o foguete se desvie de sua trajetória e mantendo-o em linha reta. Sem as aletas, o foguete tenderia a ter um movimento giratório em torno de seu próprio eixo, o que comprometeria sua estabilidade e precisão durante o lançamento. Nos foguetes artesanais, as aletas foram confeccionadas utilizando cortes de potes de sorvete, aproveitando esse material de fácil acesso para garantir a aerodinâmica dos foguetes e tornar o projeto mais viável e econômico.</p>

Com esse propósito, buscou-se realizar modificações nas cargas úteis dos foguetes, utilizando quatro diferentes formatos de aletas. Quanto à coifa, foram testados modelos de cones curtos e longos, além de ogivas e paraboloides. Durante essas análises, manteve-se constante o volume e o recipiente do corpo do foguete, a fim de permitir a melhor qualificação aerodinâmica possível.



Hipoteticamente, os as aletas mais curtas proporcionam maior estabilidade durante o voo dos foguetes, enquanto a coifa no formato de ogiva é mais eficiente em relação aos demais formatos. Além disso, verificou-se que quanto menor o espaço interno do foguete, maior é a pressão de ejeção do gás, e ao aumentar a concentração da solução propelente, multiplica-se o número de moléculas do gás, resultando em um impulso maior durante o lançamento. Essas descobertas são essenciais para aprimorar o desempenho dos foguetes artesanais e a compreensão de sua aerodinâmica, contribuindo para o desenvolvimento de modelos mais eficientes e precisos para futuros experimentos e aplicações práticas.

3. Resultados e Discussão

A investigação experimental de lançamento de foguetes apresenta desafios decorrentes da abundância de variáveis envolvidas. Para enfrentar essa complexidade, uma abordagem eficaz consiste em realizar experimentos com sucessivos lançamentos de foguetes, com diversificação dos projéteis mediante variações nas massas, pressão, concentrações de propelentes e formatos. Posteriormente, os resultados são analisados por gráficos de linha, buscando verificar a influência das variáveis nos voos dos foguetes.

A fim de aumentar a precisão das medidas, os lançamentos foram replicados para evitar alcances horizontais que pudessem ser afetados por fatores externos, como correntes de vento, escoamento inadequado do propelente ou diferenças no tempo de acionamento do gatilho.

Os gráficos resultantes desses experimentos possibilitaram a obtenção de diversas conclusões e geraram perspectivas para novas pesquisas, como a investigação sobre quais outras tecnologias poderiam ser desenvolvidas com base nos princípios de funcionamento dos foguetes e a análise das pressões do ar sobre o foguete em diferentes pontos durante o voo.

Na fase inicial dos testes, um foguete modelo foi projetado utilizando uma garrafa PET de 2L e com uma massa total de 250 g, sem a presença de propelentes, para manter essas variáveis constantes para os testes subsequentes.

A variação de propelentes iniciou com o uso do ácido acético, conforme apresentado na figura 5. Observou-se que o ácido acético exerce alta influência no alcance horizontal do lançamento, uma vez que proporções elevadas dos reagentes podem aumentar o peso do foguete, comprometendo seu trajeto completo. Após os testes, a proporção ideal para obter uma pressão interna satisfatória foi identificada, utilizando um volume de 1200 mL de ácido acético dissolvendo 120 g de bicarbonato de sódio. Essa combinação permitiu alcançar um voo mais estável dos foguetes artesanais.

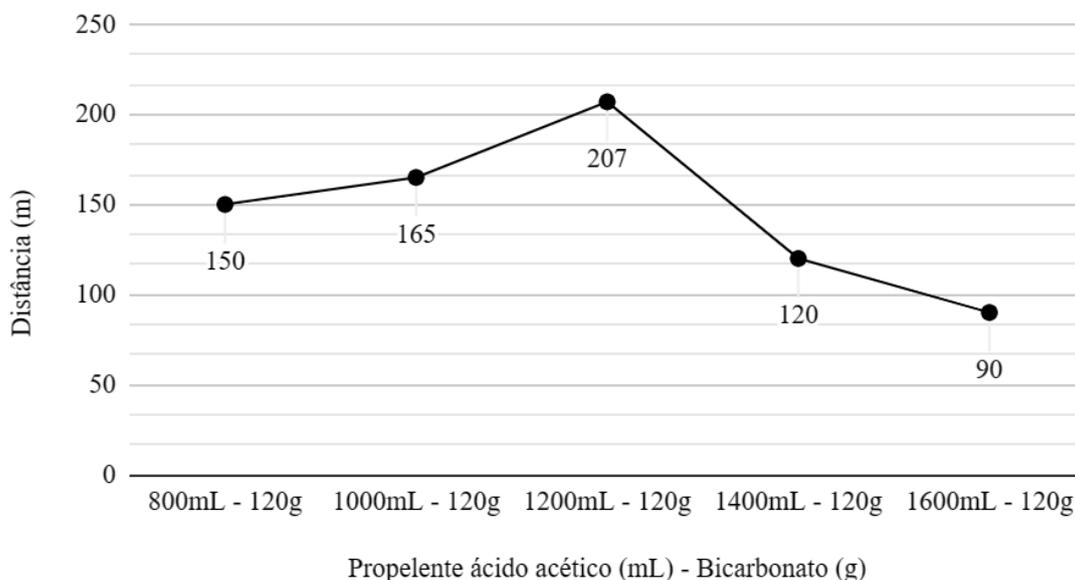


Figura 5. Desempenho do foguete em função do ácido acético utilizado.

A análise da variação de bicarbonato de sódio foi realizada com base nos resultados obtidos a partir da proporção de ácido acético definida previamente. Essa abordagem permitiu manter constante a quantidade de ácido acético e modificar a quantidade de bicarbonato de sódio. Foi utilizada a quantidade previamente calculada para que todo o bicarbonato reagisse completamente com o ácido acético no interior do foguete, conforme ilustrado na figura 6.

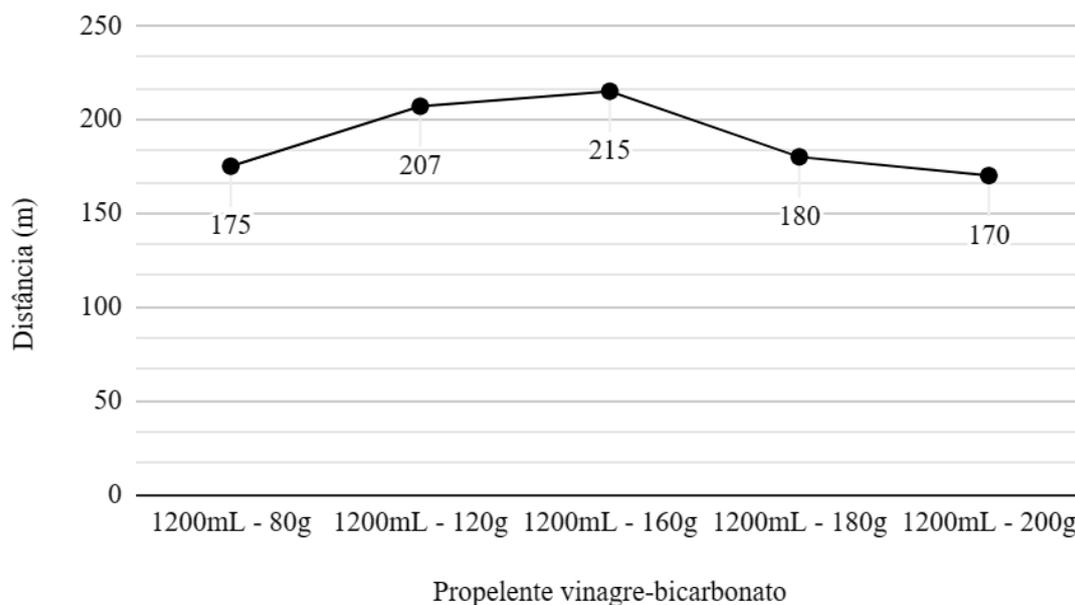


Figura 6. Descrição do desempenho do foguete em função da variação de bicarbonato de sódio.

Assim, pode-se observar que a relação de 1200 mL de ácido acético com 160 g de bicarbonato proporciona o melhor deslocamento horizontal entre os lançamentos, uma vez que ocorre a transformação completa dos reagentes em acetato de sódio, água e gás carbônico, diferentemente dos valores acima dessa proporção, em que parte do bicarbonato de sódio não reagiu completamente.

Após a conclusão da primeira fase dos testes, com a determinação do valor ideal dos reagentes, manteve-se constante as proporções de soluto e solvente na reação química para a segunda fase, que agora foi direcionada para a análise dos acessórios da estrutura aerodinâmica do foguete: a coifa e as aletas.

Desempenho do foguete em função dos modelos de aletas foi feito utilizando protótipos mostrados na figura 7, os quais foram moldados com semelhança a foguetes aeroespaciais ou modelos comuns de foguetes artesanais.

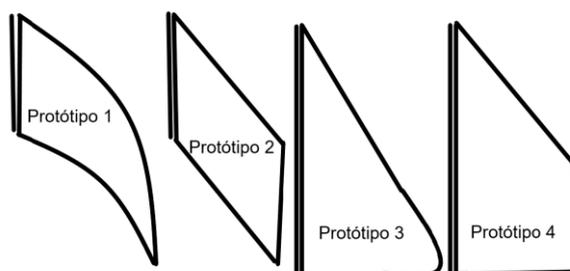


Figura 7. Protótipos de aletas/empenas elaborados para os testes.

O resultado descrito na figura 8 mostra que os protótipos 3 e 4 de aletas são mais eficientes na manutenção da estabilidade do foguete em comparação aos protótipos 1 e 2.

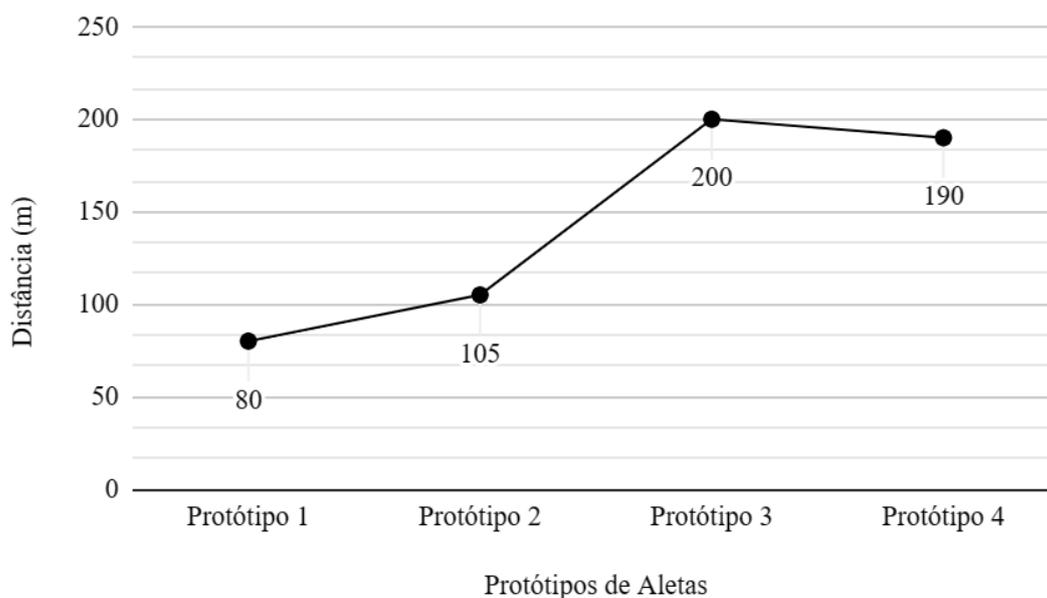


Figura 8. Desempenho do foguete descrito, sob a variação de aletas, com a referência da figura 7.

Na última etapa de avaliação, foi realizada a variação final com a coifa, que possui três formatos básicos de estrutura: cônico, ogival e parabólico (Figura 9). A figura 10 apresenta valores constantes em relação aos protótipos das coifas e seus tamanhos, sendo observado que, embora todas as coifas tenham resultados satisfatórios, a coifa parabólica comprida apresentou o melhor desempenho. Isso se deve ao fato de que ela afasta o centro de pressão do centro de gravidade do foguete, conferindo maior estabilidade durante o voo.

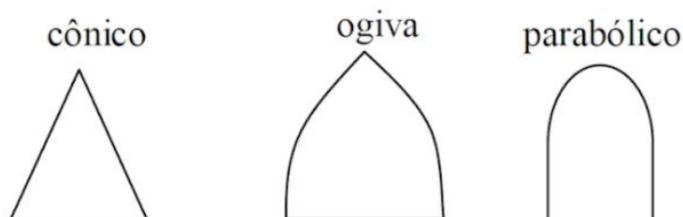


Figura 9. Protótipos de coifas elaborados para os testes.

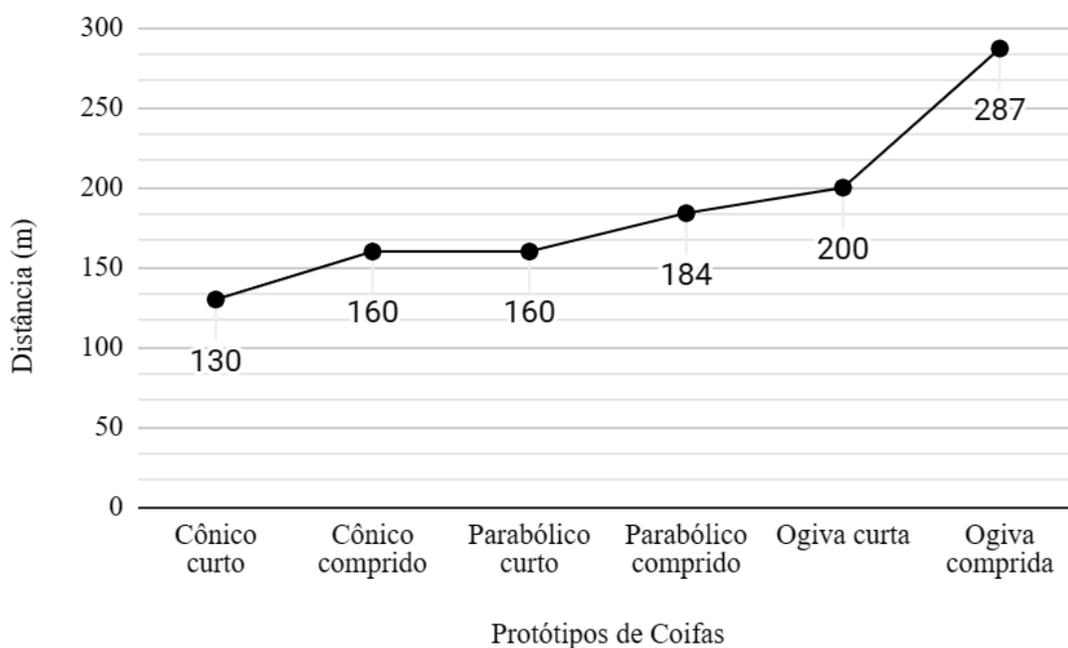


Figura 10. Desempenho do foguete em função das coifas apresentadas na Figura 9.

Com base nos testes realizados, foi possível identificar as principais influências nas características de um foguete artesanal ideal. Dentre as variações analisadas, as que mais se destacaram foram relacionadas às aletas e ao uso do ácido acético como propelente.



Além disso, foi feita uma análise comparativa sobre o resultado da pressão apresentada nas equações (*Clausius-Clapeyron*, equações 19, 20, 21, 22 e 23) com o resultado da pressão expressa nos lançamentos de foguetes.

Para proporção 0,8 L de ácido acético e 120 g de bicarbonato:

$$(65,40 \cdot 4 \cdot 0,8) \div (2,1 - 0,8) = 161 \text{ psi} \quad (19)$$

Para proporção 1,0 L de ácido acético e 120 g de bicarbonato:

$$(65,40 \cdot 4 \cdot 1,0) \div (2,1 - 1,0) = 237 \text{ psi} \quad (20)$$

Para proporção 1,2 L de ácido acético e 120 g de bicarbonato:

$$(65,40 \cdot 4 \cdot 1,2) \div (2,1 - 1,2) = 349 \text{ psi} \quad (21)$$

Para proporção 1,4 L de ácido acético e 120 g de bicarbonato:

$$(65,40 \cdot 4 \cdot 1,4) \div (2,1 - 1,4) = 523 \text{ psi} \quad (22)$$

Para proporção 1,6 L de ácido acético e 120 g de bicarbonato:

$$(65,40 \cdot 4 \cdot 1,6) \div (2,1 - 1,6) = 837 \text{ psi} \quad (23)$$

Tabela 2 – Comparação dos valores teóricos e experimentais da pressão para as reações propostas.

Ácido acético (proporção) + bicarbonato de sódio	Pressão proposta por <i>Clausius-Clapeyron</i>	Pressão alcançada no experimento
0,8 L + 120 g	161 <i>psi</i>	120 <i>psi</i>
1,0 L + 120 g	237 <i>psi</i>	140 <i>psi</i>
1,2 L + 120 g	349 <i>psi</i>	185 <i>psi</i>
1,4 L + 120 g	523 <i>psi</i>	170 <i>psi</i>
1,6 L + 120 g	837 <i>psi</i>	175 <i>psi</i>



Comparando, portanto, os resultados (Tabela 2) tem-se uma análise que se infere uma discrepância nos valores, uma vez que na teoria não há variáveis externas que impactam na obtenção desses dados.

Com os resultados coletados na pesquisa, foi possível constatar que, entre a variação dos propelentes, o ácido acético foi a variável que possuiu maior significância nos resultados de lançamentos. Além disso, entre as cargas úteis analisadas, a alteração da coifa interferiu mais no lançamento, em decorrência da aerodinâmica do foguete.

Para tanto, o melhor foguete a se desenvolver para competições é o foguete com a coifa ogival comprida, suas aletas no modelo de protótipo 3, (Figura 9), com a proporção de propelente de 13 para 100, onde a cada 13 g de bicarbonato seja necessário para uma maior produção de CO_2 100 mL de ácido acético.

4. Conclusões

Portanto, a implementação de abordagens que integram atividades experimentais, transcende a teoria, englobando fases de idealização, construção, testes iterativos e análise de resultados. No âmbito experimental, a proporção de 13 para 100 entre bicarbonato e ácido acético para os propelentes, aliada à escolha de cargas úteis eficientes, como a coifa ogival longa e aletas no modelo de protótipo 3, destaca-se como direcionamento crucial para otimizar o desempenho dos foguetes.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Campus Ituiutaba (IFTM) por apoio com o Programa de Bolsas de Iniciação Científica do Ensino Médio (BIC Jr. IFTM).

Ao orientador Prof.º Me. Enilson Araujo da Silva, por toda condução do trabalho e ensinamentos.

Aos professores Me. Edmilson Nahass Franco e Me. Henrique de Araújo Sobreira, pela contribuição no delineamento matemático e químico, respectivamente, do trabalho.

À família do autor: Julice Gomes Garcia, João Moura Júnior, Dayse Gomes, Paulo Garcia, Luzia Gomes, Luís Felipe Moura e João Vitor Moura.

Aos amigos, Agnaldo A. da Cruz Neto, Felipe D. Tonini e João Lucas O. de Souza pela participação e contribuição em experimentos.

Referências

- Cuzinato, R. R., et al. (2015) “Rocketeers o ensino de física através do lançamento de foguetes artesanais”, In: Rev. Ciênc. Ext. UNIFAL-MG, v.11, n.3, p.40-62.
- Kwller, F. J., Gettys, W. E. e Skove, M. J. (1997) “Física”, In: Makron Books, V. 1 São Paulo.



- NASA - National Aeronautics and Space Administration. Foguetes. (2001) “Manual do Professor com Atividades de Ciências, Matemática e Tecnologia / NASA”; In: Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. — São José dos Campos: Univap.
- Nogueira, S., Pessoa Filho, J. B. e SOUZA, P. N. (2009) “Astronáutica: ensino fundamental e médio”, In: Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB.
- Oliveira, M. A. S. (2008) “Os aspectos físicos e matemáticos do lançamento do foguete de garrafa PET”.
- Organização das Nações Unidas. (2015) “Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável”. In: Nações Unidas Brasil.
- Podesta, M. D. (2007) “A guide to building and understanding the physics of Water Rockets”. In: Ed. National Physical Laboratory (NPL).
- Souza, J. A. (2007) “Um foguete de garrafas PET. In: Física na Escola”, São Carlos, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 4- 11.
- Zanardi, M. C. (2014) “Fundamentos de Astronáutica”. UFABC, Santo André - SP.
- Bachelard, G. (1996) “A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento” / Gaston Bachelard; tradução Esteia dos Santos Abreu. - Rio de Janeiro: Contraponto.
- Carande, F. J. F. (2011) “Motor Foguete de Combustível Sólido”. Orientador: Francisco Miguel Ribeiro Proença Brójo. 2011. Monografia (Mestrado em Engenharia Aeronáutica) - UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR, Covilhã.
- Costa, F. W. (2004) “O PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO: O desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites e sub-orbitais em um ambiente internacional adverso”. Orientador: Meireluce Fernandes da Silva. 2004. Monografia (Bacharelado no curso de Relações Internacionais) - FACULDADE DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E DE CIÊNCIAS SOCIAIS, Brasília. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/187133394.pdf>.
- Silva, S. S. (2016) “FOGUETE: REVISÃO HISTÓRICA E IMPACTOS NA SOCIEDADE” Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso para Licenciatura em Física) - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE CAMPUS CAICÓ, Caiacó, 2022. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/2202/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Sutton, G. P. e Biblarz, O. (2016) “Rocket Propulsion Elements”. 9. Ed.: Wiley.
- Kastner, B. (2012) “Space Mathematics: Math Problems Based on Space Science”. [S. l.]: Dover Publications.