



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2025**

Estudo da Viabilidade de uma Lançadeira Espacial com Propulsão Magnética

Davi Santa Rosa Medeiros¹; Antônio Delson Conceição de Jesus²

1. Davi Santa Rosa Medeiros, PIBIC-EM/CNPq, ENSINO MÉDIO, e-mail: davi.santarosa.medeiros@gmail.com

2. Antônio Delson Conceição de Jesus, DEPARTAMENTO DE FÍSICA, e-mail: a1d1j1@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Propulsão Eletromagnética; Força de Lorentz; Acesso ao Espaço.

INTRODUÇÃO

O acesso ao espaço continua a ser dominado por sistemas de propulsão química, tecnologia consolidada, com custos elevados, em torno de US\$ 10.000 por quilograma lançado em órbita (POWELL; MAISE; RATHER, 2010). A barreira econômica restringe a expansão de missões científicas, comerciais e de exploração espacial em larga escala. Nesse contexto, alternativas disruptivas vêm sendo estudadas, destacando-se os sistemas de propulsão eletromagnética baseados no conceito Inductrack (POST, 2000) e propostas como o Startram. A relevância do tema reside na possibilidade de minimizar custos no acesso ao espaço, impulsionando desde a pesquisa científica até o desenvolvimento de novas cadeias econômicas orbitais. No entanto, tais propostas ainda enfrentam obstáculos estruturais e energéticos de grande escala, como a necessidade de túneis com centenas de quilômetros de extensão e sistemas de potência da ordem de dezenas de gigawatts (POWELL; MAISE, 2009). Esses desafios justificam a análise comparativa entre a eficiência já consolidada da propulsão química e o potencial teórico da propulsão magnética, com o objetivo de identificar vantagens, limitações e perspectivas futuras dessas tecnologias. Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo investigar a viabilidade técnica de sistemas de lançamento baseados em propulsão magnética, por meio de fundamentação teórica em eletromagnetismo e simulações computacionais da força de Lorentz. Especificamente, buscou-se: modelar o desempenho de foguetes químicos multiestágios para estabelecer uma base de comparação; simular o comportamento de sistemas de levitação eletrodinâmica; e analisar a influência dos campos magnético e elétrico na aceleração de projéteis em trilhos de lançamento. Por meio da abordagem comparativa, oferecemos uma avaliação crítica sobre o potencial real e os desafios associados a tecnologias emergentes de acesso ao espaço.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA

Esta pesquisa foi estruturada em três etapas principais: fundamentação teórica, simulações computacionais e análise de modelos alternativos de propulsão eletromagnética. Inicialmente, foi realizado um estudo teórico sobre propulsão de foguetes químicos, com ênfase na equação de Tsiolkovsky e na Mecânica Newtoniana, visando estabelecer uma base comparativa para as tecnologias de lançamento convencionais. Paralelamente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre sistemas de propulsão já consolidados (SUTTON; BIBLARZ, 2016). Em seguida, foram utilizados os fundamentos do eletromagnetismo, com atenção especial à força de Lorentz, essencial para a compreensão da aceleração de partículas em campos eletromagnéticos. A força resultante é dada por:

$$F = q(E + v \times B),$$

em que F é a força [N], q é a carga [C], E o campo elétrico [V/m], v a velocidade [m/s] e B o campo magnético [T]. Ela foi analisada com rigor matemático para fins de implementação computacional. Embora seja uma equação vetorial que, em condições gerais, produz componentes transversais capazes de alterar a trajetória da partícula, no estudo consideramos apenas a componente ao longo do eixo do trilho. A simplificação é justificada pela finalidade do modelo, que busca analisar o ganho de velocidade axial do projétil, pressupondo a existência de mecanismos de guiagem que restringem movimentos laterais. Estudos complementares abordaram sistemas de levitação magnética, como o Inductrack, que utiliza ímãs Halbach e circuitos indutivos para suspensão eletrodinâmica (POST, 2000), e o conceito Startram, que propõe aceleração em túneis de vácuo para alcançar velocidades orbitais (SHUBOV, 2025). Na segunda etapa, foram realizadas simulações de foguetes químicos multiestágios, usando o software REBOUND e o integrador leapfrog (REIN; LIU, 2012). Foram modelados cenários com um, dois e três estágios, sob condições ideais, para comparação de desempenho em termos de altura e velocidade. Por fim, na terceira etapa, foram modelados sistemas de propulsão eletromagnética. Inicialmente, foi simulada a relação entre força de levitação e força de arrasto em função da velocidade, conforme o modelo Inductrack. Em seguida, foram implementados três modelos de lançadeira magnética, variando-se exclusivamente o campo magnético B , depois igualmente o campo elétrico E , e, no final, variando-se ambos os campos B e E em malha tridimensional. As simulações permitiram avaliar a influência sinérgica dos campos na aceleração de projéteis, com destaque para a predominância do campo magnético sobre o elétrico.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO

Os resultados foram organizados em duas categorias principais: o desempenho de foguetes químicos multiestágios e a viabilidade preliminar de sistemas de propulsão eletromagnética, a fim de estabelecer uma base comparativa entre as tecnologias. Nas simulações de foguetes químicos, o modelo de estágio único alcançou 710 km de altura e 2.950 m/s de velocidade. Com o aumento do impulso específico, o desempenho elevou-se para 2.205 km e 4.961 m/s. Os modelos multiestágios apresentaram ganhos significativos: dois estágios atingiram 1.717 km e 4.698 m/s, e três estágios, 2.205 km e 5.224 m/s, confirmando que melhorias de desempenho são possíveis sem aumento

proporcional de massa, fator crítico para custos de lançamento. No âmbito da propulsão eletromagnética, as simulações confirmaram o comportamento teórico do sistema Inductrack, com a razão entre força de levitação (FL) e força de arrasto (FD) aumentando com a velocidade. A análise da força de Lorentz demonstrou a predominância do campo magnético (B) sobre o campo elétrico (E) na aceleração de projéteis. Verificou-se que uma variação de 2,025 T em B equivale, em efeito prático, a uma variação de 3.000 V/m em E. A Figura 1 ilustra a influência combinada desses campos na velocidade final, reforçando a relevância de B no projeto de lançadeiras magnéticas. O uso de campos em torno de 1 T, típicos de ímãs de neodímio (ELLIS, 2006), indica viabilidade de aplicação com ímãs permanentes ou eletroímãs.

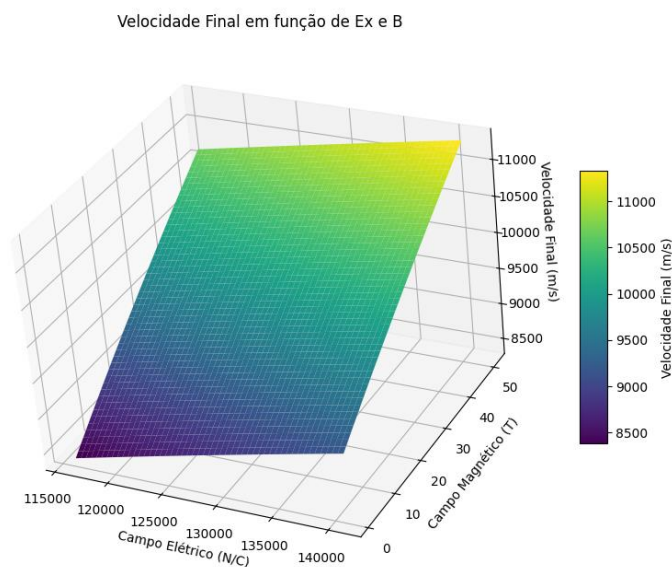


Figura 1: Variação da velocidade final do projétil em função da combinação entre campo magnético (B) e campo elétrico (E) em uma malha tridimensional. O resultado evidencia a contribuição predominante do campo magnético, reforçando sua relevância para a concepção de sistemas de lançadeiras magnéticas.

Fonte: autor.

A revisão bibliográfica destacou o potencial disruptivo de sistemas como o Startram, que poderia reduzir custos de lançamento de US\$ 10.000 para cerca de US\$ 245 por quilograma (SHUBOV, 2025). Contudo, persistem desafios de escala, como a construção de túneis de vácuo com centenas de quilômetros e demandas energéticas na ordem de gigawatts (POWELL; MAISE, 2009).

Em síntese, os resultados reafirmam a eficiência da propulsão química, mas também evidenciam o potencial da propulsão magnética, ainda que sujeita a superação de barreiras técnicas e econômicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu uma análise comparativa entre a propulsão química, tecnologia consolidada para acesso ao espaço, e sistemas de propulsão eletromagnética por levitação magnética, abordagem inovadora com potencial disruptivo. A investigação demonstrou

que foguetes químicos multiestágios proporcionam ganhos significativos de desempenho em altura e velocidade sem um aumento proporcional da massa, confirmando sua eficiência e relevância como solução atual para missões espaciais. Por outro lado, os resultados referentes à propulsão magnética destacaram o considerável potencial teórico. As simulações computacionais comprovaram a predominância do campo magnético sobre o campo elétrico na aceleração de projéteis, conforme descrito pela força de Lorentz, e validaram o comportamento esperado de sistemas como o Inductrack, em que a força de levitação supera significativamente a de arrasto em altas velocidades. Este trabalho reforçou a viabilidade conceptual de lançadeiras magnéticas como uma alternativa para reduzir drasticamente os custos de lançamento no futuro. Contudo, a aplicação prática em larga escala dessa tecnologia ainda enfrenta obstáculos. A necessidade de infraestrutura extensa e complexa, como túneis de vácuo de centenas de quilômetros, aliada a um consumo energético da ordem de gigawatts, representa barreiras técnicas e econômicas ainda não transponíveis. Assim, embora a propulsão eletromagnética se afigure como uma solução tecnologicamente avançada e promissora, a implementação permanece condicionada a avanços futuros nestas áreas. Academicamente, este trabalho cumpriu os objetivos propostos ao permitir o desenvolvimento de competências em modelagem matemática, programação computacional e análise crítica de tecnologias emergentes. Consolidou conhecimentos fundamentais de Mecânica Orbital e Electromagnetismo, e proporcionou uma reflexão sobre os limites atuais e as perspectivas futuras da exploração espacial. Nesse sentido, o estudo abre caminho para investigações mais aprofundadas em propulsão magnética e Dinâmica Orbital, contribuindo para a contínua expansão do conhecimento sobre alternativas de acesso ao espaço.

REFERÊNCIAS

- ELLIS, David. Can a space vehicle be propelled by magnetic fields? 21 dez. 2006. Disponível em: <https://www.madsci.org/posts/archives/2006-12/1166818159.Eg.r.html>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- MAISE, G.; POWELL, J.; PANIAGUA, J. StarTram: An Ultra Low Cost Launch System to Enable Large Scale Exploration of the Solar System. In: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, 2006. Anais [...]. [S. l.]: AIP, 2006.
- POST, R. F.; RYUTOV, D. D. The Inductrack Approach to Magnetic Levitation. Preprint UCRL-JC-138593. Livermore: Lawrence Livermore National Laboratory, 19 abr. 2000.
- POWELL, J.; MAISE, G.; RATHER, J. Maglev Launch: Ultra Low Cost Ultra/High Volume Access to Space for Cargo and Humans. In: SPACE, PROPULSION, AND ENERGY SCIENCES INTERNATIONAL FORUM, 2010.
- REIN, H.; LIU, S.-F. REBOUND. Version 3.26.0, 2012. Disponível em: <https://rebound.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- SHUBOV, M. StarTram Space Launch System. Preprint, 2025.
- SUTTON, G. P.; BIBLARZ, O. Rocket Propulsion Elements. 9. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2016.