

A IMPORTÂNCIA DO FOGUETEMODELISMO NA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

ARTHUR DE SOUSA VIANNA¹, LEONARDO UCHÔA ALVARENGA², KELVIN LUCAS RIBEIRO CAVALCANTE³, HENRIQUE RASIA MONTENEGRO⁴ e ANTONIO VINICIUS RODRIGUES DE SOUZA⁵

¹Aluno de Graduação em Engenharia, ITA, São José dos Campos-SP, arthur.vianna.9162@ga.ita.br;

²Aluno de Graduação em Engenharia, ITA, São José dos Campos-SP, leonardo.alvarenga.9091@ga.ita.br;

³Aluno de Graduação em Engenharia, ITA, São José dos Campos-SP, kelvin.cavalcante.9088@ga.ita.br;

⁴Aluno de Graduação em Engenharia, ITA, São José dos Campos-SP, henrique.montenegro@ga.ita.br;

⁵Aluno de Graduação em Engenharia, ITA, São José dos Campos-SP, antonio.souza.9028@ga.ita.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
7 a 10 de outubro de 2024

RESUMO: O objetivo deste trabalho é discutir como essa metodologia de PBL (*Problem-Based Learning*) pode vir a solucionar problemas sistemáticos da graduação em engenharia no Brasil, problemas esses que reverberam no mercado de trabalho de engenharia no país, como por exemplo na falta de profissionais qualificados. Para tal é explorado como a metodologia é aplicada na ITA Rocket Design, grupo de extensão de alunos do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), e quais e como as habilidades são desenvolvidas, as quais não seriam facilmente fomentadas numa grade curricular de engenharia tradicional.

PALAVRAS-CHAVE: Foguete, indústria aeroespacial, Brasil, PBL, educação.

THE IMPORTANCE OF MODEL ROCKETRY IN ENGINEERING COURSES

ABSTRACT: The objective of this paper is to discuss how the PBL (Problem-Based Learning) methodology can solve systematic problems in undergraduate engineering courses in Brazil, problems that have repercussions in the engineering job market in the country, such as the lack of qualified professionals. To this end, we explore how this methodology is applied at ITA Rocket Design, an extension group of students from ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), and which and how this skills are developed that would not be easily fostered in a traditional engineering curriculum.

KEYWORDS: Rocket, aerospace industry, Brazil, PBL, education.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o cenário da engenharia no Brasil enfrenta uma discrepância significativa entre as demandas do mercado e o currículo acadêmico das faculdades. Muitas instituições de ensino superior carecem de oportunidades práticas adequadas para transmitir conhecimento, limitando-se a projetos e laboratórios com escopo reduzido devido a restrições econômicas e temporais. Isso resulta em um déficit de engenheiros qualificados, como apontado pelo relatório “O Futuro das Engenharias no Brasil” (CREA, 2023), uma vez que os cursos frequentemente priorizam o aspecto teórico em detrimento das habilidades práticas necessárias para resolver problemas reais.

A metodologia PBL (Problem-Based Learning), que foca no aprendizado autodidata, colaboração em grupo e aplicação prática, é vista como uma solução potencial. Nesse contexto, projetos estudantis que integram conhecimentos da indústria no ambiente acadêmico são importantes para melhorar a formação dos futuros engenheiros. Especificamente, para os alunos de Engenharia Aeronáutica ou Aeroespacial, projetos como o de foguetemodelismo universitário oferecem uma oportunidade prática para aplicar conceitos de astronáutica e desenvolver habilidades interdisciplinares e de trabalho em equipe.

Sob essa óptica, o foguetemodelismo caracteriza-se como uma possibilidade do aspirante a engenheiro adquirir o *know-how* exigido pela indústria. Atualmente, no contexto brasileiro, o

foguetemodelismo apresenta-se no âmbito do ensino fundamental e médio pela MOBFOG (Mostra Brasileira de Foguetes), na qual alunos ganham por meio de atividades lúdicas um conhecimento inicial sobre projetar um foguete e no âmbito do ensino superior pela LASC (Latin American Space Challenge), na qual equipes acadêmicas universitárias de diversas faculdades da América Latina e do mundo competem em diversas categorias, exigindo dos competidores um alto conhecimento técnico e prático, passando por diversos processos de segurança para poderem lançar o foguete e, sobretudo, para alcançar o apogeu almejado.

METODOLOGIA

No contexto dos projetos estudantis, a ITA Rocket Design (ITARD) é uma iniciativa de alunos do ITA inseridos no meio do foguetemodelismo acadêmico, na qual os alunos desenvolvem competências em engenharia necessárias para a produção e lançamento de um foguete. Para tanto, a iniciativa é dividida em subsistemas relacionados ao foguete, nas quais os membros dão ênfase ao desenvolvimento das habilidades que competem ao dado subsistema. Os subsistemas dividem-se da seguinte forma:

a) Mecânica de Voo

O subsistema de Mecânica de Voo (MVO) tem como o foco o estudo do comportamento do foguete durante o voo por meio de simulações. A partir do estudo de física e mecânica, é possível recriar pelo computador o movimento do foguete para que seja possível alcançar as exigências do projeto, como apogeu e a área provável de queda do foguete, e assim contribuindo para a segurança do lançamento de fato.

São utilizados, para isso, estudos sobre o comportamento do vento, índice de arrasto do material do foguete e funcionamento do motor. Além disso, para criar a simulação, é necessário o aprendizado de computação e linguagens de programação. A ITA Rocket Design utiliza Julia como linguagem de programação principal, por ser didática e focada na área acadêmica (BEZANSON *et al.*, 2017). Os subsistemas, no início do projeto, passam por um problema de interdependência de dados e resultados, porque partem de condições primitivas. Nesse contexto, a MVO comporta-se também como o pontapé inicial no planejamento, estimando valores base, como massa, comprimento e diâmetro. Com isso, os outros subsistemas podem iniciar seus trabalhos para, enfim, ao longo do estudo e confecção, refinar o foguete com medidas mais precisas para sua simulação e posterior manufatura.

b) Integração e Estruturas

O subsistema de Integração e Estruturas (INT/EST) é o subsistema responsável não somente pelo design do foguete, mas também como a manufatura do mesmo. Devido aos requisitos deste subsistema, os integrantes dele acabam por desenvolver uma visão holística do foguete e das necessidades e dificuldades de produzir tal máquina, sendo ele o responsável por adequar-se, alterar ou os requisitos dos demais subsistemas baseados no que é viável de manufaturar com os recursos e tempo disponíveis no momento.

Graças a essas exigências, o membro desse subsistema acaba por desenvolver um alta criatividade e competência técnica nas áreas de manufatura para solucionar os problemas enfrentados no desenvolvimento do foguete, utilizando para tais tarefas CAD (*Computer-Aided Design*) e outras ferramentas para projetar o foguete, simular massas e fazer cálculos das cargas estruturais enfrentadas durante o voo. Além disso, é vital que o membro desenvolva *soft skills* tanto para conversar com fornecedores de componentes ou com parceiros para disponibilizar laboratórios e oficinas para produzir e armazenar o foguete, bem como para comunicar com os próprios colegas dos outros subsistemas, tanto para dar feedback das demandas deles, como para entender as verdadeiras necessidades dos subsistemas e propor soluções condizentes com o projeto.

c) Propulsão

O subsistema de Propulsão (PRP) é responsável por transformar a energia química armazenada no propelente em energia cinética para o voo. Para tal, são estudados tanto o propelente a ser usado quanto as suas interações com o motor em que será operado.

O motor é o estágio inferior do foguete, em que os gases resultantes da queima do propelente são manipulados para maximizar a transformação de energia, impulsionando assim os estágios superiores. O motor tem seu design feito usando como base os recursos de Nakka (2024), um experimentalista de foguetemodelismo americano, cujos conhecimentos também são essenciais para a fabricação do propelente.

Este subsistema é profundamente engajado com desenho computadorizado na forma de CAD. Essa ferramenta é usada tanto para fazer o design do motor quanto para peças que auxiliam na confecção do propelente. Sendo assim, este subsistema permite ao estudante de engenharia aprender sobre modelagem 3D de *software* e também sobre os processos químicos e físicos que regem a propulsão na foguetaria, sendo que estes conhecimentos podem ser usados em projetos mais ambiciosos de foguetaria ou de engenharia no geral, sejam eles dentro ou fora da iniciativa.

d) Aerodinâmica

O subsistema de Aerodinâmica (AED) apresenta como principais objetivos a minimização do arrasto aerodinâmico e o alcance da estabilidade do foguete durante o voo. Os principais objetos de estudo da AED são a coifa e as empenas (ou aletas) do foguete. A coifa é a carenagem superior do foguete e tem como propósito principal a suavização do arrasto de pressão resultante do movimento vertical do foguete. As empenas, por sua vez, influenciam diretamente na distribuição das pressões aerodinâmicas sobre o foguete, determinando o ponto de atuação das forças aerodinâmicas e, assim, interferindo na estabilidade do voo.

Para a confecção da forma e das dimensões desses componentes, em primeira análise, são utilizados *softwares* de resolução de equações aerodinâmicas que permitem calcular valores de coeficientes aerodinâmicos para um dado formato de coifa e/ou de empenas. É possível, então, modelar tais componentes alterando-se suas dimensões para minimizar o efeito do arrasto do ar no foguete e para alcançar maior estabilidade baseado nos resultados das simulações do programa. Ademais, existe o campo de CFD (*Computational fluid dynamics*), que consiste na resolução numérica das equações que governam a mecânica dos fluidos, permitindo a modelação do fluxo de ar ao redor do foguete. Há, ainda, a possibilidade de utilização do túnel de vento subsônico localizado no DCTA – onde se encontram as instalações do ITA – para medição dos coeficientes aerodinâmicos do foguete *as-built*, cujos resultados são tidos como “a última palavra” da AED e servindo, então, como um método de validação das simulações feitas computacionalmente.

A AED é coordenada com diversos subsistemas durante a realização do projeto. Em especial, em um primeiro momento, há um trabalho em conjunto com a MVO para uma estimativa de parâmetros de estabilidade do foguete e com a EST em relação à maneira de manufatura da coifa e das empenas, destrinchando a viabilidade e o material. Há, ainda, uma comunicação com a PRP para análises aerodinâmicas da fase propulsionada da trajetória.

e) Eletrônica

O subsistema de Eletrônica (ELE) é responsável tanto pela aquisição de dados de voo quanto por acionar outros subsistemas usando sinais elétricos. Para tal, se usa da área de eletrônica embarcada, uma área da que lida com a integração e operação de componentes apropriados para voo.

No quesito de aquisição, são usados sensores determinação da posição e orientação do foguete é feita por fusão sensorial de sensores inerciais, barométricos e de geolocalização. Adicionalmente, outros sensores podem coletar dados adicionais, como a pressão do motor foguete ou vídeo. Esses dados

podem ser armazenados localmente ou transferidos ao vivo para a base terrestre usando telemetria por radiofrequência, um sistema também projetado por alunos.

Quanto ao acionamento, a ELE trabalha em conjunto com a PRP para iniciar o lançamento do foguete, acionando o ignitor do propelente, e com o subsistema de recuperação (REC) para acionar as cargas pirotécnicas que liberam o paraquedas. No acionamento, o sinal advém da base de lançamento, e, na recuperação, advém da lógica interna da placa – programada em C++ pelos membros – pois ela determina o ponto ótimo para o acionamento da REC.

f) Recuperação

O subsistema de Recuperação (REC) é integral para a finalização da missão, pois garante uma descida controlada que permite recuperar o foguete, possibilitando que possa ser reutilizado em outro lançamento e, no caso de foguetes que não possuem telemetria, recuperar os dados armazenados.

A REC, assim como a AED, usa ferramentas de cálculo aerodinâmico para auxiliar no design dos paraquedas, fixando parâmetros como formato e velocidade terminal de descida para obter área total e peso, por exemplo. Há, também, a possibilidade de utilização de túnel de vento para obtenção de coeficientes aerodinâmicos do paraquedas. Além disso, existe também uma aplicação de engenharia dos materiais dada a necessidade de desenvolver um paraquedas capaz de suportar os picos de tração presentes na frenagem do foguete, gerando assim uma dinâmica entre usar um material forte o suficiente para não falhar mas leve o suficiente para não afetar o resto da missão.

Há, ainda, conceitos físicos aplicados ao sistema de acionamento da recuperação, consistindo, por exemplo, na expansão de gases aprisionados em um compartimento interno liberados por meio de uma carga pirotécnica.

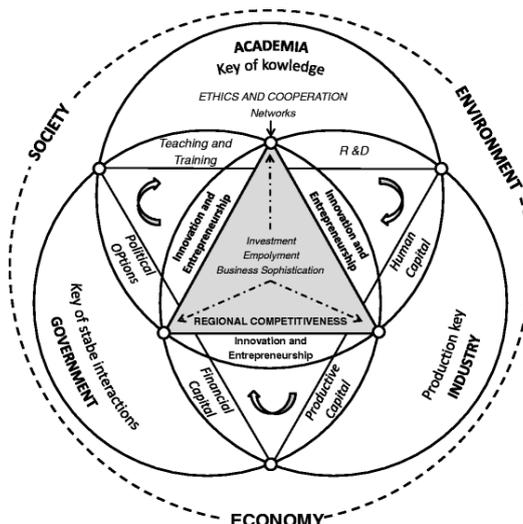
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da integração entre os subsistemas descritos – regida pela implementação de conceitos de engenharia de sistemas na gestão do projeto – nota-se como o modelo de aprendizagem proporcionado pela ITA Rocket Design é bem-sucedido em relação ao que se propõe. O desenvolvimento de projetos na prática e a mão na massa contribuem para uma formação sólida que prepara o estudante de engenharia para a indústria.

Esse sucesso pode ser verificado também em outras equipes de foguetemodelismo no Brasil e no mundo, dentre as quais ressaltam-se MIT Rocket Team (EUA), PUT Rocketlab (Polônia), DARE (Delft Aerospace Rocket Engineering, Holanda) e USCRPL (University of Southern California Rocket Propulsion Lab, EUA) – esta última, inclusive, sendo responsável por desenvolver o primeiro foguete universitário a sair da atmosfera terrestre, em 2019. Também vale frisar que as equipes citadas são reconhecidas academicamente pela instituição – não consistindo de uma equipe independente de estudantes – o que permite que a universidade proveja recursos tanto financeiros quanto operacionais (como acesso aos laboratórios) para os grupos de extensão acadêmica.

Essa conjuntura se encaixa no modelo da tripla hélice da inovação, em que o eixo tripartite governo-academia-indústria fomenta a incubação de inovação regional (LEYDESDORFF, 1998), conforme exibido pelo esquema da Figura 1. O papel das iniciativas universitárias nesse modelo é desenvolver mão de obra qualificada e atender às demandas industriais, fomentando, também, a inovação por meio da produção de documentação científica e o empreendedorismo e a criação de *startups*. Um resultado efetivo desse modelo foi a criação da Bizu Space, empresa voltada para a indústria aeroespacial originada em São José dos Campos criada por ex-integrantes da ITA Rocket Design.

Figura 1. Esquema do modelo da tripla hélice da inovação (FARINHA, 2016)



CONCLUSÃO

Tendo em vista o cenário atual brasileiro da falta de mão de obra qualificada, principalmente na indústria aeroespacial, as iniciativas acadêmicas de foguetemodélismo – como a ITA Rocket Design – cumprem um papel muito importante no desenvolvimento da inovação e da indústria regionais. O método de conhecimento proporcionado pela ITARD, por meio de seus múltiplos subsistemas, permite ao graduando em engenharia a assimilação dos conceitos físicos aplicados à prática na elaboração de projetos, capacitando-o para a indústria complementando o ensino universitário. Assim, o incentivo à criação de iniciativas dessa natureza, em parceria com a instituição, promove o desenvolvimento da pesquisa e o crescimento econômico.

AGRADECIMENTOS

À ITAEx por concessão de recursos essenciais para a manutenção do grupo de extensão.

Ao Prof. Dr. Aírton Nabarrete por suas contribuições no auxílio ao grupo de extensão ITA Rocket Design que possibilitaram a execução desse projeto.

REFERÊNCIAS

- BEZANSON, J.; EDELMAN, A.; KARPINSKI, S.; SHAH, V. B. Julia: A Fresh Approach to Numerical Computing. *SIAM Review*, v. 59, n. 1, p. 65–98, 2017.
- CREA. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia. **O Futuro das Engenharias no Brasil**. 2023. Disponível em: https://www.creaba.org.br/wp-content/uploads/2023/12/futuro_engenharias-compactado-1.pdf. Acesso em: 29 de agosto de 2024.
- FARINHA, L.; FERREIRA, J.; GOUVEIA, B. Networks of Innovation and Competitiveness: A Triple Helix Case Study. *Journal of the Knowledge Economy*, Springer, v. 7, p. 259–275, 2016.
- JAYARAM, S.; BOYER, L.; GEORGE, J.; RAVINDRA, K.; MITCHELL, K. Project-based introduction to aerospace engineering course: A model rocket. *Acta Astronautica*, Elsevier, v. 66, n. 9-10, p. 1525–1533, 2010.
- LEYDESDORFF, L.; ETZKOWITZ, H. The Triple Helix as a model for innovation studies. *Science and Public Policy*, Beech Tree Publishing, v. 25, n. 3, p. 195–203, 1998.
- NAKKA, Richard. **Nakka Rocketry Website**. 2024. Disponível em: <https://www.nakka-rocketry.net/>. Acesso em: 29 de agosto de 2024.
- PERRENET, J. C.; BOUHUIJS, P. A.; SMITS, J. G. The Suitability of Problem-based Learning for Engineering Education: Theory and Practice. *Teaching in Higher Education*, Taylor & Francis, v. 5, n. 3, p. 345–358, 2000.