



**Fundação Universidade Federal do ABC**  
**Pró reitoria de pesquisa**

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580  
Bloco L, 3º Andar, Fone (11) 3356-7617  
iniciacao@ufabc.edu.br

Projeto de Iniciação Científica submetido  
para avaliação no Edital: 04/2022

**Título do projeto:** Simulação de arrasto em para-quedas: revisão bibliográfica, fundamentos e aplicações preliminares.

**Palavras-chave do projeto:** Simulação Fluido-Estrutura. Paraquedas. Métodos de Elementos Finitos.

**Área do conhecimento do projeto:** Mecânica dos Fluidos. Método de Elementos Finitos. Simulação Fluido-Estrutura.

# Sumário

1	Resumo	3
2	Introdução e Justificativa	4
3	Objetivos	6
4	Metodologia	6
5	Cronograma	8

# 1 Resumo

O uso de paraquedas se tornou essencial para a recuperação de veículos espaciais e envio de suprimentos para regiões de difícil acesso, porém seu desenvolvimento envolvendo testes empíricos é custoso e demorado, visto que variam desde a ancoragem do paraquedas a veículos civis até a utilização de foguetes de sondagem. Buscando contornar essa limitação, pesquisadores e empresas buscam métodos computacionais, como por exemplo, a análise por elementos finitos ou outras abordagens mais simplificadas como modelos de massa-mola. O presente projeto realizará em primeira instância a revisão bibliográfica dos fundamentos do desenvolvimento de paraquedas, métodos utilizados para sua simulação computacional e aplicações preliminares baseadas em estudos de casos com os métodos selecionados.

## 2 Introdução e Justificativa

O primeiro teste público de um paraquedas foi realizado em 1783 por Louis-Sébastien Lenormand, que saltou com dois guarda-chuvas reforçados com cabos fixados de suas pontas até a alça de uma torre de 4 metros. [10] Desde então mais interesse foi dado aos paraquedas, sendo utilizado pelos militares como tecnologia para salvar soldados de pulos dos balões de ar quente, tornando-se um esporte internacional em 1952 [6] e até mesmo utilizado em Marte para o pouso seguro da sonda *Perseverance* da missão *Mars 2020*. [2]

Figura 1: Lenormand pula da torre do Observatório de Montpellier, 1783.



Fonte: Repositório de imagem Wikimedia Commons.<sup>1</sup>

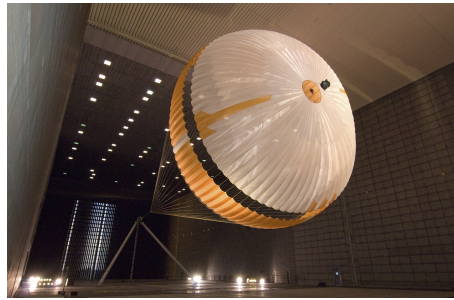
Segundo R.C.Maydew et al. (1991), uma abordagem evolucionária ao desenvolvimento do paraquedas era possível, pois a necessidade de seus requisitos eram feitas em pequenos passos ao contrário de grandes pulos. Testes de voo eram acessíveis e abundantes. Porém, com o avanço da tecnologia, essa abordagem se tornou insuficiente, pois novas demandas de projetos foram inseridas como avanços no modo de voo de aeronaves, recuperação de cápsulas espaciais e espaçonaves. Concomitantemente, o maior valor agregado das cargas pagas tornou sua recuperação não mais como algo "opcional".

Ainda de acordo com os autores, outros fatores como o aumento do custo para testes de voo acima de uma ordem de magnitude e maiores restrições de tempo para o desenvol-

<sup>1</sup>Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Early\\_flight\\_02561u\\_\(3\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Early_flight_02561u_(3).jpg) Acesso em 13 de Junho de 2021.

vimento tornam inviável o *design by test*. Essas limitações fizeram com que os projetistas de paraquedas procurassem por outras abordagens para o desenvolvimento de paraquedas, sendo elas o aprimoramento dos fundamentos teóricos de paraquedas e o emprego de simulações computacionais através de técnicas de modelagem matemáticas para representação do seu comportamento aerodinâmico e estrutural.

Figura 2: Paraquedas da missão Curiosity no maior túnel de vento do mundo, localizado no Centro de Pesquisa Ames da NASA.



Fonte: NASA.<sup>2</sup>

A implantação com sucesso de um paraquedas significa a execução de eventos consecutivos, começando com o compartimento ou pacote que ele se encontra junto ao corpo a ser recuperado e a implantação contínua com a extração do paraquedas e cordas até que ambos estejam esticados com a extremidade do paraquedas pronta para o processo de inflação. [8]

Os eventos descritos acima são dependentes de muitas variáveis e interações físicas complexas, necessitando de um trabalho extensivo para que se obtenha uma modelagem acurada dos sistemas de um paraquedas. Alguns trabalhos realizados buscam explorar e executar tais desafios da interação fluido-estrutura de um sistema de recuperação, alguns exemplos são os trabalhos de S. Sathe et al. (2007) [5] e Benjamin Tutt et al. (2005) [7], que utilizam *softwares* de elementos finitos.

Um dos maiores objetivos dos testes de paraquedas é a obtenção de seu coeficiente de arrasto, sendo esse o principal fator que influenciará na desaceleração do sistema de recuperação, que é o principal objetivo. Esse valor poderia ser obtido de maneira relativamente simples durante os testes práticos, se não fosse pela alta necessidade de instalações, recursos e tempo. [3]

Para geometrias simples esse valor é descrito dentro de intervalos relativamente pequenos, como por exemplo um paraquedas cruciforme que tem seu coeficiente de arrasto definido entre 0.6 e 0.85 [9]. Mas para muitos casos esse valor pode ser difícil de se estimar,

---

<sup>2</sup>Disponível em: [https://www.nasa.gov/images/content/333681main\\_D2009\\_0331\\_T0164.jpg](https://www.nasa.gov/images/content/333681main_D2009_0331_T0164.jpg)  
Acesso em 14 de Junho de 2021.

levando em consideração que os paraquedas podem ter geometrias complexas e materiais de diversas porosidades.

Diante dessa necessidade e das limitações que um teste empírico pode impor, a alternativa das simulações computacionais se tornam atrativas para o estudo do comportamento de um paraquedas como evidenciado pelos trabalhos de Pedro Pimentel (2020) [4] e Yves Coque et al. (2011) [1]. Mesmo sendo uma área de interesse de várias organizações e grupos, o material sobre modelagem e simulação de paraquedas ainda é limitado, tornando-se uma área com bastante oportunidade de desenvolvimento.

Existe também por parte de entidades da UFABC a necessidade de maior aprofundamento da área para melhoria do desempenho de projetos da equipe, como por exemplo o Departamento de Recuperação da UFABC *Rocket Design*, que viria a se beneficiar de técnicas de modelagem computacional de paraquedas, uma vez que as mesmas são caras como mencionado anteriormente.

### 3 Objetivos

Os objetivos do presente projeto são:

- Realizar a revisão bibliográfica sobre os fundamentos básicos que envolvem a implantação de um paraquedas, desde seus fenômenos físicos até sua modelagem;
- Estudo e aprendizagem sobre as áreas que abordam a realização de um projeto de paraquedas tanto na parte estrutural como aerodinâmica;
- Revisão bibliográfica de artigos que executam a modelagem matemática e computacional de um paraquedas;

### 4 Metodologia

A metodologia a ser aplicada será:

- a. Revisão bibliográfica;
- b. Estudo dos fundamentos teóricos necessários para a construção da modelagem de um paraquedas;
- c. Busca por trabalhos que desenvolvem métodos computacionais com as palavras-chave "paraquedas" e "simulação fluido-estrutura";

- d. Estudo de caso baseado nos métodos dos trabalhos selecionados e análise dos dados obtidos.

Primeiramente, na revisão bibliográfica será reunido o material necessário para a modelagem de um paraquedas. Em seguida, com a busca de trabalhos onde é desenvolvido um modelo para a simulação de paraquedas por métodos computacionais, serão filtrados aqueles que se tornarem relevantes para aplicação em tais *softwares* como *Ansys LS-Dyna*, *Altair HyperMesh* e *MatLab*, os quais poderão ser utilizados pelo autor.

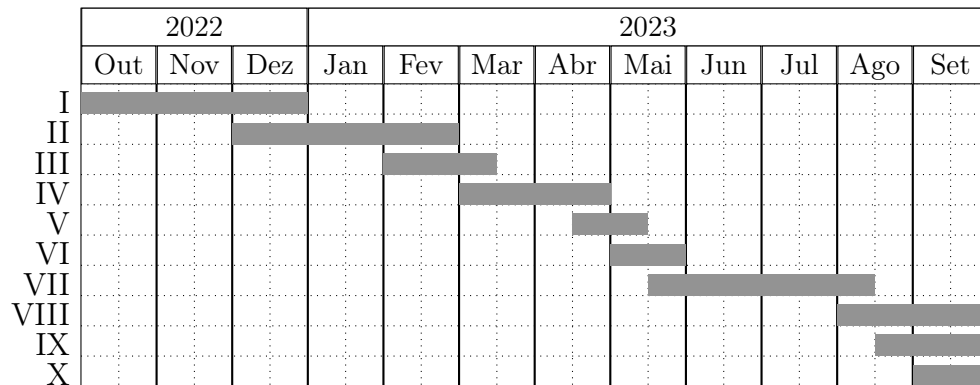
Posteriormente, a partir dos modelos selecionados, será realizado estudo de caso envolvendo os métodos selecionados, determinando as técnicas, ferramentas, critérios e condições de contorno de tais modelos.

## 5 Cronograma

### Atividades:

- I Revisão bibliográfica;
- II Estudo dos fundamentos teóricos;
- III Relatório Parcial (23 de Março de 2023);
- IV Revisão do tópico de elementos finitos;
- V Atualização bibliográfica;
- VI Seleção de modelos;
- VII Estudo dos métodos empregados nos modelos selecionados;
- VIII Relatório Final;
- IX Elaboração de artigo para congresso ou periódico;
- X Apresentação no Simpósio UFABC 2023.

Figura 3: Cronograma em diagrama de Gantt.





## Referências

- [1] Yves Coquet, Pascal Bordenave, Guillaume Capmas, and Christine Espinosa. Improvements in fluid structure interaction simulations of parachutes using LS-dyna®. In *21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, May 2011.
- [2] NASA. Mars 2020 perseverance rover, jun 2022. Acessado em 12/06/2022 as 10:55.
- [3] Lars Pepermans, Wim Jodehl, Thomas Britting, Thomas Bosboom, Esmée Menting, Mohamed Sahir Sujahudeen, Sowndariya Dhiyaneeswaran, Sabin Viorel Anton, Marek Homola, Ondřej Dvořák, and Niklas Knöll. Architectures of parachute testing. 10 2021.
- [4] Pedro Ismael Pavinski Pimentel. Parachute simulation: integration methods. 2021.
- [5] S. Sathe, R. Benney, R. Charles, E. Doucette, J. Milette, M. Senga, K. Stein, and T.E. Tezduyar. Fluid–structure interaction modeling of complex parachute designs with the space–time finite element techniques. *Computers & Fluids*, 36(1):127–135, January 2007.
- [6] Kjetil Søreide. The epidemiology of injury in bungee jumping, BASE jumping, and skydiving. In *Medicine and Sport Science*, pages 112–129. S. KARGER AG, 2012.
- [7] Benjamin Tutt and Anthony Taylor. The use of LS-DYNA to simulate the inflation of a parachute canopy. In *18th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, May 2005.
- [8] Maurício Guimarães da Silva e Paulo Moraes Jr. Victor Koldaev. *SIMULATION OF PARACHUTE DYNAMICS*. 1999.
- [9] Theo w. Knacke. *Parachute Recovery Systems Design Manual*. NAVAL WEAPONS CENTER, 1991.
- [10] Lynn White. The invention of the parachute. *Technology and Culture*, 9(3):462, July 1968.