

## Análise de Manobras Orbitais revisitando o Problema de Lambert

Eduardo O. Noveti<sup>1</sup>, Denilson P. S. Santos<sup>2</sup>, Crystopher C. Brito<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista - UNESP - FESJ - São João da Boa Vista, SP,

Jorge K. S. Formiga<sup>4</sup>

Universidade Estadual Paulista - UNESP - ICT - São José dos Campos - SP

O problema proposto por Johann Heinrich Lambert, resolvido por Joseph-Louis Lagrange, é de extrema importância para o estudo de manobras orbitais, mesmo sendo proposto no século 18, o Problema de Lambert é aplicado nas áreas de manobras orbitais de **rendesvous**, **fly-by**, **swingby**, manobras de correção de órbitas, etc [5]. De forma simples, esse problema visa mudar o estado de um veículo espacial do ponto  $r_i$ ,  $v_i$  e  $m_i$  no instante  $t_i$ , para  $r_f$ ,  $v_f$  e  $m_f$  no instante  $t_f$  com o menor consumo de combustível possível ( $m_f - m_i$ ) (Fig. 1). A depender da missão, o problema pode apresentar diferentes graus de liberdade [3].

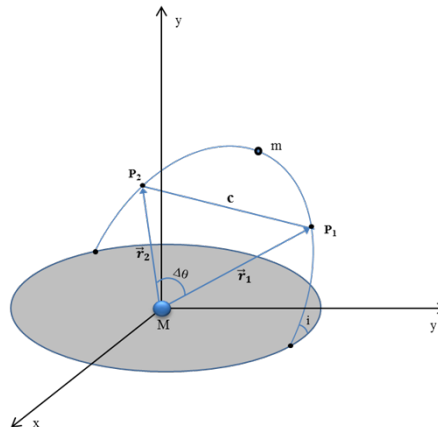


Figura 1: Problema de Lambert.

Entre transferências de órbitas há vários fatores críticos que devem ser analisados, entre eles, o tempo gasto com a transferência, limite nos atuadores, estado do veículo, são alguns desses fatores a serem analisados. O ponto com maior foco neste trabalho é o consumo de combustível para a realização da manobra [4, 8], embora o tempo requerido para a conclusão da manobra irá ser considerado e analisado.

<sup>1</sup>eduardo.noveti@unesp.br

<sup>2</sup>denilson.santos@unesp.br

<sup>3</sup>crystopher.brito@unesp.br

<sup>4</sup>jorge.formiga@unesp.br

A pesquisa proposta por esse trabalho é de comparar métodos de transferência orbital para veículos espaciais [1] e obter os resultados que quantifiquem essa comparação. Para isso, foi desenvolvido programas em linguagens Python e Matlab que implementem e compare duas técnicas para o cálculo de manobras orbitais bi-impulsivas. A primeira delas calcula a solução através do Problema de Lambert dentro do modelo de dois corpos e a segunda delas utiliza como dinâmica o problema restrito de três corpos. A seguir a comparação é feita tanto para o consumo de combustível como para o tempo de duração da manobra. A comparação utilizando algoritmo genético [2] também será empregada, utilizando do Problema de Lambert como uma função fitness para as comparações [6, 7].

Como resultado preliminar, obteve-se o código para o cálculo do valor mínimo do ( $\Delta V$ ), incremento total de velocidade necessário para realizar a manobra de transferência orbital, analisadas através da transferência de Lambert (em Python e Matlab), buscando o mínimo consumo de combustível entre as manobras de transferência. Os códigos desenvolvidos forneceram bons resultados em aplicações testes, tanto para o algoritmo genético, minimizando os valores da função objetivo, quanto para o Runge-Kutta de 4<sup>a</sup> ordem e a transferência de Lambert.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CNPQ, pelo apoio a pesquisa, e a Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista - UNESP pelo apoio ao trabalho e pela visibilidade.

## Referências

- [1] Vladimir A Chobotov. **Orbital mechanics, third edition (aiaa education series)**. 3a. ed. AIAA. ISBN: 9788529402024.
- [2] Oliver Kramer. **Genetic algorithm essentials**. Studies in computational intelligence №679. 2017.
- [3] E.R. Lancaster et al. **A Unified Form of Lambert's Theorem**. NASA technical note. National Aeronautics e Space Administration, 1969. URL: <https://books.google.com.br/books?id=1Tj2Wfu84MsC>.
- [4] Denilson P. S. Santos, Anderson R. B. Teodoro e Antônio F B. Prado. “Rendezvous maneuvers using genetic algorithm”. Em: **Journal of Physics: Conference Series**. Vol. 465. 1. IOP Publishing. 2013, p. 012005.
- [5] Denilson P. S. Santos. “Aplicações em manobras espaciais do problema de múltiplos encontros”. pt. Dissertação de mestrado. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005-08-31 de 2009, p. 127. URL: <http://urlib.net/ibi/6qtX3pFwXQZGivnJSY/JcET8>.
- [6] Denilson P. S. Santos e Jorge K. S. Formiga. “Application of a genetic algorithm in orbital maneuvers”. Em: **Computational and Applied Mathematics** 34.2 (2015), pp. 437–450.
- [7] Denilson P. S. Santos, Antônio F. B. A. Prado e Guido Colasurdo. “Four-impulsive rendezvous maneuvers for spacecrafts in circular orbits using genetic algorithms”. Em: **Mathematical Problems in Engineering** 2012 (2012).
- [8] Denilson P. S. Santos e Antônio FBA Prado. “Minimum fuel multi-impulsive orbital maneuvers using genetic algorithms”. Em: **Advances in the Astronautical Sciences** 145 (2012), pp. 1137–1150.