

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Pedro Kuntz Puglia

ORBITAL MANEUVER OPTIMIZATION

Trabalho de Graduação
2025

Curso de Engenharia Aeroespacial

Pedro Kuntz Puglia

ORBITAL MANEUVER OPTIMIZATION

Orientador

Prof. Dr. Willer Gomes dos Santos (ITA)

Coorientador

Prof. Emilien Flayac (ISAE-SUPAERO)

ENGENHERIA AEROESPACIAL

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2025

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Puglia, Pedro Kuntz
Orbital Maneuver Optimization / Pedro Kuntz Puglia.
São José dos Campos, 2025.
20f.

Trabalho de Graduação – Curso de Engenharia Aeroespacial– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2025. Orientador: Prof. Dr. Willer Gomes dos Santos. Coorientador: Prof. Emilien Flayac.

1. Optimization. 2. Control. 3. Orbital Mechanics. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PUGLIA, Pedro Kuntz. **Orbital Maneuver Optimization**. 2025. 20f. Trabalho de Graduação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Pedro Kuntz Puglia

TÍTULO DO TRABALHO: Orbital Maneuver Optimization.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Graduação / 2025

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Pedro Kuntz Puglia
Rua H8C, Ap. 303
12.228- 462 – São José dos Campos- SP

ORBITAL MANEUVER OPTIMIZATION

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação

Pedro Kuntz Puglia

Autor

Willer Gomes dos Santos (ITA)

Orientador

Emilien Flayac (ISAE-SUPAERO)

Coorientador

Profa. Dra. Cristiane Martins
Coordenadora do Curso de Engenharia Aeroespacial

São José dos Campos, ?? de junho de 2025.

dedicar...

Agradecimentos

“Pointy end up, flamey end down.”
— TIM DODD, EVERYDAY ASTRONAUT

Resumo

RESUMO

Abstract

This work presents the development and characterization process of a cold gas thruster vectorization system. The motor is required to have a thrust of 2 N and a chamber pressure of 5 bar. The chosen vectorization method for testing was the jet vane. The constructed motor had slight deviations from the requirements, with a specific impulse of 46.6 s. This motor was mounted on a control mechanism of the deflecting blade, and this assembly was coupled to a three-component scale for force and moment characterization. As a final result, the control derivatives for lateral force and moment were obtained. Finally, the methodological issues encountered and engineering trade-offs identified for the system were presented.

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Símbolos

F	Empuxo propulsivo
\dot{m}	Vazão mássica
v_e	Velocidade de exaustão média
p_c	Pressão de câmara
p_e	Pressão de saída média
p_{amb}	Pressão ambiente
A_c	Área da seção transversal da câmara
A_e	Área da seção transversal da saída da tubeira
A_t	Área da seção transversal da garganta
ε	Razão de expansão
I_{sp}	Impulso específico
C_F	Coefficiente de empuxo
C^*	Velocidade característica
F_x	Força horizontal, transversal ao motor foguete
F_y	Força vertical, na direção do empuxo propulsivo
M	Torque resultante
δ	Deflexão da lâmina (<i>jet vane</i>)
$F_{x\delta}$	Derivada da força lateral em relação à deflexão da lâmina
M_δ	Derivada de momento em relação à deflexão da lâmina

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Definição do Problema	14
1.2	Hipóteses	14
1.3	Objetivos	14
1.4	Justificativa	14
1.5	Organização do trabalho	14
2	Revisão Bibliográfica	15
2.1	Controle Ótimo	15
2.2	Orbital Mechanics	15
2.2.1	Lambert's Problem	15
2.3	Orbital Maneuvers	15
2.3.1	Propulsion models	15
2.3.2	Primer vector theory	15
3	METODOLOGIA	16
3.1	Orbit Propagation	16
3.2	Nonlinear solver	16
3.3	Lambert problem formulations	16
3.4	Optimal impulsive maneuver problem statement	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1	Preliminary direct optimization results	17
4.1.1	Primer vector theory application	17

SUMÁRIO

xiii

4.2

Future results

17

5

CONCLUSÃO

18

REFERÊNCIAS

19

APÊNDICE A – FUTURE PLANNING

20

1 INTRODUÇÃO

1.1 Definição do Problema

1.2 Hipóteses

1.3 Objetivos

1.4 Justificativa

1.5 Organização do trabalho

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Controle Ótimo

2.2 Orbital Mechanics

2.2.1 Lambert's Problem

2.3 Orbital Maneuvers

Conway

2.3.1 Propulsion models

2.3.2 Primer vector theory

3 METODOLOGIA

3.1 Orbit Propagation

3.2 Nonlinear solver

3.3 Lambert problem formulations

3.4 Optimal impulsive maneuver problem statement

algo usado

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Preliminary direct optimization results

4.1.1 Primer vector theory application

4.2 Future results

5 CONCLUSÃO

Referências

Apêndice A - Future Planning

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 25 de março de 2015	3. DOCUMENTO Nº DCTA/ITA/DM-018/2015	4. Nº DE PÁGINAS 20
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Orbital Maneuver Optimization			
6. AUTOR(ES): Pedro Kuntz Puglia			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Cupim; Cimento; Estruturas			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Propulsão; Gás Frio; Vetorização de empuxo;			
10. APRESENTAÇÃO: (X) Nacional () Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Área de Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica. Orientador: Prof. Dr. Adalberto Santos Dupont. Coorientadora: Prof ^{ra} . Dr ^a . Doralice Serra. Defesa em 05/03/2015. Publicada em 25/03/2015.			
11. RESUMO: RESUMO			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO			