

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2



Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Francisco Odécio Sales

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C749 Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra 2 / Organizador Francisco Odécio Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-617-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.178212511>

1. Ciências exatas e da terra. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Título.

CDD 507

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A obra "Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra 2" aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 16 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca do ensino e educação. As Ciências Exatas e da Terra englobam, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Estas ciências estudam as diversas relações existentes da Astronomia/Física; Biodiversidade; Ciências Biológicas; Ciência da Computação; Engenharias; Geociências; Matemática/ Probabilidade e Estatística e Química. O conhecimento das mais diversas áreas possibilita o desenvolvimento das habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas. A ideia moderna das Ciências Exatas e da Terra refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de pesquisas. Neste sentido, este volume é dedicado aos trabalhos relacionados a ensino e aprendizagem. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento. Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada. Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Francisco Odécio Sales

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ALTERNATIVE FOR THE QUALITY CONTROL OF ANTILOMONIC SÉRUM PRODUCTION PROPOSED BY *Lonomia obliqua* CATERPILLARS USING ANALYTIC TECHNIQUES

Anicarine Ribeiro Leão
Cibele Bugno Zamboni
Dalton Giovanni Nogueira da Silva
Simone Michaela Simons

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125111>

CAPÍTULO 2..... 5

ANÁLISE DE ESTABILIDADE UTILIZANDO A TEORIA DE FLOQUET EM SISTEMAS DE TETHERS

Denilson Paulo Souza dos Santos
Jorge Kennety Silva Formiga
Guilherme Marcos Neves
Guilherme Parreira Moia
Rita de Cássia Domingos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125112>

CAPÍTULO 3..... 17

CONSTITUINTES E CONTAMINANTES MINERAIS EM SUPLEMENTOS *WHEY PROTEIN*: ESTUDO DE CASO E ESTRATÉGIAS PARA ANÁLISE QUÍMICA

Thalles Pedrosa Lisboa
Antonio Pedro Nogueira Guimarães
Lucas Vinícius de Faria
Rafael Arromba de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125113>

CAPÍTULO 4..... 30

CLASSIFICAÇÃO DE TRÁFEGO EM REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS DO TIPO MLP

Nilton Alves Maia
Victor de Freitas Arruda
Maurílio José Inácio
Renê Rodrigues Veloso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125114>

CAPÍTULO 5..... 43

CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA TOTAL DE CINCO ÁREAS CILIARES NO MUNICÍPIO DE GURUPI-TO

Maria Cristina Bueno Coelho
Mauro Luiz Erpen
Marcos Vinicius Cardoso Silva
Yandro Santa Brigida Ataide
Mathaus Messias Coimbra Limeira

Walberisa Magalhães Gregório
Maurilio Antonio Varavallo
Juliana Barilli
André Ferreira dos Santos,
Max Vinícios Reis de Sousa
Marcos Giongo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125115>

CAPÍTULO 6..... 53

ESTUDO SOBRE MANOBRAS DE FASE

Gabriel Homero Barros Vieira
Claudia Celeste Celestino de Paula Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125116>

CAPÍTULO 7..... 69

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO
CARREGADOS COM FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA**

Alexsandro Bussinger Bon
Nancy Isabel Alvarez Acevedo
Marisa Cristina Guimarães Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125117>

CAPÍTULO 8..... 82

**GENERATION OF WIND ENERGY WITH KITES: A REVIEW OF THE AIRBORNE WIND
ENERGY TECHNOLOGY**

Laura Barros Cordeiro Peçanha
Natalia de Souza Barbosa Oliveira
Wagner Vianna Bretas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125118>

CAPÍTULO 9..... 97

**INTERVENÇÃO PSICOSSOCIAL COM A TÉCNICA DE GRUPO OPERATIVO NO ENSINO
SUPERIOR NA FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS, E LETRAS DE CANDEIAS –
BAHIA - INTEGRAR PARA RESIGNIFICAR**

Adilton Dias de Santana
Jessica Alves de Amorim Silva
Nadjane Crisóstomos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125119>

CAPÍTULO 10..... 108

**MONITORIA DE GEOLOGIA GERAL PARA O CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS: UM
RELATO DE EXPERIÊNCIA**

Cibele Tunussi
Marcos Henrique Pacheco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251110>

CAPÍTULO 11..... 115

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICAS Y CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CUENCA DE SALINAS GRANDES, PUNA NORTE ARGENTINA

María del Carmen Visich

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251111>

CAPÍTULO 12..... 128

O ENSINO DE CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL: EXPERIMENTO PARA PURIFICAÇÃO DA ÁGUA

Sandra Cadore Peixoto

Ail Conceição Meireles Ortiz

Janilse Fernandes Nunes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251112>

CAPÍTULO 13..... 139

PRODUÇÃO DE MEMBRANAS DE CELULOSE BACTERIANA A PARTIR DE DIFERENTES SUBSTRATOS EM CULTURA ESTÁTICA: UMA REVISÃO

Eduarda Zeni Neves

Bruna Segat

Geasi Lucas Martins

Michele Cristina Formolo Garcia

Giannini Pasiznick Apati

Andrea Lima dos Santos Schneider

Ana Paula Testa Pezzin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251113>

CAPÍTULO 14..... 151

DESTRITOS ESPACIAIS: CONSEQUÊNCIAS AO MEIO AMBIENTE E AO ESPAÇO

Letícia Camargo de Moraes

Jorge Kennety Silva Formiga

Fabiana Alves Fiore Pinto

Denilson Paulo Souza dos Santos

Vivian Silveira dos Santos Bardini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251114>

CAPÍTULO 15..... 163

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA OS MODELOS ATÔMICOS UTILIZANDO O SIMULADOR PHET

Carla Caroline Melgueira da Silva

Paula Gabrielly Freire Jacyntho

Andrey Martins Monteiro

Maria Luiza Santos Cuvello

Yasmin Ferreira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251115>

CAPÍTULO 16.....	174
VISUALIZAÇÃO DAS DIFERENÇAS NUMÉRICAS ENTRE AS ALTITUDES NORMAL E ORTOMÉTRICA NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL - ESTUDO DE CASO Roosevelt De Lara Santos Jr  https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251116	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	185
ÍNDICE REMISSIVO.....	186

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 06/08/2021

Gabriel Homero Barros Vieira

Universidade Federal do ABC – UFABC –
Engenharia Aeroespacial
Santo André – SP
<http://lattes.cnpq.br/0727498980513540>

Claudia Celeste Celestino de Paula Santos

Universidade Federal do ABC – UFABC –
Engenharia Aeroespacial
Santo André – SP
<http://lattes.cnpq.br/0009886992977886>

RESUMO: O estudo das manobras orbitais é necessário para a realização de missões espaciais, seja ela destinada ao espaço profundo ou simplesmente para colocar um objeto em órbita ao redor da Terra. Este trabalho, se dedica a estudar as manobras de fase a partir da análise das condições ótimas em termos de consumo de combustível para cada situação considerada. Para isso, foi realizado um levantamento de diversos tipos de transferências orbitais, como por exemplo, Hohmann; bi-elíptica; mudança de plano; não coaxiais, e estas foram aplicadas na realização de manobras de fase. Utilizou-se a ferramenta computacional MATLAB para determinar as situações ótimas de cada caso. Dentre os principais resultados, pode-se destacar: i) foi demonstrado que a transferência orbital partindo do perigeu ou do apogeu da órbita sempre é mais econômica;

ii) foram determinadas as razões de raios que fornecem os mínimos e máximos do incremento de velocidade necessário quando se considera uma manobra orbital entre duas órbitas com diferentes valores de excentricidades; iii) foi avaliado como a excentricidade influencia no consumo de combustível; e iv) foram obtidas expressões analíticas gerais para manobras específicas em função da excentricidade, razão dos raios e anomalia verdadeira. Os resultados destes estudos podem contribuir para a tomada de decisão em missões espaciais reais onde se pretende consumir o mínimo de combustível.

PALAVRAS-CHAVE: Manobra orbital, transferência de órbita, incremento de velocidade.

A STUDY ON PHASING MANEUVERS

ABSTRACT: The study of orbital maneuvers is necessary to perform space missions aimed at deep space or simply to place an object in orbit around the Earth. This work is dedicated to the study of phasing maneuvers based on the analysis of the optimum conditions in terms of fuel consumption for each situation considered. For this, a survey of different types of orbital transfers was carried out, such as Hohmann, Bielliptic transfer, Plane change maneuvers, Apse line rotation, and these were applied in the performance of phasing maneuvers. The computational tool MATLAB was used to determine the optimal situations for each case. Among the main results, the following can be highlighted: i) it was demonstrated that the orbital transfer from the perigee or the apogee of the orbit is always more economical; ii) the radius ratios that provide the minimum and maximum speed

increment necessary when considering an orbital maneuver between two orbits with different values of eccentricities were determined; iii) it was evaluated how eccentricity influences fuel consumption; and iv) general analytical expressions were obtained for specific maneuvers as a function of eccentricity, radius ratio and true anomaly. The results of these studies can contribute to decision-making in real space missions where it is intended to consume the least amount of fuel.

KEYWORDS: Orbital maneuver, Orbit transfer, Velocity increment.

1 | INTRODUÇÃO

Durante o século XX, inúmeras missões espaciais têm sido desenvolvidas e aplicadas marcando o desenvolvimento da área aeroespacial. Com o grande avanço da tecnologia espacial ocorrido nas últimas décadas, aumentaram-se também os desafios de se colocar objetos espaciais em órbitas desejadas.

Muitas vezes, um veículo lançado não é colocado em sua órbita ideal, ou seja, o veículo não é colocado na órbita para a qual ele foi projetado. Com isso, torna-se necessário a realização de uma manobra de transferência de órbita (da Fonseca et al., 2010). Portanto, o estudo de manobras orbitais, é um assunto de extrema importância para as missões espaciais. Neste sentido, o trabalho pioneiro para a determinação do incremento de velocidade otimizado em função do consumo de combustível foi o trabalho de Hohmann (1925) em que estudou a transferência ótima de um veículo espacial entre duas órbitas circulares e coplanares.

Dentre inúmeras aplicações de manobra orbital, tem-se as manobras de fase que podem ser feitas com a realização de uma alteração no ângulo da anomalia verdadeira do veículo. Esta manobra tem uma boa aplicação para satélites geoestacionários (Curtis, 2005), pois, uma vez que um satélite que está nesta órbita consegue coletar dados somente da face terrestre que está parada em relação a ele, a manobra de fase permite que se mude a localização do satélite na órbita e, conseqüentemente, a visualização de outras partes do globo pelo satélite. Além disso, outra aplicação para manobras de fase é a chamada manobra de rendez-vous, que consiste no encontro entre dois veículos espaciais em um determinado ponto no espaço.

Diante da importância das manobras de fases, tiveram vários trabalhos importantes a respeito do assunto, dentre eles, pode-se citar: i) McCue (1963), foi um dos pioneiros ao abordar a possibilidade de rendez-vous em seu trabalho intitulado “Optimum Two-Impulsive Orbital Transfer and Rendez-vous Between Inclined Elliptical Orbits”; ii) Billik e Roth (1964), Prussing (1969 e 1970) e Gross e Prussing (1974) que utilizaram métodos impulsivos ótimos para diferentes aplicações de manobra de rendez-vous; iii) Lopez e McInnes (1995) que fizeram um trabalho sobre rendez-vous autônomos; iv) Luo et al. (2007), que publicaram um modelo de otimização para manobras considerando situações de múltiplos impulsos e múltiplas revoluções em “Optimization of Multiple-Impulse, Multiple-Revolutions Rendez-

vous-Phasing Maneuvers”; v) Hall e Collazo-Perez (2003) que estudaram numericamente as manobras de fase de tempo mínimo; vi) Bevilacqua e Romano (2008) que no trabalho “Rendez-vous Maneuvers of Multiple Spacecraft Using Differential Drag Under J2 Perturbation” introduziram um método de estabilização de órbita e rendez-vous autônomo de um grupo de múltiplos veículos espaciais utilizando o arrasto aerodinâmico diferencial.

Desta forma, nota-se que um dos principais desafios de uma missão espacial é a redução de custos e uma estratégia adotada é a otimização da manobra orbital propulsionada que consuma a menor quantidade de combustível possível.

2 | OBJETIVO

Assim, os objetivos foram estudar as manobras e avaliar os possíveis métodos para a realização da manobra de fase com relação ao consumo otimizado de combustível.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, considerando o problema restrito de dois corpos, deduz-se equações que descrevem o incremento de velocidade necessário para realizar as manobras nas situações consideradas neste trabalho. Em seguida, usa-se o software MATLAB para gerar gráficos para auxiliarem nas análises realizadas a fim de determinar as condições que fornecem o incremento mínimo de velocidade. A manobra de Rendez-vous, foco deste trabalho, é conhecida como manobra de encontro, onde se pretende interceptar outro veículo espacial. Essa manobra será avaliada em alguns casos com relação à otimização do consumo de combustível e será deduzido algumas equações que serão utilizadas para realizar as análises.

3.1 Lista de variáveis

θ_A : Anomalia verdadeira do ponto de início da manobra.

θ_B : Anomalia verdadeira do ponto de chegada da manobra.

e_1 : Excentricidade da órbita inicial.

e_2 : Excentricidade da órbita de transferência.

e_3 : Excentricidade da órbita final.

h_1 : Momento angular da órbita inicial.

h_2 : Momento angular da órbita de transferência.

h_3 : Momento angular da órbita final.

r_A : Raio do ponto de início da manobra.

r_B : Raio do ponto de chegada da manobra.

μ : Parâmetro gravitacional.

3.2 Caso geral para transferência entre órbitas coplanares e coaxiais:

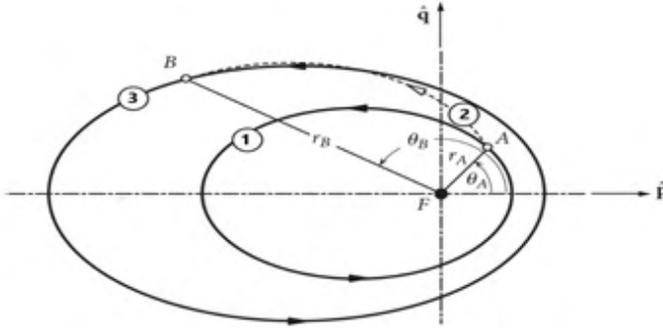


Figura 1 – Caso geral de Transferência entre duas órbitas elípticas coplanares e coaxiais.

Fonte: Curtis, 2005.

A figura 1 ilustra a transferência entre duas órbitas coaxiais e coplanares onde a trajetória de transferência não é necessariamente tangente às órbitas. O problema em questão é calcular o incremento de velocidade (Δv) requerido para a transferência avaliando em quais situações o consumo de combustível é otimizado dado o raio da posição inicial e final (r_A e r_B) e a anomalia verdadeira inicial e final (θ_A e θ_B). Usando a equação polar da trajetória deduzida do problema reduzido de dois corpos e definindo a razão entre os raios de chegada e saída como $\alpha = r_B/r_A$, chega-se, facilmente, nas seguintes relações úteis:

$$e_2 = \frac{\alpha - 1}{\cos \theta_A - \alpha \cos \theta_B} \quad (1)$$

$$\cos \theta_B = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1 - \alpha}{e_2} + \cos \theta_A \right) \quad (2)$$

$$\cos \theta_A = \frac{1}{e_2} (1 - \alpha) + \alpha \cos \theta_B \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1 + e_2 \cos \theta_A}{1 + e_2 \cos \theta_B} \quad (4)$$

$$\cos \theta_A = \frac{h_2^2 - h_1^2}{h_1^2 e_2 - e_1 h_2^2} \quad (8)$$

$$h_2 = \sqrt{\mu r_A} \sqrt{\frac{\alpha (\cos \theta_A - \cos \theta_B)}{\cos \theta_A - \alpha \cos \theta_B}} \quad (5)$$

$$h_1 = \sqrt{\frac{1 + e_1 \cos \theta_A}{1 + e_2 \cos \theta_A}} h_2 \quad (6)$$

$$h_3 = \sqrt{\frac{1 + e_3 \cos \theta_B}{1 + e_2 \cos \theta_B}} h_2 \quad (7)$$

$$\cos \theta_B = \frac{h_3^2 - h_2^2}{h_2^2 e_3 - e_2 h_3^2} \quad (9)$$

Quando o $\overrightarrow{\Delta v}$ não é aplicado no perigeu ou no apogeu, além de uma mudança na velocidade, é necessária uma alteração na direção do vetor velocidade. Portanto, para um caso geral e assumindo um sistema girante em que \hat{e}_r é o vetor unitário radial e \hat{e}_\perp é o vetor unitário perpendicular à radial, tem-se $\overrightarrow{\Delta v}$ no ponto A, que é:

$$\overrightarrow{\Delta v}_A = (v_{r,2} - v_{r,1})\hat{e}_r + (v_{\perp,2} - v_{\perp,1})\hat{e}_\perp \quad (10)$$

Em que $v_{\perp,2}$, $v_{\perp,1}$, $v_{r,2}$ e $v_{r,1}$ indicam as componentes perpendiculares e

radiais das velocidades v_2 e v_1 . Segundo Curtis (2005), as componentes da velocidade podem ser calculadas da seguinte maneira:

$$v_r = \frac{\mu}{h} e \sin \theta \quad (11) \quad v_{\perp} = \frac{\mu}{h} (1 + e \cos \theta) \quad (12)$$

Logo, pode-se chegar que:

$$\Delta v_A^2 = \mu^2 \left[\left(\frac{e_2}{h_2} - \frac{e_1}{h_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{h_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{e_2}{h_2} - \frac{e_1}{h_1} \right) \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{h_1} \right) \cos \theta_A \right] \quad (13)$$

A equação (13) permite calcular o Δv tendo somente r_A , r_B , θ_A , θ_B e e_1 como variáveis. Além disso, a expressão (13) tem boa aplicação para as manobras de emergência, pois, ela retorna o Δv requerido para lançar o veículo espacial para o ponto de encontro na órbita final indicado por r_B e θ_B . Sabendo que: $h_2 = \sqrt{\mu r_A (1 + e_2 \cos \theta_A)}$ e $h_1 = \sqrt{\mu r_A (1 + e_1 \cos \theta_A)}$.

Obtém-se uma outra expressão que descreve o incremento de velocidades (Δv):

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_1^2 + 2e_1 \cos \theta_A + 1}{1 + e_1 \cos \theta_A} + \frac{e_2^2 + 2e_2 \cos \theta_A + 1}{1 + e_2 \cos \theta_A} - \frac{2[1 + e_2 e_1 + (e_2 + e_1) \cos \theta_A]}{\sqrt{(1 + e_2 \cos \theta_A)(1 + e_1 \cos \theta_A)}}} \quad (14)$$

C_1 é a razão entre o Δv_A e a velocidade circular de raio r_A que é definida por $v_{c,A} = \sqrt{\frac{\mu}{r_A}}$, portanto, $C_1 = \Delta v_A / v_{c,A}$.

A expressão (14) permite avaliar o comportamento do Δv em função das variáveis geométricas e_2 , e_1 e θ_A , além de obter uma razão do Δv com a velocidade circular. A equação (14) é interessante para se realizar um estudo numérico, uma vez que possibilita determinar as situações nas quais o Δv é maior ou menor que a velocidade circular. Sendo assim, a expressão (14) tem grande aplicação para manobras de interceptação, ou, em outras palavras, de Rendez-vous, pois está intrinsecamente ligada ao ponto de chegada de interesse a ser interceptado através da equação (1).

Das equações (10), (11) e (12), pode-se obter também uma expressão para a razão entre as velocidades v_2 e v_1 :

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\left(\frac{e_2^2 + 2e_2 \cos \theta_A + 1}{1 + e_2 \cos \theta_A} \right) \left(\frac{1 + e_1 \cos \theta_A}{e_1^2 + 2e_1 \cos \theta_A + 1} \right)} \quad (15)$$

Portanto, pode-se obter que: $\Delta v_A / v_1 = |(v_2 / v_1) - 1|$.

Assim, torna-se possível avaliar o comportamento da razão entre o incremento de velocidade (Δv_A) e a velocidade v_1 . No caso em que se interessa encontrar a diferença entre o ângulo de voo da órbita inicial e a órbita de transferência para se saber a direção a qual o $\vec{\Delta v}$ deve ser aplicado, também se pode obter em função de e_2 , e_1 e θ_A . Partindo da equação do ângulo de voo e utilizando as relações trigonométricas, a diferença entre

os ângulos de voo da órbita de transferência dado por y_2 e a órbita inicial representado por y_1 , tem-se:

$$\tan \Delta\gamma = \frac{(e_2 - e_1) \sin \theta_A}{(e_2 + e_1) \cos \theta_A + e_2 e_1 + 1} \quad (16)$$

A equação (16) mostra que quando a anomalia verdadeira assume os valores 0 ou π radianos, a diferença entre y_2 e y_1 será nula, isso implica que o $\overrightarrow{\Delta v}$ seria aplicado na direção da velocidade do veículo espacial. Da equação (16) também fica claro que, para dados e_2 e e_1 , o $\Delta\gamma$ é máximo quando θ_A for igual a $\pi/2$ ou $3\pi/2$ radianos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do Δv total variando as excentricidades das órbitas externa e interna

Neste caso, interessa-se avaliar o comportamento do total quando as excentricidades das órbitas interna (órbita 1) e externa (órbita 3) estão variando. Para isso, utilizou-se a equação (13) para calcular o Δv_A e o Δv_B , que são, respectivamente, o incremento de velocidade aplicado no ponto inicial pertencente à órbita 1 e no ponto que se deseja chegar da órbita 3.

Para gerar a figura 2, e_3 e e_1 estão variando e r_A , r_B , θ_A e θ_B estão fixos da seguinte maneira: $r_A=7.000km$; $\theta_A=0$; $r_B=96.000km$ e $\theta_B=\pi$.

Através das equações (1), (5), (6) e (7) são computados, respectivamente, e_2 , h_2 , h_1 e h_3 .

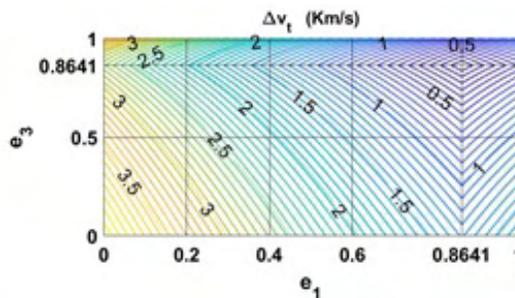


Figura 2 - Comportamento do Δv total variando as excentricidades das órbitas 1 e 3.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a figura 2, avalia-se que quanto mais próximo de 0,8641 são as excentricidades da órbita interna e externa, mais econômica é a transferência, o que de fato faz sentido, pois, no momento em que se fixou que o veículo espacial sairia do perigeu da órbita 1 ($r_A=7.000km$) e chegaria no apogeu da órbita 2 ($r_B=96.000km$), a excentricidade

da órbita de transferência (e_2) é aproximadamente 0,8641. Isso significa que, para este caso, quando as órbitas 1 e 3 têm excentricidade igual a 0,8641, as órbitas 1 e 3 coincidem com a órbita 2 de transferência e, portanto, o Δv_t é zero. A partir desta análise, conclui-se que os valores de excentricidades de uma órbita interna e outra externa que minimizam o incremento de velocidade são aqueles valores mais próximos da excentricidade da órbita de transferência.

4.2 Comportamento do Δv total entre duas órbitas circulares

Nesta secção, interessa-se avaliar como é a função do total entre duas órbitas circulares quando a razão dos raios, $\alpha=r_B/r_A$, varia. Com o objetivo de analisar o comportamento do Δv_t em função da razão dos raios sem ser necessário fixar um valor para r_A , utiliza-se as equações (14) e (1). Dessa forma, é plotado o comportamento de $\Delta v_t/v_{c,A}$ por r_B/r_A , em que $v_{c,A}$ é a velocidade circular da órbita interna. obtendo a figura 3.



Figura 3 - A razão do pela velocidade circular da órbita interna em função de α .

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 3, além de permitir avaliar o comportamento da razão do Δv_t , pela velocidade circular da órbita interna, permite determinar alguns valores interessantes. Aplicando o limite onde r_B/r_A tende para o infinito na função $\Delta v_t/v_{c,A}$, tem-se:

$$\lim_{\frac{r_B}{r_A} \rightarrow \infty} \frac{\Delta v_t}{v_{c,A}} \approx 0,4142$$

Portanto, à medida que a razão dos raios vai aumentando, a razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ tende para 0,4142. Consequentemente, conclui-se que após $\Delta v_t/v_{c,A}$ atingir o valor máximo, por mais que a razão dos raios aumente, é impossível realizar a manobra em questão utilizando um incremento de velocidade que proporcione $\Delta v_t/v_{c,A} < 0,4142$. A razão de raios 15,5817 fornece a razão máxima entre Δv_t e $v_{c,A}$ que é igual a 0,5363. Tendo-se encontrado o ponto máximo, conclui-se que para uma transferência entre duas órbitas

coplanares e circulares a razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ jamais será maior que 0,5363.

De acordo com a figura 16, a razão de raios que fornece a razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ máxima é 15,5817. Substituindo esse valor na equação (1) que calcula a excentricidade da órbita de transferência (e_2), tem-se o valor da excentricidade da órbita de transferência equivalente à razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ máxima para uma transferência entre duas órbitas circulares que é igual a .

De fato, gerando um gráfico onde $\Delta v_t/v_{c,A}$ varia em função de e_2 , como mostrado na figura 4, constata-se numericamente que quando a excentricidade da órbita de transferência entre duas órbitas circulares é igual a 0,8794, é obtido o valor máximo para $\Delta v_t/v_{c,A}$ que é igual a 0,5363.

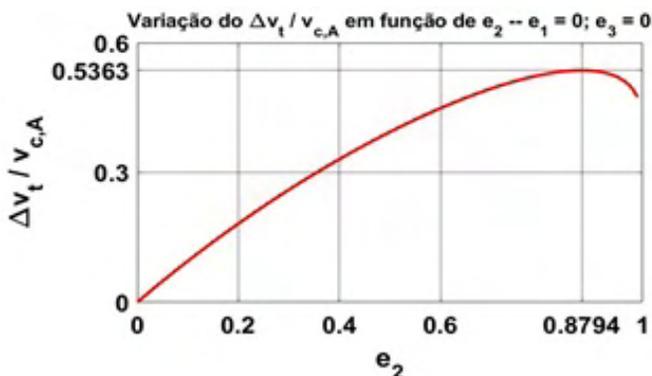


Figura 4 - Transferência entre órbitas circulares com e_2 variando.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Comportamento do Δv total quando a órbita interna tem excentricidade maior que zero:

Agora, nesta presente secção, pretende-se fazer as mesmas análises, porém para vários valores de excentricidade da órbita interna (e_1). Utilizando as equações (1) e (14), a figura 5 apresenta $\Delta v_t/v_{c,A}$ em função da razão dos raios para alguns valores de e_1 , mostrando os valores de mínimos e máximos para as curvas geradas.

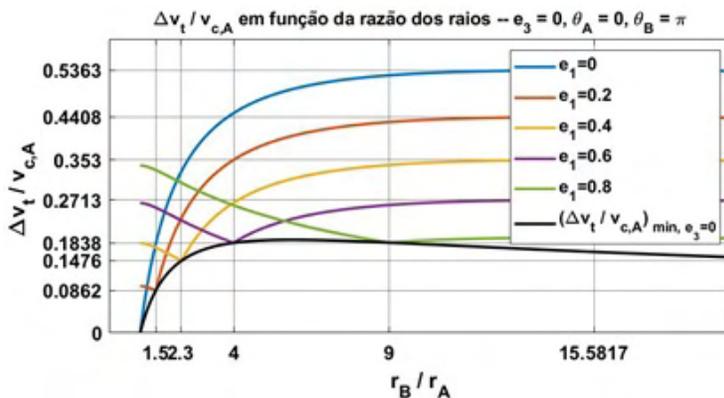


Figura 5 - $\Delta v_t / v_{c,A}$ para vários valores de excentricidade da órbita interna.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliando a figura 5, percebe-se que a curva azul (referente à $e_1=0$) representa a mesma situação apresentada na figura 4, em que a função cresce até atingir o ponto (15,5817 ; 0,5363) e depois decresce de forma suave, porém, tendendo a um valor quando r_B/r_A tende ao infinito. O mesmo acontece com excentricidades maior que zero, entretanto, percebe-se que antes da curva atingir um máximo local e em seguida se estabilizar em um valor no infinito, ocorre pontos de mínimos. Por exemplo, a curva $\Delta v_t / v_{c,A}$ em função de r_B/r_A quando $e_1=0,6$, tem um Δv_t mínimo de $0,1838v_{c,A}$ que acontece quando a razão dos raios é igual a 4 e um máximo de $0,2713v_{c,A}$ com a razão de raios de 15,5817. É interessante observar que a razão de raios de aproximadamente 15,5817 é a razão que fornece o Δv_t máximo local de todas as curvas apresentadas na figura 5. Como ilustrado na figura 6, os pontos de mínimos indicados na figura 5, acontecem quando $e_2=e_1$, isto é, a órbita inicial já tangencia a órbita circular externa que se deseja chegar, sendo necessário somente o Δv_2 , aplicada no apogeu da órbita, para realizar a transferência. Isso se verifica ao substituir a situação descrita na equação (14), em que a equação para o Δv_1 é igual a zero.

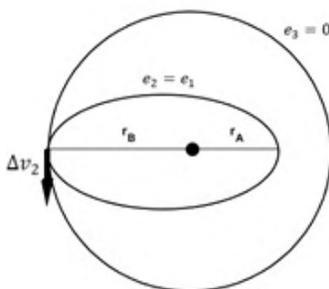


Figura 6 - condição para o Δv mínimo quando órbita externa é circular e a interna elíptica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, da figura 6, tem-se que $e_2 = e_1$, $e_3 = 0$ e $\theta_2 = \pi$. Obtendo assim a equação (17) que descreve a curva em preto da figura 5:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_3=0} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \sqrt{2 \left(\frac{1}{\alpha + 1} - \sqrt{\frac{2}{\alpha + 1}} \right) + 1} \quad (17)$$

Sabendo que $\alpha = (1 + e_1) / (1 - e_1)$, obtém-se a equação (17) em função da excentricidade da órbita interna:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_3=0} = \sqrt{\frac{1 - e_1}{e_1 + 1}} \sqrt{2(1 - \sqrt{1 - e_1}) - e_1} \quad (18)$$

Aparentemente, as equações (17) e (18) retornam o incremento de velocidade mínimo possível de se alcançar para $e_1 > 0$ e $e_3 = 0$. Porém, analisando a figura 7, percebe-se que as equações (17) e (18) são válidas para determinar $\Delta v_t / v_{c,A}$ mínimo possível apenas para excentricidades aproximadamente menores que 0.85. Entretanto, elas podem ser utilizadas para se calcular o Δv_t para a situação ilustrada na figura 6 para qualquer e_1 .

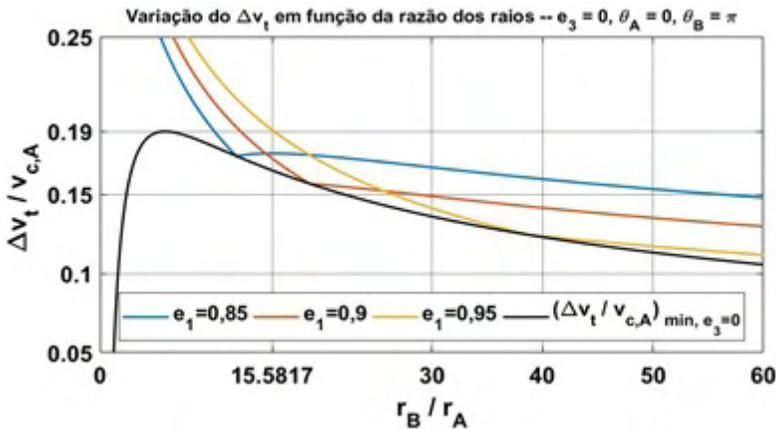


Figura 7 - $\Delta v_t / v_{c,A}$ em função da razão de raios para órbitas internas muito excêntricas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da figura 7, evidencia-se que para órbitas internas muito excêntricas, aproximadamente, $e_1 > 0.85$, os pontos descritos pela equação (17) deixam de ser os mínimos possíveis, pois à medida que e_1 se aproxima de 1, esses pontos deixam de ser mínimos e o Δv_t continua diminuindo com o aumento da razão dos raios. Outro detalhe que se observa é com relação aos pontos de máximos locais que já não é mais associado à razão 15.5817, uma vez que para uma muito excêntrica, por exemplo, $e_1 = 0.9$, o comportamento do incremento de velocidade deixa de ter um máximo local, em que sempre diminui junto

com o aumento de α (razão r_B/r_A) e tende a um valor no infinito. Para avaliar as relações (17) e (18), gerou-se as figuras 8 e 9.

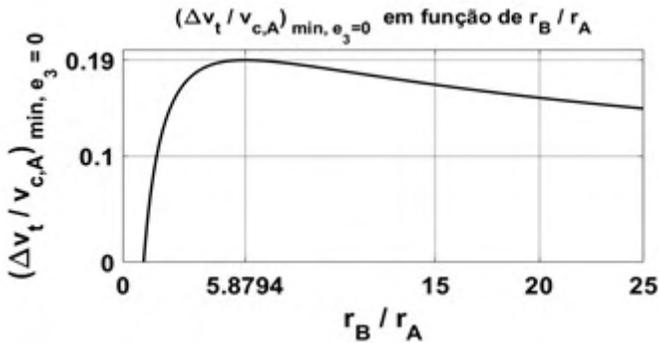


Figura 8 – Gráfico dos pontos mínimos quando $e_3=0$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da figura 8, tem-se que o comportamento de $(v_t/v_{c,A})_{min, e_3=0}$ em função da razão dos raios apresenta um ponto de máximo que acontece quando $\alpha=5,8794$. Nesta razão, obtém-se o consumo máximo dentre todos os pontos mínimos que é de $0.19 v_{c,A}$. A excentricidade associada à razão de raios de 5,8794 é 0,7093. Esse valor pode ser calculado através da relação (1.58) e é possível verificar numericamente como é mostrado na figura 9, onde o consumo máximo de $0.19 v_{c,A}$ acontece quando $e_2 = e_1 = 0,7093$.

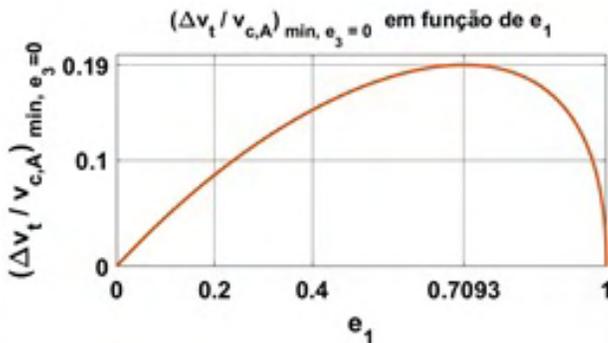


Figura 9 – Influência de e_1 em $(v_t/v_{c,A})_{min, e_3=0}$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Comportamento do Δv total quando $e_3=0$ e e_3 maior que zero:

Nesta secção, deseja-se analisar como $\Delta v_t/v_{c,A}$ se comporta quando a excentricidade da órbita interna é fixada como sendo circular e a excentricidade da órbita

externa que se deseja chegar é maior que zero.

Para isso, utilizou-se a equação (14) para se obter $\Delta v_t/v_{c,A}$. A figura 10 representa $\Delta v_t/v_{c,A}$ em função de r_B/r_A , porém, desta vez foram geradas curvas para alguns valores de e_3 a fim de comparar e avaliar o comportamento do incremento de velocidade necessário para a transferência entre uma órbita circular interna e uma órbita externa elíptica.

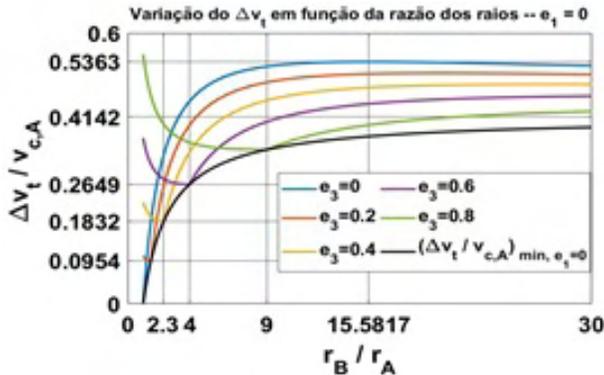


Figura 10 - $v_t/v_{c,A}$ para vários valores de excentricidade da órbita externa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 10, observa-se que a curva azul representada que ocorre quando $e_3=0$, é a mesma situação representada na figura 3 onde o ponto máximo é (15,5817; 0,5363). Entretanto, ao contrário do que foi discutido anteriormente, à medida que a excentricidade e_3 aumenta, a razão de raios que fornece o consumo máximo local (que ocorre após atingir um ponto mínimo) se desloca para valores maiores que 15,5817. É importante observar que as razões r_B/r_A associadas aos pontos de mínimos mostrados na figura 10, são as mesmas razões que fornecem os mínimos globais na situação considerada na figura 5, em que o que era fixado como órbita circular era a órbita externa. Além disso, todas as curvas presentes na figura 10 tendem para o mesmo valor no infinito que é aproximadamente 0,4142.

Novamente, assim como se constatou no caso considerado na figura 5, o comportamento do Δv_t apresenta mínimos globais, como é mostrado na figura 10. Portanto, pode-se obter uma equação que descreve todos esses pontos sabendo que eles acontecem de acordo como é descrito na figura 11.

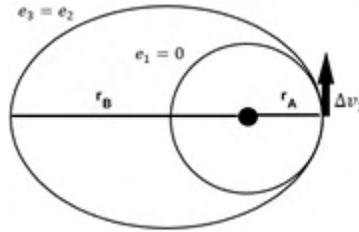


Figura 11 – Situação em que o consumo de combustível é mínimo quando $e_1=0$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pontos de mínimos para esse caso, dá-se quando o perigeu da órbita elíptica tangencia a órbita circular interna, tornando-se necessário somente o primeiro incremento de velocidade (Δv_1). Isso significa que a órbita de transferência coincide com a órbita de chegada, consequentemente, elas têm a mesma excentricidade, isto é, $e_2=e_3$. Impondo esta condição, obtém-se uma equação que descreve todos os mínimos necessários, em que $\Delta v_2/v_{c,A} = 0$ e $\Delta v_t/v_{c,A} = \Delta v_2/v_{c,A}$, logo:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_1=0} = \sqrt{2(1 - \sqrt{e_3 + 1}) + e_3} \quad (19)$$

Escrevendo agora em função da razão dos raios (α), tem-se:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_1=0} = \sqrt{2\left(1 - \sqrt{\frac{2\alpha}{1+\alpha}}\right) + \frac{\alpha-1}{1+\alpha}} \quad (20)$$

A equação (20) é representada pela curva em preto da figura 10. As equações (20) e (19), de fato, descrevem todos os pontos mínimos possíveis de se obter para qualquer $0 \leq e_3 \leq 1$ quando $e_1=0$. Além disso, é interessante perceber que a equação (20) quando $\alpha \rightarrow \infty$, $\left(\Delta v_t/v_{c,A}\right)_{\min, e_1=0} \rightarrow 0,4142$. Para analisar a expressão (19), gerou-se a figura 12:

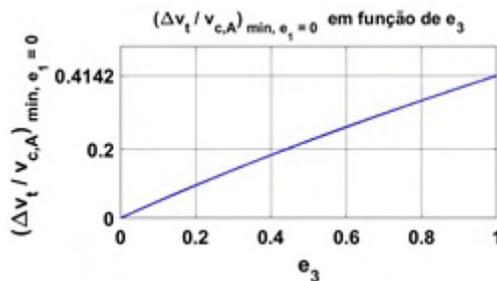


Figura 12 – Influência de e_3 no comportamento do $\left(\Delta v_t/v_{c,A}\right)_{\min, e_1=0}$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da figura 12, tem-se que o incremento de velocidade aumenta quase que linearmente à medida que a excentricidade aumenta. Portanto, quando o interesse é lançar o veículo espacial de uma órbita circular para uma órbita excêntrica externa, é melhor que a transferência ocorra em baixas excentricidades.

4.5 Avaliação do comportamento do Δv_t com variação das anomalias verdadeiras

Segundo Hohnman (1960) a melhor condição para se realizar uma manobra orbital acontece quando o veículo sai do perigeu da órbita interna e chega no apogeu da órbita externa ou vice-versa. Isso pode ser verificado analiticamente. De acordo com Curtis (2005), pode-se calcular o Δv_A da seguinte maneira:

$$\Delta v_A = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos(\Delta\gamma)} \quad (21)$$

Derivando em função de $\Delta\gamma$ e igualando a zero para encontrar o mínimo da equação (21), tem-se que $v_1v_2 \sin \Delta\gamma$ deve ser nulo. Portanto, quando $\Delta\gamma=0^\circ$, o Δv é mínimo. Esse tipo de situação em que as diferenças dos ângulos de voo é 0° acontece no perigeu e no apogeu da órbita, pois, nesses pontos, o vetor velocidade não tem componente radial e, conseqüentemente, a velocidade é tangente à órbita e os vetores \vec{v}_1 e \vec{v}_2 são paralelos, não sendo necessário consumir combustível para mudar a direção do vetor velocidade do veículo espacial uma vez que necessita somente de modificar a velocidade em módulo. Demonstrando, então, que o perigeu e o apogeu são os locais mais econômicos para se realizar uma transferência.

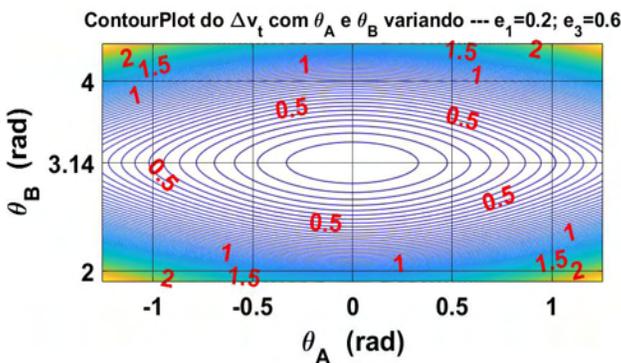


Figura 13 – Influência das anomalias verdadeiras no Δv_t .

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 13 foi gerada através da equação 14 e ilustra uma situação para demonstrar que de fato o perigeu e o apogeu das órbitas internas e externas são os pontos mais econômicos para se realizar a transferência orbital. Verificando numericamente o que foi

obtido analiticamente.

5 | CONCLUSÕES

O objetivo foi estudar manobras orbitais e mais especificamente a manobra de fase. Assim, foram realizadas simulações numéricas avaliando algumas das equações desenvolvidas neste trabalho. A partir destas simulações e analisando algumas funções que descrevem o Δv aplicado, verificou-se que os resultados condizem com os que se fazem presentes na bibliografia. Com relação aos resultados, foram deduzidas algumas equações gerais que descrevem o comportamento do incremento de velocidade em função somente de parâmetros geométricos, ou seja, uma vez que independe do parâmetro gravitacional μ , essas equações e, conseqüentemente, as razões de raios associadas aos mínimos e máximos, são válidas para qualquer sistema dinâmico na qual as hipóteses do problema de dois corpos sejam válidas.

Tendo em vista a generalidade das equações utilizadas e as simulações numéricas feitas, independente de qual seria o corpo principal que estaria sendo orbitado por um veículo espacial, pode-se concluir que: (i) os pontos próximos às anomalias verdadeiras 0 e π são os locais mais interessantes, em relação ao consumo de combustível, de realizar a manobra orbital; (ii) para grandes razões de raios a transferência entre uma órbita circular e outra elíptica será mais econômica do que entre duas órbitas circulares; (iii) Como é mostrado na figura 4, quando a excentricidade da órbita de transferência entre duas órbitas circulares é igual a 0,8794, o consumo de combustível é máximo. Portanto, este valor e os valores de excentricidades próximo a este, devem ser evitados para tornar a manobra de fase mais econômica. (iiii) Em uma situação em que a transferência ocorre de uma órbita circular para uma órbita elíptica e a razão dos raios sejam extremamente grandes (de modo que poderia se considerar que a razão tende para o infinito) o Δv poderia ser aproximado como 41,42% da velocidade circular do ponto de início da manobra.

FINANCIAMENTO

CNPq.

REFERÊNCIAS

Bevilacqua, R., & Romano, M. (2008). **Rendezvous maneuvers of multiple spacecraft using differential drag under J2 perturbation**. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 31(6), 1595-1607.

Billik, B. H., & Roth, H. L. (1964). **Studies relative to rendezvous between circular orbits**. AEROSPACE CORP EL SEGUNDO CALIF.

Curtis, H. D. (2005). **Orbital Mechanics for Engineering Students**, ch 1–5.

da Fonseca, J. B. D. S., de Almeida Prado, A. F. B., & Zanardi, M. C. F. (2010). **Manobras de órbita e atitude de satélites artificiais.**

Gross, L. R., & Prussing, J. E. (1974). **Optimal multiple-impulse direct ascent fixed-time rendezvous.** AIAA Journal, 12(7), 885-889.

Hall, C. D., & Collazo-Perez, V. (2003). **Minimum-time orbital phasing maneuvers.** Journal of guidance, control, and dynamics, 26(6), 934-941.

Hohmann, W. (1960). **The Attainability of Heavenly Bodies(Die Erreichbarkeit der Himmelskoerper).** NASA, (19980230631).

Lopez, I., & McInnes, C. R. (1995). **Autonomous rendezvous using artificial potential function guidance.** Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 18(2), 237-241.

Luo, Y. Z., Tang, G. J., Li, Y. J., & Li, H. Y. (2007). **Optimization of multiple-impulse, multiple-revolution, rendezvous-phasing maneuvers.** Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 30(4), 946-952.

MC CUE, G. A. (1963). **Optimum two-impulse orbital transfer and rendezvous between inclined elliptical orbits.** AIAA Journal, 1(8), 1865-1872.

Prussing, J. E. (1969). **Optimal four-impulse fixed-time rendezvous in the vicinity of a circular orbit.** AIAA Journal, 7(5), 928-935.

Prussing, J. E. (1970). **Optimal two-and three-impulse fixed-time rendezvous in the vicinity of a circular orbit.** AIAA Journal, 8(7), 1221-1228.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alternative Energy Sources 82, 83

Altitudes científicas 174

Aprendizagem 35, 41, 98, 99, 101, 103, 104, 105, 110, 113, 128, 134, 137, 138, 163, 164, 165, 166, 168, 170, 172, 173

Aulas práticas 108, 110, 111

AWE 82, 83, 84, 85, 86, 87, 93, 94

B

Biological material 1

C

Caracterização geológica 115

Celulose bacteriana 80, 139, 140, 141, 142, 147, 148, 150

Classificação de tráfego 30, 31, 33, 40, 41

Cl concentration 1, 4

Composição química 17, 167

Compósitos 69, 71, 72, 73, 76, 77, 78

Controle 1, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 17, 20, 26, 31, 42, 137, 138, 151, 161

D

Detritos espaciais 5, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 160, 161, 162

Docência 108, 109, 185

E

Educação básica 128, 129, 185

Educação superior 97

EDXRF 1, 2, 3, 4

Environmentally Sound Technologies 82, 83

Estabilidade 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 44, 71

Experimentação 128, 134, 135

F

Farinha de bagaço de mandioca 69, 72, 74, 80

Fontes nutricionais 140, 145

G

Geociências 108

I

INAA 1, 2, 3

Incremento de velocidade 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 64, 65, 66, 67

Intervenção 97, 98, 99, 102, 103, 104, 105, 106, 167, 185

K

Komagataeibacter hansenii 140, 141, 149

L

Legislação 17, 22, 151, 156

M

Manobra orbital 53, 54, 55, 66, 67

Mata Ciliar 43, 47, 48, 52

Mensuração 43, 166

Metais pesados 17

Micronutrientes minerais 17, 21, 22, 23, 26

MLP 30, 31, 32, 33, 35, 40

Modelos atômicos 163, 167, 168, 170, 171, 172

Monitor 3, 4, 88, 108, 109, 110, 113, 114, 185

Morfologia 115

P

Polipropileno 69, 71, 72, 76, 77, 78

Produção 1, 19, 25, 26, 70, 79, 81, 105, 134, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 153, 156

Propriedades mecânicas 69, 71, 76, 77, 78, 141

Psicologia social 97, 98, 99, 100, 101, 102, 106, 107

R

Reconstrução paleoclimática 115

Redes definidas por software 30, 31, 41, 42

Redes neurais artificiais 30

Referências altimétricas 174

Resíduos recorrentes 151

S

Separação geoide-quasegeoide 174, 176, 177, 179, 180, 183

Sequência didática 138, 163, 168, 170, 172

Simulador PhET 163, 165, 167, 168, 169, 172

Sistemas ligados por cabos 5, 6

Suplementos 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Sustainability 82, 95

T

Transferência de órbita 53

Tukey 43, 44, 45, 50, 51

U

Utilização industrial 139, 140

W

Whey protein 17, 18, 19, 20, 26, 27, 28, 29

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2