

# Proposta da análise conceitual de uma arquitetura preliminar para a Missão ASTER

Wesley Proença de Camargo<sup>1</sup>, Willer Gomes dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

**Resumo** – Este trabalho resume um projeto de pesquisa voltado a uma missão espacial de espaço profundo, a missão espacial russo-brasileira ASTER, cujo objeto de estudo é um sistema triplo de asteroides (2001SN263). O presente trabalho se propõe a fazer uma análise conceitual de uma arquitetura preliminar da missão ASTER.

**Palavras-Chave** – Missão ASTER, Defesa Planetária, Exploração de Asteroides.

## I. INTRODUÇÃO

Há muitos objetos com interesse de estudo no sistema solar, um deles são os NEA's (Near-Earth asteroids), que são asteroides com órbita próxima à da Terra, em até 0,05 UA (Unidades Astronômicas). Os três principais motivadores desses estudos são: Defesa planetária, Mineração espacial, Investigação das origens do Sistema Solar. Um desses objetos é o sistema triplo de asteroides 2001SN263, do tipo AMOR, que foi o primeiro sistema de asteroides identificado com mais de dois corpos, em condições propícias e seguras de estudo, viabilizando uma missão de baixo custo para sua exploração: a missão russo-brasileira ASTER. Pela pouca literatura presente sobre o assunto, fez-se necessário um estudo conceitual de uma arquitetura preliminar dessa missão espacial, focando em grande parte, na viabilidade de um veículo explorador.

## II. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Desde a descoberta do primeiro asteroide, Ceres (atualmente classificado como um planeta anão), em 1801, pelo astrônomo italiano Giuseppe Piazzi, muitos outros corpos similares foram encontrados [1,2]. Atualmente, conhece-se aproximadamente 600.000 asteroides [3] presentes no cinturão de asteroides e, muito provavelmente, existem outros milhões a serem identificados. Quando a órbita de um asteroide encontra-se dentro de aproximadamente 1,3 UA (Unidade Astronômica) ou 0,3 UA da órbita da Terra, ele é classificado como um NEA (Near-Earth Object) e agrupado em uma das três categorias: Apollos (representando 57% do número total de NEAs); Amor (representando 37% dos NEAs); e Atenas (representando 8% dos NEAs). Se a órbita de um NEA é menor do que 0,05 UA (cerca de 7,5 milhões de quilômetros) da órbita da Terra, e seu diâmetro exceder 150 m, o asteroide torna-se um objeto potencialmente perigoso à vida na Terra. Esse risco de colisão justifica o crescente interesse, por parte das agências

espaciais ao redor do mundo, em explorar e estudar esse tipo de objeto celeste.

Outra razão do progressivo entusiasmo por NEAs é o processo de mineração [4], conceito que envolve a extração de valiosos materiais que, processados no espaço, podem prover recursos para uma possível comercialização e industrialização espacial. A mineração de asteroides pode contribuir para a produção de propelentes de satélites, construção de estruturas para suporte à vida; agricultura, metalurgia, fabricação de semicondutores, e extração de metais preciosos e escassos na Terra. De acordo com [5], um asteroide com um quilômetro de diâmetro e com massa de dois bilhões de toneladas contém, por exemplo, cerca de 7.500 toneladas de platina, o que representa um valor monetário de mais de US\$150 bilhões.

Do ponto de vista científico, acredita-se que muitos NEA's ainda preservam informações sobre a origem do sistema solar. Em particular, conjectura-se que esses objetos podem nos ajudar a entender o processo químico que originou os planetas, bem como fornecer registros da evolução geológica dos corpos menores nas regiões interplanetárias. Além disso, NEAs são excelentes alvos para missões espaciais, pois se aproximam periodicamente da órbita da Terra. Portanto, a importância científica e tecnológica de missões a asteroides é notória.

Um interessante NEA é o sistema triplo de asteroide 2001SN263, do tipo Amor, descoberto em 2008 [6] por cientistas da estação de rádioastronomia de Arecibo, Porto Rico. O sistema, ilustrado na Figura 1, é composto de um corpo central (chamado de Alfa), com 1,25 km de raio, e dois corpos menores (Beta e Gama), com raio de 0,39 e 0,22 km, respectivamente. Considerando um sistema de referência centrado no maior corpo, Beta possui um semi-eixo maior de 16,633 km, excentricidade de 0,015, inclinação nula, e um período orbital de 6,23 dias. Gama possui um semi-eixo maior de 3,804 km, excentricidade de 0,016, inclinação de 13,87 graus, e um período orbital de 0,69 dias [7,8]. A investigação de um asteroide triplo a partir de curtas distâncias seria inédita e de substancial importância. Nesse contexto, foi proposta a missão brasileira ASTER [9] a ser realizada em parceria com a agência espacial russa. A missão foca em um projeto de baixo custo, com uma espaçonave com massa final de até 100 kg, e envolve diversas instituições brasileiras. Uma das contribuições da agência espacial russa nessa missão será o fornecimento da plataforma espacial russa Pilgrim [9], desenvolvida para outras missões espaciais.

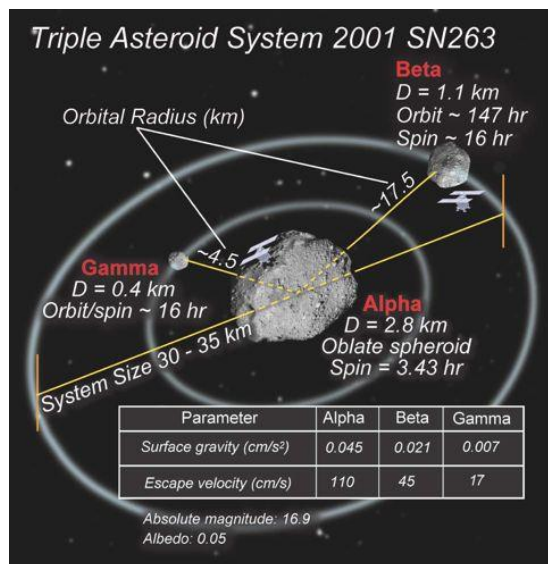


Fig. 1. Ilustração do sistema 2001SN263 simulado. [23]

Embora ainda não haja uma programação oficial para essa missão, análises preliminares de estudos de pré-fase A já foram solicitadas ao Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais (CPRIME) do INPE. Porém, devido à alta complexidade da missão e falta de definição clara dos requisitos de missão, por parte dos stakeholders e principais investigadores, o projeto conceitual dessa missão ainda não foi iniciado. Nesse sentido, este trabalho visa contribuir com os agentes envolvidos para o desenvolvimento da pré-fase A da missão ASTER.

O problema, a ser resolvido neste projeto de pesquisa, pode ser formulado pelas seguintes questões: “Como seria o projeto conceitual de um sistema espacial para atender os requisitos científicos da missão ASTER?”. “Haveria mais de uma solução viável para esse problema?”. “Um nanossatélite ou um CubeSat seria capaz de atender os requisitos da missão?”. Além disso, pretende-se comparar as soluções obtidas neste projeto com a solução proposta pela agência espacial russa (plataforma Pilgrim) visando responder a seguinte pergunta: “Quais seriam as vantagens e desvantagens de cada solução?”. “Haveria uma solução que melhor atendesse os requisitos da missão em termos de capacidade (desempenho), custo e risco?”. Para responder a estas perguntas, pretende-se utilizar conceitos e métodos de engenharia de sistemas espaciais [10,11]. O foco do trabalho será no projeto e análise do segmento espacial, especificamente da plataforma. O projeto conceitual de um veículo espacial envolve o estudo sistêmico das seguintes disciplinas: órbita, potência, comunicação, controle de atitude, propulsão, estrutura e mecanismos, térmica e custo.

#### A. Referencial teórico

Nas últimas décadas, foram idealizadas e concretizadas diversas missões espaciais para visitar objetos próximos a Terra. A sonda ISEE-3, International Cometary Explorer (ICE), tornou-se o primeiro artefato humano a visitar um cometa, em setembro de 1985, passando através da cauda de plasma do cometa Giacobini-Zinner e realizando diversas

medições in-situ [12]. Posteriormente, ocorreu a armada Halley [13]: programa espacial composto por 5 sondas (Giotto, Vega-1, Vega-2, Suisei, e Sakigake), de diferentes agências espaciais, enviadas para analisar o cometa Halley, durante o ano de 1986, quando ele fazia sua jornada pelo interior do nosso sistema solar. A primeira sonda a realizar um *rendezvous* (aproximação), e posteriormente uma aterrissagem, com um asteroide (o 433 Eros), foi a Near Earth Asteroid Rendezvous Shoemaker (NEAR Shoemaker) em fevereiro de 2000 [14]. Em maio de 2003, foi lançada, pela agência espacial japonesa, a nave espacial Hayabusa [15], cujo objetivo era investigar a forma, rotação, topografia, cor e composição do asteroide 25.143 Itokawa. Além desses propósitos, a missão também pretendia testar o desempenho de diversas novas tecnologias, tais como: motor iônico, navegação autônoma e sistema de coleta de amostras do asteroide. As imagens, enviadas pela sonda em 2005, deixaram os cientistas perplexos, pois contradiziam com as hipóteses aceitas até aquele momento. A missão culminou, com êxito, em 2010, com o retorno das amostras à Terra.

Missões recentes também trouxeram resultados bastante significativos à comunidade científica. Entre elas, podemos citar a sonda Dawn [16], da NASA, lançada em setembro de 2007, com o objetivo de estudar o asteroide Vesta e o planeta anão Ceres. A espaçonave encontrou-se com Vesta, em julho de 2011, e, após a correção de algumas anomalias no sistema de propulsão iônico, ela conseguiu chegar ao seu segundo alvo, Ceres, em fevereiro de 2015. Já a missão New Horizons [17], lançada em janeiro de 2006, tornou-se a primeira espaçonave a sobrevoar o planeta anão Plutão, e a fotografar suas pequenas luas, em julho de 2015. Outras missões espaciais a serem lançadas, ou já em andamento, e com objetivos de estudar asteroides e cometas são: OSIRIS-REx da NASA [18]; Hayabusa-2 da JAXA [19]; MarcoPolo-R da ESA [20]; e missão Rosetta, também da ESA [21].

#### B. Hipóteses

Como ponto de partida do trabalho, assumiu-se que há três hipóteses relevantes e inter-relacionadas a serem testadas neste trabalho. A saber:

##### Hipótese (1)

A plataforma russa Pilgrim pode ser usada para cumprir os requisitos da missão ASTER.

##### Hipótese (2)

Um CubeSat pode cumprir os requisitos da missão ASTER.

##### Hipótese (3)

Um CubeSat pode ser uma solução mais adequada para a missão ASTER do que a plataforma russa Pilgrim, em termos de Custo e Desempenho.

A validação das hipóteses será realizada com base no procedimento metodológico proposto.

### C. Justificativa de estudo

A missão ASTER se caracteriza como um importante salto no Programa Espacial Brasileiro, tanto por ser uma missão de *Deep Space* de alta complexidade, quanto por estar na vanguarda do que se faz no mundo em termos de exploração de asteroides, bem como em sistemas de multi-corpos.

A exploração do sistema triplo de asteroides 2001SN263 exige um veículo adaptado para a realidade dos pesquisadores brasileiros e internacionais, dada a grande importância e complexidade envolvidas. Dito isso, e tendo em vista a crescente popularidade de estudo, produção e lançamento dos nanossatélites no Brasil e no mundo, torna-se importante também estudar a viabilidade do uso de um nanossatélite para a referida missão espacial, uma vez que um veículo de menor porte poderia reduzir os custos de todas as etapas envolvidas, incluindo: desenvolvimento, teste, lançamento, operação e descarte.

Há institutos e grupos de pesquisa especializados e competentes o suficiente no Brasil para fazer a missão se concretizar, bem como as parcerias internacionais, que fortalecem a relevância acadêmica da missão em termos de: economia e indústria (mineração espacial), astronomia (informações sobre a origem do Sistema Solar e da vida) e defesa planetária (Asteroides potencialmente perigosos à vida na Terra). Isso faz com que haja maior energia e entusiasmo das partes envolvidas no trabalho para que ele seja desempenhado da maneira mais profissional e eficiente possível. Esse trabalho, sendo um dos primeiros no estudo de nanossatélites para sistemas de mais de dois corpos, pode abrir caminho para que outras propostas semelhantes de baixo custo se tornem viáveis, contribuindo para o avanço da ciência.

Por se tratar de um projeto conceitual, os custos do presente estudo são baixos, limitando-se a simulações computacionais, procedimentos de engenharia de sistemas espaciais e documentos.

Os resultados de uma missão bem sucedida em espaço profundo são repercutidos em toda a indústria de defesa do país, pela capacitação de profissionais, prontidão da indústria e maturidade de novas tecnologias.

### III. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento a ser adotado consiste no fluxograma (alto nível) apresentado na Figura 2, em que cada elemento do fluxograma é um bloco a ser trabalhado separadamente.

Antes de aplicar o método, é preciso obter os blocos de informações, ou seja, é preciso levantar a seguinte “matéria-prima” para trabalhar o fluxograma:

- Requisitos da missão ASTER;
- Informações da plataforma russa Pilgrim;
- Informações típicas de CubeSats e suas missões;
- Informações típicas de veículos em missões de deep space.

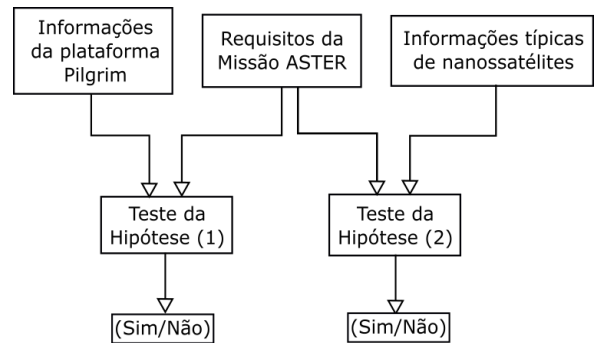


Fig. 2. Fluxograma procedimental de validação das hipóteses

Os testes de hipótese a serem realizados passam pelos projetos conceituais de veículo, com o estudo sistêmico dos seguintes parâmetros:

1. Órbita
2. Potência
3. Comunicação
4. Controle de Atitude
5. Propulsão
6. Estrutura e Mecanismos
7. Controle Térmico
8. Custo

O estudo do projeto conceitual será baseado no trabalho da disciplina de projeto, ministrada pelo orientador deste trabalho, no segundo semestre de 2019, para o curso de graduação em engenharia. O trabalho será guiado com base nos conceitos do SMAD [22], texto base da engenharia de sistemas espaciais estudada na graduação do ITA. As ferramentas de modelagem necessárias possivelmente usadas serão o STK, CATIA V5, Microsoft Office, entre outros a serem descobertos e sugeridos ao decorrer do trabalho.

O trabalho será desenvolvido dentro do grupo de pesquisa do orientador, haverá entrevistas com os stakeholders para formulação dos requisitos da missão, ponto de partida do fluxograma proposto; nos projetos conceituais de veículo, haverá a necessidade de simulação de órbita, simulações térmicas, estruturais, análise de circuitos para distribuição de energia, bem como comparação com os sistemas de controle e comunicação comuns disponíveis no mercado. A Tabela I resume o raciocínio dos testes de hipótese:

TABELA I. RESULTADOS ESPERADOS PARA HIPÓTESE (3).

Testes	Teste HIP.1 = SIM	Teste HIP.1 = NÃO
Teste HIP.2 = SIM	HIP.3 = Depende (avaliar)	HIP.3 = SIM
Teste HIP.2 = NÃO	HIP.3 = NÃO	HIP.3 = NÃO

### IV. DEFINIÇÃO DO ESCOPO DO ESTUDO

Dividiram-se as manobras orbitais principais em 3 fases distintas, sendo a primeira uma órbita de estacionamento em volta da Terra (Fase I), a segunda fase é uma órbita heliocêntrica de transferência para a direção do asteroide

(Fase II) e a terceira fase sendo uma órbita de estacionamento ao redor do sistema de asteroides (Fase III).

Definiu-se que o presente estudo se limita à Fase III das órbitas da missão ASTER (orbitando 2001SN263), conforme a Figura 3, sem considerar transições de fase, para que os principais payloads sejam adequadamente especificados.

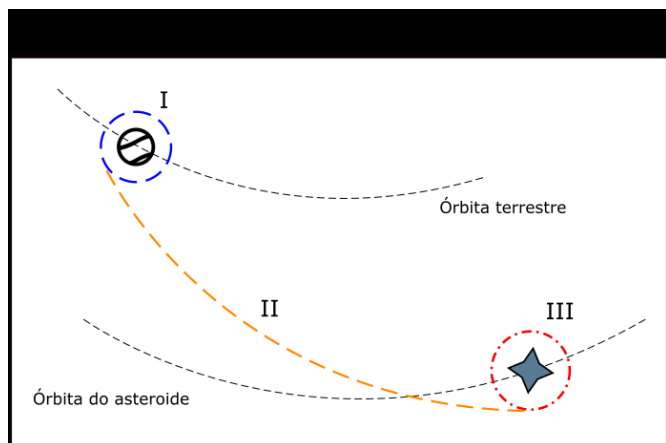


Fig. 3. Divisão de fases da missão ASTER. O escopo do trabalho é a fase III.

## V. RESULTADOS PRELIMINARES

Foram levantados alguns dos objetivos da missão ASTER, com o intuito de estabelecer um conceito de missão:

- Estudar o plasma no espaço;
- Fazer um experimento de astrobiologia, em ambiente extremófilo;
- Estudar a conformação, evolução e estabilidade do sistema 2001SN263;
- Validar pouso, telemetria, controle de atitude, controle de órbita e demais subsistemas para uma missão a um sistema de multi-corpos.

A Tabela II traz algumas das informações-chave da plataforma russa estão disponíveis para uso em trabalho e simulações:

TABELA II. ESPECIFICAÇÕES DA PLATAFORMA RUSSA PILGRIM.

<i>Crítérios</i>	<i>Valores</i>
Massa Total Inicial	de 152 a 157 kg
Massa do Payload	de 30 a 35 kg
Propelente (Xe)	de 66 a 71 kg
Potência Nominal	2,1 kW
Painéis Solares (As-Ga)	5 m <sup>2</sup>
Intensidade Propulsor	de 80 a 90 m.N

Alguns dos principais payloads possíveis de serem usados nas plataformas já são conhecidos e especificados:

- Wide Angle Camera (WAC) e Narrow Angle Camera (NAC):

TABELA III. ESPECIFICAÇÕES DO IMAGEAMENTO.

<i>Característica</i>	<i>Especificação</i>
Sensor CCD	1024 x 1024 pixels
Profundidade	12 bits/pixel
Campo de visão WAC	1,033 rad
Campo de visão NAC	0,017 rad
Resolução a 30 km WAC	2,00 m/pixel
Resolução a 30 km NAC	0,25 m/pixel

- Laser range-finder (LIDAR com processamento):

A Figura 4 apresenta o princípio de funcionamento do instrumento de medição de distâncias com tecnologia LASER embarcada. Com frequências, velocidades e tempos entre os pulsos de luz conhecidos, é possível calcular a distância percorrida pela luz emitida.

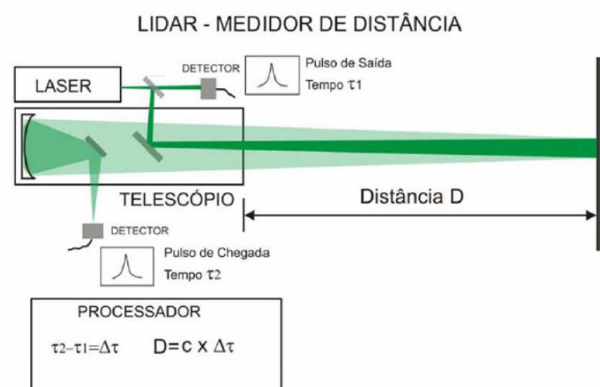


Fig. 4. Esquema do medidor de distância a LASER.

- Plasmex (sonda de Lagmuir adaptada):

TABELA IV. ESPECIFICAÇÕES DO EXPERIMENTO DE PLASMA.

<i>Propriedade</i>	<i>Especificação</i>
Massa	< 1 kg
Dimensões da sonda (mm)	190 x 150 x 90
Quantidade de canais de dados	6
Taxa de aquisição de dados	6 x 32 palavras digitais
Potência consumida	1,3 W
Tensão de operação	+9V, +5V, -9V
Temperatura de operação	de -10 °C até +40°C

## VI. OBSERVAÇÕES FINAIS

A missão espacial russo-brasileira ASTER é de grande importância para a pesquisa nacional, tanto em termos acadêmicos e científicos, quando em termos de capacitação de profissionais e domínio das metodologias e tecnologias de missões espaciais, especialmente no que concerne às missões de espaço profundo. As missões para asteroides configuram oportunidades ímpares para testes de novas tecnologias espaciais, que podem facilmente possuir aplicação dual civil-defesa.

## REFERÊNCIAS

- [1] BOWELL, E.; MUINONEN, K.; WASSERMAN, L. H. "A Public--Domain Asteroid Orbit Database." Symposium-International Astronomical Union. [S.l.]: [s.n.]. 1994. p. 477-481.
- [2] TEDESCO, E. F.; DESERT, F.-X. "The infrared space observatory deep asteroid search." *The Astronomical Journal*, v. 123, p. 2070, 2002.
- [3] LIBOUREL, G.; CORRIGAN, C. M. "Asteroids: New challenges, new targets." *Elements*, v. 10, p. 11-17, 2014.
- [4] ROSS, S. D. "Near-earth asteroid mining." *Space*, 2001.
- [5] LEWIS, J. S. "Mining the sky: untold riches from the asteroids, comets, and planets." Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1996.
- [6] NOLAN, M. C. et al. "Arecibo radar imaging of 2001 SN263: A near-Earth triple asteroid system." *Asteroids, Comets, Meteors 2008*. [S.l.]: [s.n.]. 2008.
- [7] BECKER, T. M. et al. "Physical modeling of triple near-Earth asteroid (153591) 2001 SN 263 from radar and optical light curve observations." *Icarus*, v. 248, p. 499-515, 2015.
- [8] ARAUJO, R. A. N.; WINTER, O. C.; PRADO, A. F. B. A. "Stable retrograde orbits around the triple system 2001 SN263." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 449, p. 4404-4414, 2015.
- [9] SUKHANOV, A. A. et al. "The Aster project: flight to a near-Earth asteroid." *Cosmic research*, v. 48, p. 443-450, 2010.
- [10] LEY, W.; WITTMAN K.; HALLMANN, W., "Handbook of Space Technology". United Kingdom: John Wiley and Sons, 2009.
- [11] WERTZ, J. R.; EVERETT, D. F.; PUSCHELL, J. J., "Space Mission Engineering: The New SMAD", Microcosm Press, 2011.
- [12] ROSENVINGE, V. A. T. T.; BRANDT, J. C.; FARQUHAR, R. W. "The international cometary explorer mission to comet Giacobini-Zinner." *Science*, v. 232, p. 353-357, 1986.
- [13] STELZRIED, C.; EFRON, L.; ELLIS, J. "Halley Comet Missions." *Nature*, v. 321, p. 240-242, 1986.
- [14] PROCKTER, L. et al. "The NEAR shoemaker mission to asteroid 433 Eros." *Acta Astronautica*, v. 51, p. 491-500, 2002.
- [15] FUJIWARA, A. et al. "The rubble-pile asteroid Itokawa as observed by Hayabusa." *Science*, v. 312, p. 1330-1334, 2006.
- [16] RUSSELL, C. T.; RAYMOND, C. A. "The dawn mission to Vesta and Ceres." *Space Science Reviews*, v. 163, p. 3-23, 2011.
- [17] GUO, Y.; FARQUHAR, R. W. "New Horizons mission design." *Space science reviews*, v. 140, p. 49-74, 2008.
- [18] LAURETTA, D. S.; TEAM, O. S. I. R. I. S.-R. "An overview of the OSIRIS-REx asteroid sample return mission." *Lunar and Planetary Science Conference*. [S.l.]: [s.n.]. 2012.
- [19] TSUDA, Y. et al. "System design of the Hayabusa 2—Asteroid sample return mission to 1999 JU3." *Acta Astronautica*, v. 91, p. 356-362, 2013.
- [20] BARUCCI, M. A. et al. "MarcoPolo-R near earth asteroid sample return mission." *Experimental Astronomy*, v. 33, p. 645-684, 2012.
- [21] GLASSMEIER, K.-H. et al. "The Rosetta mission: flying towards the origin of the solar system." *Space Science Reviews*, v. 128, p. 1-21, 2007.
- [22] WERTZ, J. R. et al. "Space mission engineering: The new SMAD." Hawthorne, CA. Microcosm Press, 2011.
- [23] LEE, P. et al. "Amor: A Lander Mission to Explore the C-Type Triple Near-Earth Asteroid system 2001 SN263". Conference paper, 2011.