



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/11.22.18.25-TDI

**UMA NOVA ABORDAGEM PARA GARANTIA DE
MISSÃO MÍNIMA VIÁVEL (GMMV) PARA SATÉLITES
DE PEQUENO E MÉDIO PORTE CONSIDERANDO
REQUISITOS CRÍTICOS, RESTRIÇÕES PÉTREAS E
CRITÉRIOS DE DECISÃO BALANCEADOS**

Cristiane Mariano Zavati Silva

Tese de Doutorado do Curso de
Pós-Graduação em Engenharia e
Tecnologia Espaciais/Engenharia
e Gerenciamento de Sistemas
Espaciais, orientada pelo Dr.
Marcelo Lopes de Oliveira e Souza,
aprovada em 24 de novembro de
2023.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/4A96HDH>>

INPE
São José dos Campos
2023

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/11.22.18.25-TDI

**UMA NOVA ABORDAGEM PARA GARANTIA DE
MISSÃO MÍNIMA VIÁVEL (GMMV) PARA SATÉLITES
DE PEQUENO E MÉDIO PORTE CONSIDERANDO
REQUISITOS CRÍTICOS, RESTRIÇÕES PÉTREAS E
CRITÉRIOS DE DECISÃO BALANCEADOS**

Cristiane Mariano Zavati Silva

Tese de Doutorado do Curso de
Pós-Graduação em Engenharia e
Tecnologia Espaciais/Engenharia
e Gerenciamento de Sistemas
Espaciais, orientada pelo Dr.
Marcelo Lopes de Oliveira e Souza,
aprovada em 24 de novembro de
2023.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/4A96HDH>>

INPE
São José dos Campos
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Cristiane Mariano Zavati.
Si38u Uma nova abordagem para Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições péticas e critérios de decisão balanceados / Cristiane Mariano Zavati Silva. – São José dos Campos : INPE, 2023.
xxviii + 221 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/11.22.18.25-TDI)

Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2023.

Orientador : Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza.

1. Garantia de missão. 2. Produto mínimo viável. 3. Controle da qualidade. 4. Garantia do produto. 5. Satélites de pequeno e médio porte. I.Título.

CDU 629.78:005.36



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DEFESA FINAL DE TESE CRISTIANE MARIANO ZAVATI SILVA BANCA Nº 268/2023, REGISTRO 129038/2019

No dia 24 de novembro de 2023, às 10h00, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Doutora em Engenharia e Tecnologias Espaciais / Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, com a exigência de que o trabalho final a ser publicado deverá incorporar as correções sugeridas pela Banca Examinadora, com revisão pelo(s) orientador(es).

Novo título: “Uma Nova Abordagem para Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para Satélites de Pequeno e Médio Porte Considerando Requisitos Críticos, Restrições Pétreas e Critérios de Decisão Balanceados”.

Membros da Banca:

Dr. Walter Abrahão dos Santos - Presidente - INPE
Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza – Orientador - INPE
Dr. José Eduardo May - Membro Interno - INPE
Dra. Eveline de Robertis - Membro Interno - INPE
Dr. Mário Niwa - Membro Externo - IFI
Dr. Willer Gomes dos Santos - Membro Externo - ITA



Documento assinado eletronicamente por **José Eduardo May, Tecnologista**, em 29/11/2023, às 15:20 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Walter Abrahão dos Santos, Tecnologista**, em 29/11/2023, às 15:22 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eveline de Robertis, Pesquisador**, em 30/11/2023, às 08:05 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Willer Gomes dos santos (E), Usuário Externo**, em 30/11/2023, às 11:39 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mario Niwa (E), Usuário Externo**, em 30/11/2023, às 15:52 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **marcelo lopes de oliveira e souza (E), Usuário Externo**, em 30/11/2023, às 17:19 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **11522155** e o código CRC **5A1FC301**.

Referência: Processo nº 01340.009580/2023-15

SEI nº 11522155

“O silêncio é uma travessia. Há que ter bagagem para ousar essa viagem”.

Mia Couto

Dedico essa obra ao Divino que me inspira, fortalece e que me conduz por caminhos que nunca antes ousei imaginar. Também com especial destaque dedico à minha família linda, onde posso citar: meus pais Wanderley (em memória) e Maria, meus irmãos (Katia e Romulo), cunhados (Hélio e Samanta) e meus sobrinhos incríveis (Beatriz, Matheus, Alice e Helena); e a todos aqueles que considero família e amor, incluindo a Ísis fofinha.

AGRADECIMENTOS

O conhecimento é a ferramenta mais ousada de libertação da consciência, e sua busca sempre foi uma arte, ao mesmo tempo, apreciável e exaustiva. Além de contribuir para o contato mais próximo da alma (essência) e atenuar as cicatrizes do tempo, liberta o sujeito das correntes da ignorância, trazendo beleza e leveza a um futuro vindouro.

Uma das evidências da minha busca por conhecimento, na área de Engenharia se materializa por meio deste trabalho, sendo uma produção científica; porém, isso apenas foi possível através da contribuição de algumas pessoas especiais. Para essas pessoas, preciso reservar algumas linhas, visando tecer-lhes os agradecimentos pertinentes.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Divino pelo dom da vida, inspiração, talentos, força e pelas possibilidades reservadas a mim, além de me proteger e guiar em toda caminhada.

Reservo um agradecimento especial a todos que considero "família" e meus amores, por terem compreendido meus momentos de ausência, reservando a mim carinho e força durante essa jornada.

Ao meu orientador, Dr. Marcelo Lopes, minha mais profunda gratidão pelas horas de orientação, as quais foram fundamentais e determinantes para a conclusão deste trabalho.

Agradeço, ainda, ao INPE e aos colegas de trabalho, por terem me apoiado nos momentos em que precisei me ausentar para atender a compromissos acadêmicos, além de contribuir com a amizade, leituras e avaliações dos textos aqui relatados. Posso citar especialmente: Renato Branco, Eveline de Robertis, Ângelo Neri, Gledson Diniz e Eduardo May.

E finalizando, agradeço aos colegas do ITA pelo apoio, leituras e avaliações dos textos deste trabalho. De forma a representá-los, cito: Guilherme Moreira.

RESUMO

A história das missões espaciais mostra que: 1) a sua Fase Pioneira (*“Old Space”*, do lançamento do Sputnik 1, em 04 out. 1957, ao último lançamento do Ônibus Espacial, em 08 jul. 2011) foi conduzida por duas super-potências (EUA e URSS), priorizando os requisitos críticos, por motivos políticos e militares, via a Garantia de Missão Espacial Clássica; 2) a sua Fase de Transição (*“Transition Space”*, do início da montagem da ISS (Estação Espacial Internacional) em órbita, em 20 nov. 1998 ao fim da sua montagem e início da sua operação, em 08 jul. 2011) incluiu 10 países, priorizando a cooperação internacional, por motivos diplomáticos e financeiros, via Garantias de Missões Espaciais Compartilhadas; 3) a sua Fase Contemporânea (*“New Space”*, da fundação da SpaceX, em 06 maio 2002, ao dia presente, 24 nov. 2023) passou a incluir empresas, priorizando as restrições péticas, por motivos comerciais e pela redução de riscos, via a Garantia de Missão Espacial Moderna. Tais fases sugerem um balanço entre elas e uma adequação a missões e atores mais modestos. Assim, este trabalho apresenta uma nova abordagem para Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições péticas e critérios de decisão balanceados. Para isso, o trabalho: 1) revisa e analisa a literatura sobre as Garantias de Missão Espacial Clássica e Moderna, no âmbito nacional e internacional, tendo como foco satélites de pequeno e médio porte e identifica os processos, as atividades, e os documentos relacionados; 2) através de comparações entre estes, elenca as lacunas de conhecimento para possíveis adaptações e até melhorias; 3) propõe uma nova abordagem para a/ denominada de Garantia de Missão Mínima Viável e também um método de seleção de requisitos críticos e restrições péticas; 4) ilustra o método por meio de uma aplicação a um estudo de caso, na área espacial. Ao fim do trabalho foi possível compreender profundamente os processos utilizados, seus padrões, e apresentar algumas adequações, melhorias inovadoras e exemplos de utilização.

Palavras-chave: Garantia de missão. Produto mínimo viável. Controle da qualidade. Garantia do produto. Satélites de pequeno e médio porte.

A NEW APPROACH TO A MINIMUM VIABLE MISSION ASSURANCE (MVMA) FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED SATELLITES CONSIDERING CRITICAL REQUIREMENTS, STONE RESTRICTIONS, AND BALANCED DECISION CRITERIA

ABSTRACT

The history of space missions shows that: 1) its Pioneer Phase (“Old Space”, from the launch of Sputnik 1, on Oct. 4th, 1957, to the last launch of the Space Shuttle, on July 8th, 2011) was led by two superpowers (USA and USSR), prioritizing critical requirements, for political and military reasons, through the Classic Space Mission Assurance; 2) its Transition Phase (“Transition Space”, from the beginning of the assembly of the ISS (International Space Station) in orbit, on Nov. 20th, 1998 to the end of its assembly and beginning of its operation, on July 08th, 2011) included ten countries, prioritizing international cooperation, for diplomatic and financial reasons, through Shared Space Mission Assurances; 3) its Contemporary Phase (“New Space”, from the founding of SpaceX, on May 06th, 2002, to today, Nov. 24th, 2023) begun including companies, prioritizing stone restrictions, for commercial reasons and reduction of risks through the Modern Space Mission Assurance. Such phases suggest a balance among them and adequating them to more modest missions and actors. Thus, this work presents a new approach to a Minimum Viable Mission Assurance (MVMA) for small and medium-sized satellites considering critical requirements, stone restrictions, and balanced decision criteria. To this end, the work: 1) reviews and analyzes the literature on Classic and Modern Space Mission Assurances at national and international levels, focusing on small and medium-sized satellites and identifies related activities, processes, and documents; 2) through comparisons among them, identify knowledge gaps for possible adaptations and even improvements; 3) proposes a new approach to the/ called of Minimum Viable Mission Assurance and also a method for selecting critical requirements and stone restrictions; 4) illustrates the method through an application to a case study, in the space area. At the end of the work, it was possible to deeply understand the processes used, their standards, and present some adequations, innovative improvements and examples of use.

Keywords: Mission assurance. Minimum viable product. Quality control. Product assurance. Small and medium-sized satellites.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Ciclo de vida de um programa.	7
Figura 2.2 - Custos de um projeto durante o ciclo de vida.	8
Figura 2.3 - Distribuição do cronograma dos processos de GM da Aerospace Corporation.....	12
Figura 2.4 - Distribuição do cronograma dos processos de GM da Aerospace Corporation com as disciplinas de suporte.....	12
Figura 2.5 - Modelo de garantia de missão espacial.	13
Figura 2.6 - Ciclo de vida típico de projeto.	16
Figura 2.7- Guia de características de veículos espaciais para diferentes classes de risco de missão.....	17
Figura 2.8 - Requisitos críticos, critérios de decisão e restrições pétreas.....	23
Figura 2.9 - Relações hierárquicas entre os tipos de documentos.....	26
Figura 2.10 - Ilustração do MVP.....	28
Figura 2.11 - Exemplo de Diagrama IDEF0.	30
Figura 4.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM Clássica Nacional (missão EQUARS).	47
Figura 4.2 - Segmentos da missão EQUARS.....	47
Figura 4.3 - Organização da garantia de missão da missão EQUARS.	48
Figura 4.4 - Diagrama IDEF0 de nível superior para o processo adotado pelo SEQ para as atividades de garantia do produto.....	51
Figura 4.5 - Organograma do SEQ.	53
Figura 4.6 - Fases e atividades do processo adotado pelo SEQ.....	54
Figura 4.7 - Atividades do SEQ durante as fases dos projetos de satélites do INPE (sistemas e subsistemas).....	55
Figura 4.8 - Diagrama IDEF0 para os principais serviços do SEQ.....	57
Figura 4.9–ProSAME.	61
Figura 5.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM Clássica Internacional (USA e Europa).	63
Figura 5.2 - Perfis/características das classes de risco da missão.	65
Figura 5.3 - Resumo da abordagem pelo balanceamento de riscos.	66
Figura 5.4 - Resumo dos processos da GM no âmbito da Aerospace Corporation.....	68
Figura 5.5 - Elementos padrão dos projetos espaciais da NASA.	72
Figura 5.6 - Autoridades programáticas e institucionais da NASA.	72
Figura 5.7 - Organização do escritório de segurança e garantia de missão da NASA.	73
Figura 5.8 - Ciclo de vida de um projeto da NASA simplificado.	74
Figura 5.9 - Ciclo de vida da missão para interação com o projeto.....	75

Figura 5.10–Estrutura dos ramos e disciplinas da ECSS.	85
Figura 5.11–Disciplinas e normas da ECSS que suportam a garantia do produto.	86
Figura 6.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da Garantia de Missão Moderna.	92
Figura 6.2 - Nova Abordagem da Garantia Missão Mínima Viável (GMMV) selecionando, adequando e balanceando Requisitos Críticos e Restrições Pétreas.	95
Figura 6.3 - Normas, modelos e atividades de engenharia e <i>safety</i> da Garantia de Missão.	98
Figura 6.4 - Estrutura da lógica <i>Space System Model</i>	99
Figura 7.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior com a comparação entre as GMs Clássicas Nacional e Internacional.	101
Figura 7.2–Uma breve comparação entre as fases do ciclo de vida de projetos espaciais e os grandes processos das Garantias de Missão clássicas nacional e internacional.	108
Figura 7.3 - Diagrama IDEF0 de nível superior comparando as Garantias de Missão Clássica e Moderna.	109
Figura 8.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para a proposta de Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte. ...	113
Figura 8.2 - Filosofia da Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte.	114
Figura 8.3–Informações essenciais para a Garantia de Missão Mínima Viável.	115
Figura 8.4 - Faixas típicas de requisitos e de restrições gerais.	118
Figura 8.5 - Proposta de Níveis de Envolvimento (NEs) da AA versus os tipos de requisitos, restrições e critérios.	126
Figura 8.6 - Proposta de atividades da AA versus os Níveis de Envolvimento da AA.	127
Figura 8.7 - Espaço de projeto com requisitos X restrições.	128
Figura 8.8 - Espaço de projeto com tipos de requisitos, critérios e restrições.	129
Figura 8.9 - Espaço de projeto com alguns requisitos, restrições, acoplamentos, e impactos multivariáveis.	131
Figura 8.10 - Aplicação do NE proposto nas Figuras 8.5 e 8.6 à missão EQUARS.	136
Figura 9.1- Diagrama IDEF0 de nível superior com o contexto geral do método de seleção de requisitos críticos e as restrições pétreas para satélites de pequeno e médio porte.	138
Figura 9.2 - Passos para o ajuste (<i>tailoring</i>) dos requisitos e restrições.	139
Figura 9.3 - Diagrama IDEF0 de nível superior referente ao Passo 4 do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas para satélites de pequeno e médio porte.	139

Figura 9.4 - Tranches que constituem o método para a classificação e seleção dos requisitos críticos e restrições pétreas.....	140
Figura 9.5 - Diagrama IDEF0 que representa o processo de construção da FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM).....	147
Figura 9.6 - Código de cores para a Severidade da falha.	148
Figura 9.7 - Código para a Probabilidade de ocorrência.	148
Figura 9.8 - Matriz de Criticidade ($C = P \times S$) do "modo de falha" ($P =$ Probabilidade de ocorrência $\times S =$ Severidade da falha).....	149
Figura 9.9 - Código de cores para as Classes de Risco de Missão (CRM)....	149
Figura 9.10 - Matriz de Classe de Risco da Missão (CRM) $\times$ Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD).....	150
Figura 9.11 - Criticidade Balanceada ($CB = (P \times S) \times (CRM \times NPD)$) de requisitos e restrições.	151
Figura 9.12 - Código de cores para as classes de requisitos e restrições.	151
Figura 9.13 - Código de cores para os NEs da AA em função da Criticidade Balanceada (CB) dos requisitos e restrições.....	152
Figura 10.1 - Grupo de critérios selecionados e seus pesos.....	158
Figura 10.2 - Critérios técnicos selecionados e seus pesos.....	158
Figura 10.3 - Critérios operacionais selecionados e seus pesos.....	159
Figura 10.4 - Critérios táticos selecionados e suas pontuações associadas..	159
Figura 10.5 - Colaboradores $\times$ tempo de experiência no setor aeroespacial.	160
Figura 10.6 - Colaboradores $\times$ tempo de experiência na área de aplicação da proposta.	161
Figura 10.7 - Instituição de atuação do entrevistado.....	161
Figura 10.8- Um trecho do questionário para a avaliação das propostas feitas no Capítulo 8.....	164
Figura 10.9 - Questionário para a obtenção dos perfis dos entrevistados.	165
Figura 10.10 - Notas brutas e ponderadas dadas aos 12 itens (em linhas) pelos 17 avaliadores (em colunas); e suas médias finais por avaliador.	166
Figura 10.11 - Médias finais por avaliador.	167
Figura 10.12 - Avaliação do Item 1.3 (capacidade de detecção de erro ou desvio) da Tabela 10.2 (critério técnico).	167
Figura 10.13 - Avaliação do Item 2.1 (tempo para execução da atividade proposta) da Tabela 10.3 (critério operacional).	168
Figura 10.14 - Avaliação do Item 3.1 (custo envolvido na implantação da atividade) da Tabela 10.4 (critério tático).	168
Figura 11.1 - Principais características da missão EQUARS.	173
Figura 11.2–Níveis de envolvimento e atividades da AA versus os tipos de requisitos, restrições e critérios para a missão EQUARS.	182

Figura A. 1 - Formato do formulário disponibilizado para a pesquisa.....	204
Figura A. 2 - Questões do formulário – parte 1.	205
Figura A. 3 - Questões do formulário - parte 2.	206
Figura A. 4 - Questões do formulário - parte 3.	207
Figura A. 5 - Questões do formulário - parte 4.	208
Figura A. 6 - Questões do formulário - parte 5.	209

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Classificação dos satélites.	19
Tabela 2.2 - Características típicas de pequenos satélites.	19
Tabela 2.3 - CBERS -1&2 e o custo parcial de cada subsistema.....	31
Tabela 3.1 -Algumas lacunas relevantes na literatura e seus tratamentos pela atual Tese.....	39
Tabela 4.1 - Principais documentos referentes à GM no âmbito da missão EQUARS.	50
Tabela 4.2 - Serviços realizados pelo SEQ/ INPE.....	56
Tabela 4.3 - Exemplo de documentos importantes a serem seguidos pela garantia do produto do INPE.....	58
Tabela 4.4- Documentos importantes da garantia de missão no âmbito da AEB.	61
Tabela 5.1 - Guias de classificação de riscos existentes , cf. a Aerospace Corporation, DoD, NASA.....	69
Tabela 5.2 - Classificação de risco de missão no âmbito da NASA baseada nas cargas úteis (<i>payloads</i>).	75
Tabela 5.3 - Alguns dos principais documentos relacionados à garantia de missão no âmbito da NASA.....	77
Tabela 5.4 - Classificação da ESA para as missões espaciais.	84
Tabela 5.5 - Alguns documentos apresentados pela ECSS para a garantia do produto.	88
Tabela 7.1 - Comparação entre as classificações internacionais (americana e europeia) de risco de missão.	103
Tabela 7.2– Informações que deram base para a comparação entre as classificações internacionais (americana e europeia) de risco de missão.	104
Tabela 7.3 - Principais pontos para comparação entre as Garantias de Missão Clássica Nacional e Internacional.	105
Tabela 7.4 - Principais pontos da GM moderna e suas ferramentas.....	110
Tabela 8.1 - Proposta de Classificação de Risco de Missão (CRM) para satélites de pequeno e médio porte.	124
Tabela 8.2 - Aplicação da CRM proposta na Tabela 8.1 à missão EQUARS.	134
Tabela 9.1- Critérios para avaliar a experiência do desenvolvedor na área espacial.	143
Tabela 9.2 - Critérios para avaliar o sistema da qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial.....	143
Tabela 9.3 - Critérios para avaliar o histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial.	144

Tabela 9.4 - Critérios para avaliar a solução de engenharia adotadas pelo desenvolvedor na missão espacial.....	144
Tabela 9.5–Critérios de decisão e suas normas associadas em função do Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD) e da Classe de Risco da Missão (CRM).	145
Tabela 10.1- Escala de avaliação dos critérios e afirmações afins.	155
Tabela 10.2 - Descrição dos critérios técnicos e afirmações afins.	162
Tabela 10.3 - Descrição dos critérios operacionais e afirmações afins.....	162
Tabela 10.4 - Descrição dos critérios táticos e afirmações afins.....	163
Tabela 11.1 - Critérios para avaliar a experiência do desenvolvedor na área espacial.	176
Fonte: Autora.....	176
Tabela 11.2 - Critérios para avaliar o sistema da qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial.....	176
Tabela 11.3 - Critérios para avaliar o histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial.....	177
Tabela 11.4 - Critérios para avaliar a solução de engenharia adotadas pelo desenvolvedor na missão espacial.....	177
Tabela 11.5 - Critérios de decisão e suas normas associadas em função do Nível de Prontidão do Desenvolvedor INPE e da Classe de Risco da Missão EQUARS.	178
Tabela 11.6 - Análise de impacto dos requisitos de Garantida de Missão de primeiro nível (sem derivação) e sua classificação.	179
Tabela 11.7 - Análise de impacto dos requisitos de Garantida de Missão de segundo nível (primeira derivação) e sua classificação.	180
Tabela 11.8- Análise de impacto de restrições referentes à Garantida de Missão.....	181
Tabela 11.9–Exemplo de requisitos da Garantia de Missão da missão EQUARS e os Níveis de Envolvimento da AA.	183
Tabela A.1–Tabela com todas as questões e respostas obtidas na pesquisa.	210
Tabela B.1–Avaliação do texto e conteúdo dos Capítulos 9 e 11, sob a ótica dos especialistas da área aeroespacial, dos processos referentes aos subsistemas e sistemas de satélites de pequeno e médio porte do INPE.	213
Tabela B.2–Avaliação dos Capítulos – Colaborador 1	214
Tabela B.3 – Avaliação dos Capítulos – Colaborador 2	215
Tabela B.4 – Avaliação dos Capítulos – Colaborador 3	216
Tabela B.5 – Avaliação dos Capítulos – Colaborador 4	217
Tabela B.6– Questionário para avaliação de pontuação feita no Capítulo 11.	219
Tabela B.7 – Avaliação de pontuação - Colaborador 1	220
Tabela B.8 – Avaliação de pontuação - Colaborador 2.	221

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA	Autoridade de Aprovação
AC	Autoridade Certificadora
AEB	Agência Espacial Brasileira
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CRM	Classificação/Classe de Risco da Missão
Cf.	Conforme
COP	Certificado de Organização de Produção
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DOA	<i>Design Organization Approval</i> - Credenciamento de Organizações de Projeto- Pessoa Jurídica Credenciada
DoD	<i>US Department of Defense</i>
DoS	<i>US Department of State</i>
EASA	<i>European Union Aviation Safety Agency</i>
ECRs	<i>Engineering Change Requests</i> - Solicitações de Mudanças de Engenharia
ECSS	<i>European Cooperation for Space Standardization</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
ETE	Engenharia e Tecnologia Espaciais
FAB	Força Aérea Brasileira
FMEA	Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos
FMECA	Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade
FMEP	FMECA Estendida a Projetos
FMGM	FMECA Estendida à Garantia de Missão
GAs	Grupos de Ações
GM	Garantia de Missão
GMMV	Garantia de Missão Mínima Viável
GP	Garantia do Produto
IDEF	<i>Integration Definition for Function Modeling</i>
IFI	Instituto de Fomento e Coordenação Industrial
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITAR	<i>US DoS International Traffic in Arms Regulations</i>

LoL	<i>Level of Involvement</i>
MBSE	<i>Model-Based Systems Engineering</i>
MBMA	<i>Model-Based Mission Assurance</i>
MIL-HDBK	<i>Military Handbook</i>
MIL-STD	<i>Military Standard</i>
MoCs	<i>Means of Compliance</i>
MOC	Manual de Organização Credenciada
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>
MVMA	<i>Minimum Viable Mission Assurance</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NC	Não Conformidade
NE	Nível de Envolvimento
NCRs	<i>Nonconformance Reports</i> - Relatórios de Não Conformidade
NP	Nível do Perfil da Missão (Maturidade da Missão)
NPD	Nível de Prontidão do Desenvolvedor
NSS	<i>National Space Security</i>
OC	Organização Certificadora
OP	Organização de Projeto
PMI	<i>Project Management Institute</i>
SDOA	Space DOA
SEQ	Serviço de Engenharia da Qualidade
SGP	Sistema de Garantia de Projetos
SID	Serviço de Informação e Documentação
SPG	Serviço de Pós-Graduação
TDI	Teses e Dissertações Internas

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo.....	1
1.2 Contexto e motivação	1
1.3 Escopo.....	3
1.4 Lacunas	3
1.5 OGU (originalidade, generalidade e utilidade) e organização.....	3
2 CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 Projeto	5
2.2 Gerenciamento de projetos.....	6
2.3 Programa.....	6
2.4 Engenharia de sistemas	8
2.5 Garantia de missão.....	9
2.6 Garantia do produto	13
2.7 Ciclo de vida	14
2.8 Classificação de risco de missão.....	16
2.9 Qualificação	18
2.10 Rastreabilidade	18
2.11 Pequenos e médios satélites	18
2.12 Engenharia de requisitos.....	20
2.12.1 Verificação e validação de requisitos	23
2.13 Certificação	24
2.13.1 Organização certificadora	24
2.14 Regulamentação e padrões	25
2.14.1 Padrão ECSS-Q-ST-10C	26
2.15 Regulamentação	27
2.16 Produto Mínimo Viável (<i>Minimum Viable Product</i> - MVP)	27
2.17 Processos	28
2.18 Diagrama IDEF0 – Ferramenta integrada para modelagem de funções	29

2.19	O Custo da não qualidade.....	30
2.20	FMEA/ FMECA.....	31
3	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E ABORDAGENS PARA A SUA SOLUÇÃO	33
3.1	Formulação do problema.....	33
3.2	Objetivo do trabalho.....	34
3.3	Abordagens para sua solução	34
3.4	Método da pesquisa	35
3.5	Detalhamento da originalidade e do ineditismo da solução proposta	36
4	GARANTIA DE MISSÃO CLÁSSICA NO CENÁRIO NACIONAL	44
4.1	Garantia de missão no âmbito do INPE.....	45
4.1.1	Garantia de missão no âmbito da missão EQUARS	45
	Segundo INPE (2020a):	45
4.1.1.1	Escopo da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS.....	47
4.1.1.2	Organização da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS	48
4.1.1.3	Fases da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS.....	49
4.1.1.4	Disciplinas da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS..	49
4.1.1.5	Processos da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS ..	49
4.1.1.6	Documentos da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS	49
4.1.2	Garantia do Produto aplicada aos grandes programas espaciais do INPE	51
4.1.2.1	Escopo da garantia do produto no âmbito do INPE	51
4.1.2.2	Organização da garantia do produto no âmbito do INPE.....	53
4.1.2.3	Fases e atividades da garantia do produto no âmbito do INPE	53
4.1.2.4	Disciplinas da garantia do produto no âmbito do INPE	55
4.1.2.5	Processos da garantia do produto no âmbito do INPE	55
4.1.2.6	Documentos principais da garantia do produto no âmbito do INPE .	58
4.1.3	Garantia de Missão no âmbito da AEB	58
4.1.3.1	Procedimento da garantia de missão no âmbito da AEB	59
4.1.3.2	Documentos principais da garantia de missão no âmbito da AEB...	61
5	GARANTIA DE MISSÃO CLÁSSICA NO CENÁRIO INTERNACIONAL .	63

5.1 Classificação de risco de missão para a Segurança Espacial Nacional (NSS) americana.....	63
5.2 Abordagem de balanceamento de riscos para as missões espaciais considerando a NSS	65
5.3 Garantia de Missão no âmbito da Aerospace Corporation	67
5.3.1 Escopo da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation.	67
5.3.2 Organização da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation.....	67
5.3.3 Fases da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation...	67
5.3.4 Disciplinas da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation	67
5.3.5 Processos da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation	68
5.3.6 Documentos principais da garantia no âmbito da Aerospace Corporation.....	68
5.4 Garantia de Missão no âmbito da NASA	70
5.4.1 Escopo da garantia de missão no âmbito da NASA.....	70
5.4.2 Organização da garantia de missão no âmbito da NASA	73
5.4.3 Fases no âmbito de garantia de missão para a NASA.....	73
5.4.4 Classificação de risco de missão no âmbito da NASA	74
5.4.5 Divisões da garantia de missão no âmbito da NASA	76
5.4.6 Processos da garantia de missão no âmbito da NASA	76
5.4.7 Documentos principais da garantia de missão no âmbito da NASA ...	76
5.5 Garantia de missão no âmbito do DoD	78
5.5.1 Avaliações independentes e equipes	78
5.5.2 Pilares para a garantia da missão no âmbito do DoD	79
5.6 Garantia do produto no âmbito da ESA	83
5.6.1 Escopo da garantia do produto no âmbito da ESA	83
5.6.1.1 Classificação das missões da ESA.....	84
5.6.1.2 Organização da garantia do produto no âmbito da ESA	84
5.6.1.3 Fases da garantia do produto no âmbito da ESA	85
5.6.1.4 Disciplinas e normas no âmbito da garantia do produto da ESA	85

5.6.1.5	Processos da garantia do produto no âmbito da ESA	86
5.6.1.6	Documentos principais da garantia do produto no âmbito da ESA ..	86
6	GARANTIA DE MISSÃO MODERNA	90
6.1	As novas filosofias da garantia de missão	90
6.2	Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM moderna....	91
6.3	Lacuna existente para pequenos satélites: missões que não atendem às classes A-D	93
6.4	MBSE para a garantia de missão no âmbito da NASA.....	96
6.5	MVP aplicado à indústria espacial no cenário <i>New Space</i>	99
7	COMPARAÇÕES ENTRE AS GARANTIAS DE MISSÃO CLÁSSICA E MODERNA.....	101
7.1	Comparação entre as garantias de missão clássicas nacional e internacional	101
7.1.1	Classificação de risco da missão	102
7.2	Comparações entre as garantias de missão clássica e moderna.....	109
8	UMA NOVA PROPOSTA de GARANTIA DE MISSÃO MÍNIMA VIÁVEL (GMMV) PARA SATÉLITES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE.....	112
8.1	Proposta para uma nova abordagem para a garantia de missão mínima viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte.....	112
8.1.1	A figura da autoridade de aprovação na garantia de missão mínima viável	115
8.1.2	Garantia de missão baseada em requisitos e restrições.....	116
8.1.2.1	Requisitos e restrições gerais, e específicas para satélites de pequeno e médio porte	117
8.1.2.2	Requisitos e restrições programáticas	118
8.1.2.3	Alternativa para solucionar a restrição de recursos humanos - <i>Design Organisation Approval</i>	119
8.1.3	Grupos de Ações (GAs) para compor e aplicar a Garantia de Missão baseada em requisitos e restrições.....	121
8.2	Detalhamento de uma nova abordagem para a Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte	122
8.2.1	Passo 1 - Identificação das características do projeto	122

8.2.2	Passo 2 - Análise das características do projeto e identificação dos riscos	123
8.2.2.1	Detalhamento das classes de risco da missão	124
8.2.2.2	Definição da Autoridade de Aprovação e seu nível de envolvimento	126
8.2.3	Passo 3- Pré-seleção de normas ECSS ou demais que sejam aplicáveis.....	127
8.2.4	Passo 4- Seleção de requisitos e restrições cf. as normas aplicáveis	127
8.2.4.1	Análises de acoplamentos e impactos de requisitos versus restrições	130
8.2.5	Passo 5- Finalização dos requisitos e restrições	131
8.2.6	Passo 6 - Harmonização dos requisitos e restrições	132
8.2.7	Passo 7 - Documentação da aplicabilidade dos requisitos e restrições..	132
8.3	Aplicação de CRM e NE da AA à missão EQUARS	132
8.3.1	Classificação de Risco da Missão EQUARS.....	133
8.3.2	Nível de Envolvimento da AA na missão EQUARS	134
9	MÉTODO DE SELEÇÃO DE REQUISITOS CRÍTICOS e RESTRIÇÕES PÉTREAS PARA GARANTIA DE MISSÃO	137
9.1	Proposta de um método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas	137
9.2	Detalhamento do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas	138
9.2.1	Preparação para a aplicação do método de seleção de requisitos e restrições.....	140
9.2.2	Aplicação do método de seleção de requisitos e restrições	146
9.2.3	Análise dos modos de falha, seus efeitos e sua Criticidade (FMECA) estendida à garantia de missão (FMGM)	147
9.2.4	Passo 5- Finalização dos requisitos e restrições	153
9.2.5	Passo 6 - Harmonização dos requisitos e restrições	154

9.2.6	Passo 7 - Documentação da aplicabilidade dos requisitos e restrições ..	154
10 VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE GARANTIA DE MISSÃO MÍNIMA VIÁVEL 155		
10.1	O Método de validação e sua aplicação.....	155
10.2	Aplicação do método às propostas do Capítulo 9	157
10.3	Resultados da aplicação do método	165
10.4	Discussões dos resultados da aplicação do método.....	169
11 ESTUDO DE CASO..... 171		
11.1	Preparação e aplicação do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas à Missão EQUARS	171
11.1.1	Preparação para a aplicação do método à missão EQUARS	172
11.1.2	Aplicação do método à missão EQUARS	178
11.1.3	Discussões e conclusões sobre o estudo de caso.....	185
12 CONCLUSÃO..... 187		
12.1	Recomendações e sugestões para trabalhos futuros	190
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 192		
GLOSSÁRIO..... 201		
APÊNDICE A – MEIOS USADOS PARA VALIDAR A PROPOSTA DE GMMV. 204		
APÊNDICE B – VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE MÉTODO DE SELEÇÃO DE REQUISITOS CRÍTICOS E RESTRIÇÕES PÉTREAS, DO ESTUDO DE CASO E DE SUA PONTUAÇÃO 211		

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

O objetivo desta Tese é apresentar uma nova abordagem para Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições péticas e critérios de decisão balanceados.

1.2 Contexto e motivação

Os **contextos** desta proposta são:

1) Atualmente, a indústria espacial, bem como outras grandes indústrias, experimenta um rápido avanço nas tecnologias envolvidas e um aumento da complexidade em seus equipamentos e subsistemas. Consequentemente, as atividades de Garantia da Missão tornam-se cada vez mais difíceis de serem implantadas e gerenciadas.

2) Essa indústria, assim como outras, vivencia a preocupação quanto à integração das disciplinas envolvidas desde a concepção da missão até o descarte do produto. Dentre elas, destacam-se: a Engenharia de Sistemas, o Gerenciamento de Projetos e a Garantia da Qualidade.

3) Similarmente, a Garantia de Missão vem adquirindo importância no sucesso das missões, inicialmente na área militar; e, posteriormente, na área civil, uma vez que vivencia a preocupação quanto à integração das disciplinas envolvidas desde a concepção da missão até o encerramento e/ou o descarte do sistema que a suporta. Hoje, ela é bem estruturada e vivenciada por agências como NASA, ESA, etc. Assim como a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), a ESA (*European Space Agency*) também apresenta tal preocupação; porém a distribui em diferentes disciplinas, pois possui uma estrutura díspar da NASA.

Para Jasper (2014), a Garantia de Missão é um campo maduro para iniciativas espaciais. A comunidade espacial que projeta e constrói satélites investiu pesadamente em compreender o que constitui garantir o sucesso da missão

em órbita. Isso foi o que permitiu performances incomparáveis no espaço. Os padrões utilizados para produtos espaciais visando sua rastreabilidade, testes ambientais, outras práticas e processos foram pesquisados e incorporados na base da indústria espacial (por exemplo: a classificação de riscos das missões A-D, da NASA). Em vários casos, isso resultou em sistemas que ficam disponíveis além de sua vida útil de projeto.

4) Uma disciplina suporte à Garantia de Missão que, de acordo com as publicações recentes como: Yuet *al.* (2018), Palet *al.* (2010) e Evans *et al.* (2016), vem se destacando quanto à essa preocupação é a Computação, com ênfase em Segurança Cibernética e suas derivações, como a memória dos projetos.

5) Além disso, podem-se citar ainda alguns fatores gerenciados pela Garantia de Missão e vivenciados pela área aeroespacial. São eles: o tempo de desenvolvimento de um determinado projeto ou missão, a exigência na disponibilidade, a segurança envolvida, o alto custo associado tanto ao produto quanto às instalações de teste e ao armazenamento. Todos esses fatores contribuem para aumentar a preocupação de se garantir e estruturar o projeto/ a missão/ as informações de forma robusta, isso durante todo o ciclo de vida do produto. Assim, de acordo com Jasper (2014):

o desafio emergente dos últimos 10 anos tem sido a tensão entre obter mais da tecnologia, a custos reduzidos, agravada pela expectativa de cronogramas apertados. Este é um fenômeno bem compreendido manifestado em lançamentos de produtos cíclicos, como os cronogramas de lançamento de *smartphones*. No espaço, esses efeitos são retardados por causa de fatores como desafios técnicos (exemplo: radiação), desafios programáticos (exemplo: o custo de lançamento) ou desafios culturais (ou seja, os sistemas espaciais têm como escopo grandes plataformas).

As motivações desta Tese são:

1. É importante fazer um balanço do que realmente precisa ser aplicado a cada missão para não inviabilizá-la por prazos, custos, ou qualidades, com exigências desnecessárias;

2. Isso é especialmente verdadeiro e útil para satélites de pequeno e médio porte ou complexidade e/ou integração semelhantes, por terem limitações mais severas e se forem usados para testar novas tecnologias; e

3. Isso é especialmente verdadeiro e útil sobretudo em países como o Brasil, com programas espaciais emergentes, como os participados pelo INPE.

1.3 Escopo

O escopo deste trabalho se limita a focar em uma abordagem de Garantia de Missão em um cenário de pequenos e médios satélites ou de complexidade semelhante.

1.4 Lacunas

Contudo, as referências disponíveis prescrevem muitos requisitos, objetivos e metas gerais (o que fazer), mas omitem muitos processos, atividades e meios específicos (o como fazer) para realizá-los; isto é, existem (inúmeras) lacunas quanto à forma de implementar e executar, ou acompanhar e controlar os processos.

1.5 OGU (originalidade, generalidade e utilidade) e organização

A **originalidade**/ineditismo vem da proposta de uma nova abordagem **objetivando adequar e até otimizar recursos** com a Garantia de Missão Mínima Viável (*Minimum Viable Mission Assurance*), visando o cumprimento dos requisitos estabelecidos pela missão que a suporta, dado o envolvimento necessário dos seus atores.

A **generalidade**/validade virá de focar satélites de pequeno e médio porte; mas poderá ser estendida a produtos afins igualmente complexos.

A **utilidade**/viabilidade virá de considerar a experiência e o foco do INPE em satélites de pequeno e médio porte.

A organização desta Tese apresenta: os Conceitos Básicos e a Revisão da Literatura (Capítulo 2), a Formulação do Problema e as Abordagens para sua Solução (Capítulo 3), a Garantia da Missão Clássica Nacional (Capítulo 4), a Garantia da Missão Clássica Internacional (Capítulo 5), a Garantia da Missão

Moderna (Capítulo 6), uma Comparação entre as Garantias de Missão Clássica e Moderna (Capítulo 7), a Garantia de Missão Mínima Viável (Capítulo 8), um Método para Selecionar Requisitos Críticos e Restrições Pétreas (Capítulo 9), a Validação do Método (Capítulo 10), um Estudo de Caso (Capítulo 11), a Conclusão (Capítulo 12), as Referências Bibliográficas, e os Apêndices.

Contribuições:

Este trabalho apresenta as seguintes contribuições:

- contribuição acadêmica – pelo 1) balanceamento por critérios de uma Garantia de Missão (com base em conhecimentos e referências) entre a GM Clássica (“baseada em requisitos”) e a GM Moderna (“baseada em restrições”), além de 2) apresentar alternativas de implementação e integração das disciplinas que suportam a Garantia de Missão;
- contribuição na aplicação: pela 3) adequação e até otimização de uma Garantia de Missão Mínima Viável para satélites de pequeno e médio porte, enfatizando 4) escopo, maturidade tecnológica, modelos de engenharia, Autoridade de Aprovação e maturidade da organização;
- contribuição na aplicação específica – pelo 5) desenvolvimento de um método para selecionar requisitos críticos e restrições pétreas, juntamente com a 6) aplicação da filosofia de Autoridade de Aprovação baseada na indústria aeronáutica.

No capítulo seguinte serão abordados os conceitos básicos e a revisão da literatura necessários para o presente trabalho.

2 CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta conceitos básicos e a revisão da literatura para a proposta feita a partir do Capítulo 3.

2.1 Projeto

Para este trabalho a definição de projeto (*project*) adotada é a estabelecida pelo *Project Management Institute* (PMI), uma associação reconhecida mundialmente na área de gerenciamento de projetos. De acordo com o PMI (2017), sendo projeto (*project*) um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado. Além disso, cf. Keeling e Branco (2019) entende-se que isso envolve um prazo limitado com datas previstas para a conclusão.

Os projetos variam em forma e tamanho, podendo durar desde poucos dias ou até alguns anos, dependendo de sua natureza. Nos últimos, observa-se que os valores financeiros são mais altos e os controles envolvidos durante sua execução são mais exigentes.

Para Keeling e Branco (2019), os projetos apresentam características semelhantes, sendo essas as seguintes:

- empreendimentos independentes;
- propósitos e objetivos bem específicos;
- duração limitada;
- resultado único;
- recursos próprios; e
- administração e estrutura administrativa específica.

Segundo Keeling e Branco (2019), um projeto bem gerenciado passa pelas etapas de planejamento, execução e encerramento. Ao ser finalizado suas metas são alcançadas, ou o projeto deixa de ser viável ou ainda as necessidades que o motivam deixam de existir.

Keeling e Branco (2019) dizem que, diferentemente de um projeto, as atividades/ operações de rotina são atividades contínuas, já consolidadas, tendo como objetivo principal manter a organização em funcionamento, em um trabalho contínuo, sem data de encerramento, os processos produzem os mesmos resultados e possuem grande previsibilidade com relação os resultados.

Além dessa definição, durante esta Tese nos deparamos com a seguinte definição importante sobre projeto (*design*) que será utilizada em alguns capítulos: *projeto* é um conjunto de documentos que define as características de um produto, juntamente com as informações apropriadas para sua fabricação e operação, cf. adaptado de COMAER (2007). Quando da utilização desta segunda definição o termo será acompanhado da palavra *design* para a identificação.

2.2 Gerenciamento de projetos

Utilizando novamente PMI (2017), o gerenciamento de projetos consiste na aplicação dos conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos. Assim, será a aplicação do arcabouço teórico e prático existente para conceber e realizar o planejamento das atividades do projeto, tendo atenção para a verificação e controle da execução e ainda nas entregas.

Cf. Keeling e Branco (2019), o gerente de projetos é responsável por utilizar essas ferramentas e técnicas, utilizando seu conhecimento, suas habilidades, atitudes, ações e valores visando uma boa condução do projeto.

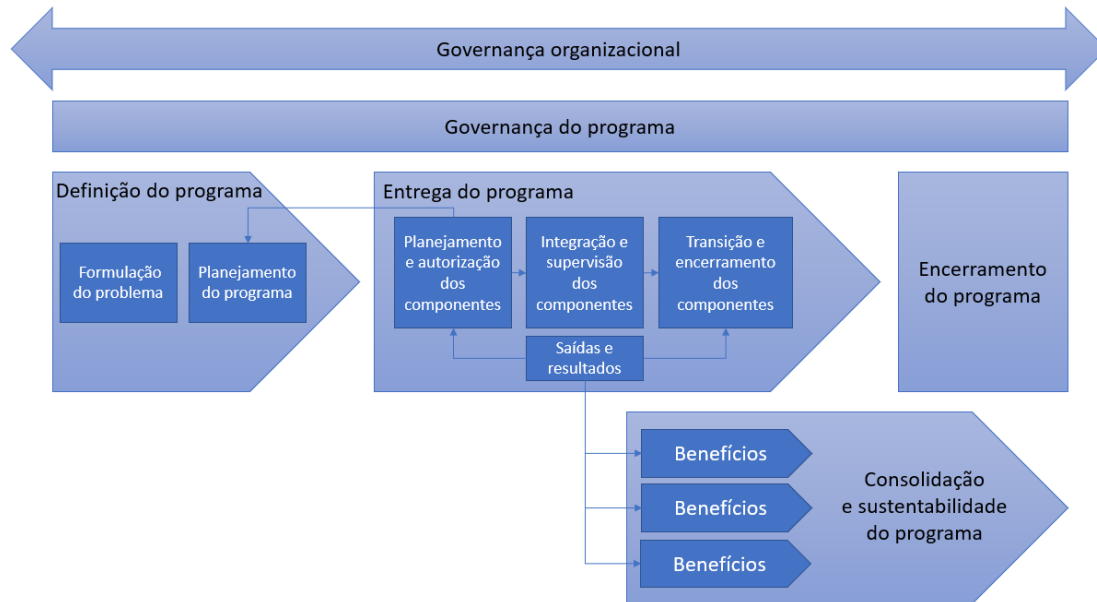
2.3 Programa

Para Keeling e Branco (2019), o programa consiste em um conjunto de subprogramas, projetos e operações (componentes do programa) que estejam relacionados entre si e gerenciados de forma coordenada, visando gerar benefícios diferenciados dos que seriam obtidos com a condução de forma separada. Apresentam também elementos de controle de forma integrada.

O programa em si, tem início na identificação das necessidades e finaliza com a sustentabilidade dos benefícios obtidos.

A Figura 2.1 apresenta o ciclo de vida de um programa.

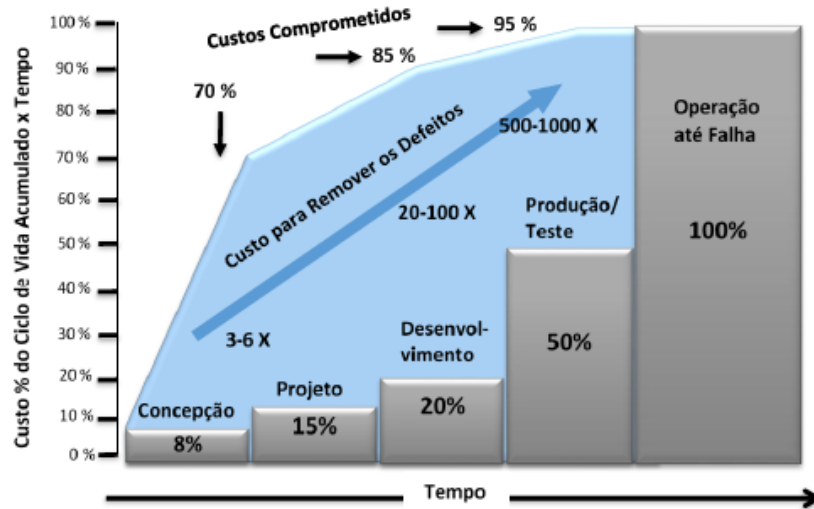
Figura 2.1 - Ciclo de vida de um programa.



Fonte: Keeling e Branco (2019).

Segundo Rabello (2016), e conforme apresentado na Figura 2.2, após uma análise estatística baseada em projetos/ programas do *U.S. Department of Defense* (DoD), pode ser observado que (INCOSE, 2011): 1) o custo para remover os defeitos (flecha em azul) aumenta exponencialmente com o avanço das fases do projeto/ programa; 2) o custo comprometido (região em azul) no projeto/ programa aumenta muito no início e pouco no final com o decorrer das fases; 3) entretanto, na concepção, o custo despendido (região em cinza) é muito pequeno; 4) cabe então, uma maior atenção nas fases iniciais, visando otimizar recursos, sendo assim pertinente uma maior dedicação na elicitação do requisitos.

Figura 2.2 - Custos de um projeto durante o ciclo de vida.



Fonte: Rabello (2016).

De acordo com as informações acima, entende-se que é fundamental o investimento nas fases iniciais dos projetos/ programas, podendo assim evitar gastos com falhas durante o desenvolvimento.

O entendimento das fases, ferramentas e atividades a serem desempenhadas contribuem para uma concepção e um planejamento de qualidade.

2.4 Engenharia de sistemas

Adaptada de ECSS (2009a), a Engenharia de Sistemas é definida como uma abordagem interdisciplinar que rege o esforço técnico total para transformar requisitos em uma solução de sistema.

A Engenharia de Sistemas possui interfaces com as disciplinas referentes à produção, operação, garantia do produto, e gestão, baseado na ECSS (2009a).

Completando o entendimento, a "Engenharia de Sistemas considera tanto o negócio quanto as necessidades técnicas de todos os clientes com o objetivo de prover um produto de qualidade que atenda às necessidades dos usuários", INCOSE (2011).

A partir das análises de Engenharia de Sistemas, os requisitos e os atributos são capturados e os interessados envolvidos no ciclo de vida são identificados.

Desta forma, desde a fase de definição dos sistemas já é possível ter conhecimentos dos impactos, rastreabilidade e hierarquia, diminuindo o risco de mudanças em um estágio avançado do projeto e reduzindo impactos em custo e tempo.

2.5 Garantia de missão

Seguindo Fowler (2010), neste trabalho usa-se o termo Garantia de Missão como sendo um processo de engenharia de ciclo de vida completo para identificar e mitigar as deficiências de projeto, produção, teste e suporte (infraestrutura) de solo que impactam o sucesso da missão.

Para Fowler(2010), garantir da missão é o objetivo do gerenciamento de projetos e da engenharia de sistemas. Existem várias maneiras de abordar a garantia da missão.

Já a Aerospace Corporation apresenta uma boa descrição de como a empresa se esforça para garantir a missão, baseado em Aerospace Corporation (2007b). O Guia de Garantia de Missão da Aerospace Corporation, Aerospace Corporation (2007a), apresenta seis processos principais da garantia de missão, sendo eles:

1. análise e validação de requisitos, sendo essa uma revisão dos requisitos declarados formalmente pelo usuário e verificação da sua consistência com as necessidades e expectativas declaradas formal ou informalmente;
2. garantia do projeto, que é um conjunto de atividades de planejamento, análise e inspeção para avaliar se os projetos em evolução podem produzir um sistema que funcionará conforme as condições operacionais gerais pretendidas ao longo de sua vida útil;
3. garantia de fabricação, garantindo que os processos de fabricação planejados são repetíveis, confiáveis e vão produzir o sistema conforme projetado;
4. integração, teste e avaliação, verifica se os componentes montados atendem aos requisitos individuais e como parte do sistema integrado;

5. prontidão operacional, abrange todas as atividades necessárias para transportar, receber, aceitar, armazenar, manusear, implantar, configurar, testar em campo e operar veículos de lançamento/espaciais e sistemas terrestres de apoio; e
6. revisões e auditorias de garantia da missão, que são formas de análise técnica independentes que facilitam a compreensão das interfaces e do desempenho composto de um sistema. Os três tipos são: revisões técnicas, auditorias, e revisões de prontidão.

Sete disciplinas de garantia de missão apoiam os seis processos principais de garantia de missão identificados acima no Guia de Garantia de Missão da Aerospace Corporation, Aerospace Corporation (2007a). Essas disciplinas de apoio fornecem uma base técnica para a aplicação de garantia de missão e incluem metodologias de engenharia voltadas para a validação do projeto do sistema e verificação do produto. Estas sete disciplinas de garantia de missão são as seguintes, de acordo com Aerospace Corporation (2007a):

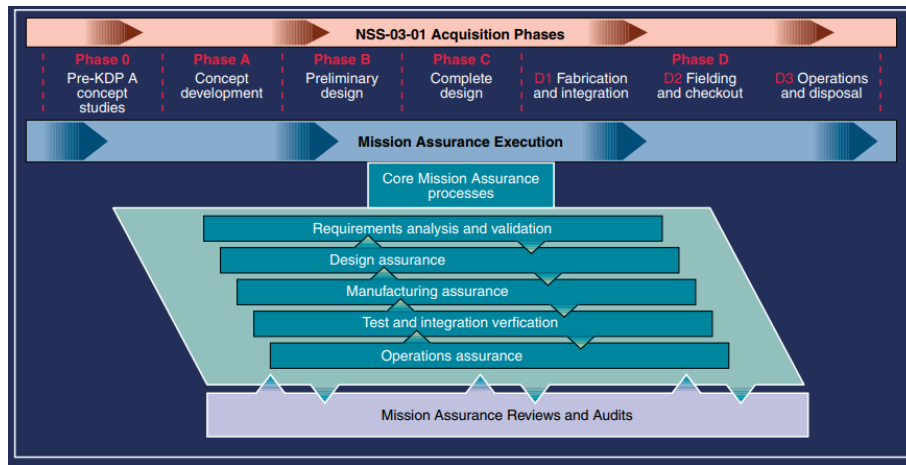
1. a Gestão de Riscos é uma abordagem estruturada para identificar e avaliar riscos e medidas de controle de riscos, ainda comunicar ameaças à missão para as partes interessadas;
2. a Engenharia de Confiabilidade inclui o desenvolvimento e validação de requisitos voltados à confiabilidade do sistema, trabalhando com probabilidade e estudos de compensação (solução de compromisso) de projeto, atuando fortemente nas fases iniciais do programa. Durante o desenvolvimento e produção do projeto, auxilia na determinação dos componentes, taxas de falha e desenvolvimento de modelos de confiabilidade probabilística, análise de modos e efeitos de falha, identificação e controle de itens críticos, aplicação de análises de pior caso, tensão de peças e análise de dados de teste de vida acelerada;
3. o Gerenciamento de Configuração busca controlar as linhas de base técnicas de hardware e software de um programa - os requisitos, especificações, projetos, interfaces, dados e documentação de suporte. Com o objetivo de resolver os aspectos funcionais e toda infraestrutura que suporta as atividades de controle para garantir que a linha de base

de desenvolvimento, teste e produto sejam consistentes, precisos, repetíveis e todas as alterações nessas linhas de base para que sejam registradas e mantenham a mesma precisão, consistência e repetibilidade.

4. a Engenharia de Peças, Materiais e Processos (PMP) busca fornecer um conjunto padronizado de componentes qualificados a partir do qual seja possível construir um produto confiável, a um custo e risco aceitáveis.
5. o programa de Garantia de Qualidade implementado inspira a confiança de que todos os requisitos de qualidade foram atendidos por meio do controle de operações, processos, procedimentos, testes e inspeção.
6. a Garantia de Segurança do sistema aplica princípios e técnicas de engenharia e gerenciamento para controlar os riscos do sistema dentro das restrições de eficácia operacional, cronograma e custo;
7. a Garantia de Software visa garantir que o software do sistema atenderá aos requisitos de desempenho, às expectativas do usuário, além de ser confiável, sustentável e aplicável ao ambiente operacional do usuário.

A Figura 2.3 mostra a distribuição do cronograma dos processos de garantia da missão central com relação às fases de aquisição do programa identificadas pela Aerospace Corporation. A maior parte das tarefas associadas a cada processo principal concentra-se normalmente em uma ou duas fases de aquisição específicas, embora todo o processo possa abranger várias fases do ciclo de vida de aquisição.

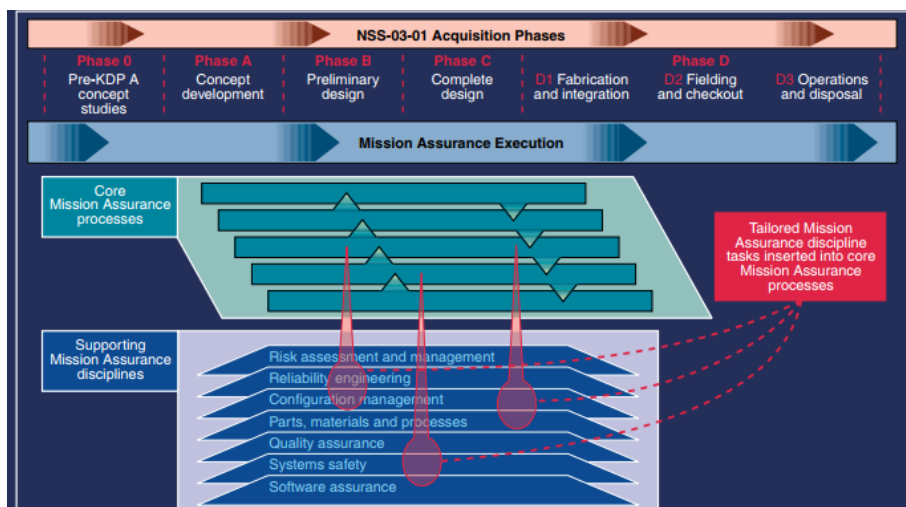
Figura 2.3 - Distribuição do cronograma dos processos de GM da Aerospace Corporation.



Fonte: Aerospace Corporation (2007b).

A Figura 2.4 mostra a inserção de conjuntos de tarefas das disciplinas de suporte no decorrer do fluxo de execução do processo principal. Cada disciplina individual envolve um conjunto abrangente de tarefas de execução que normalmente abrangem todo o ciclo de vida de um programa espacial. Um determinado programa, entretanto, geralmente selecionará um subconjunto reduzido dessas tarefas.

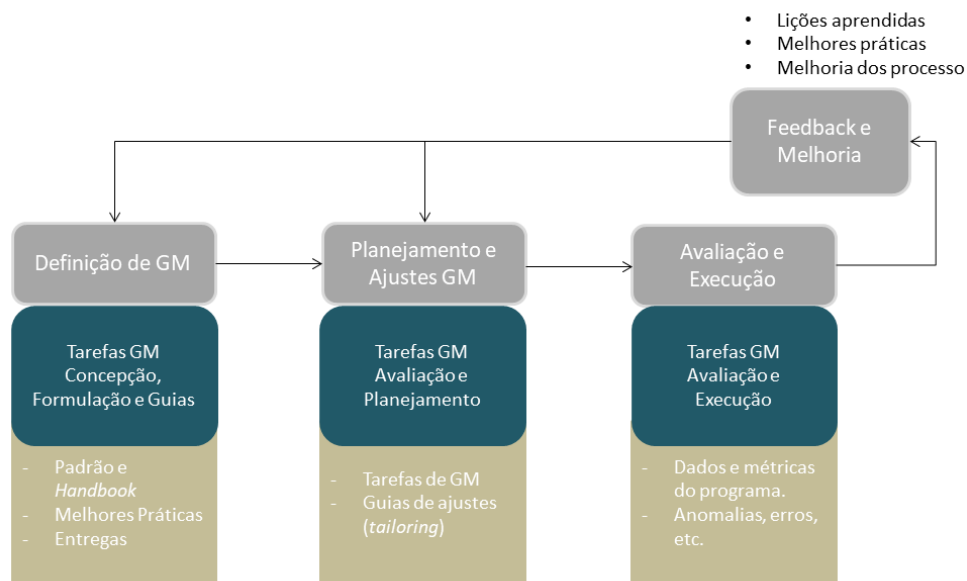
Figura 2.4 - Distribuição do cronograma dos processos de GM da Aerospace Corporation com as disciplinas de suporte.



Fonte: Aerospace Corporation (2007b).

A Figura 2.5 apresenta o modelo de Garantia de Missão Espacial adotada pela *Aerospace Corporation*, Aerospace Corporation (2007a). Nesse modelo, pode-se observar que a Garantia de Missão passa pelas fases de definição; planejamento e ajuste; e execução. Também existe uma preocupação com a utilização das lições aprendidas, padrões, guias e melhores práticas.

Figura 2.5 - Modelo de garantia de missão espacial.



Fonte: Adaptado de Aerospace Corporation (2007a).

2.6 Garantia do produto

Neste trabalho, o termo “Garantia de Produto – GP”, remete ao Grupo de Garantia do Produto pertencente ao Serviço de Engenharia da Qualidade do INPE. Já, o termo “garantia do produto” ou “Garantia do Produto”, remete à disciplina garantia do produto. Cf. ECSS (2012) essa é definida, como uma disciplina dedicada ao estudo, planejamento e implementação de atividades destinadas a garantir as especificações, controles, métodos e técnicas de um projeto que resultam em um grau satisfatório de qualidade no produto.

Ainda adaptando a ECSS (2008), o objetivo principal da garantia do produto é garantir que os produtos espaciais cumpram com seus objetivos de missão, definidos de forma segura, disponível e confiável.

O documento ainda menciona que o compromisso com a qualidade de toda a organização é fundamental para a qualidade do produto e o sucesso da missão espacial. A gestão da garantia do produto está totalmente integrada à gestão do projeto e deve receber a mais alta prioridade da gestão da organização.

E que, somando-se a isso, são tidos como os princípios básicos dos requisitos de garantia do produto: a identificação precoce de aspectos potencialmente prejudiciais para a segurança; o sucesso da missão; e a prevenção eficaz de custos, de qualquer natureza, com relação a qualquer consequência adversa.

Segundo a ECSS (2008), o gerenciamento da garantia do produto garante a integração das disciplinas da garantia de produto e suas atividades, sendo essas disciplinas:

- Q-20: Garantia de qualidade;
- Q-30: Confiabilidade;
- Q-40: Segurança;
- Q-60: Componentes elétricos, eletrônicos, eletromecânicos (EEE);
- Q-70: Materiais, peças mecânicas e processos; e
- Q-80: Garantia de produto de software.

2.7 Ciclo de vida

Para o PMI (2013), o ciclo de vida do projeto consiste de uma série de fases pelas quais um projeto passa, do início ao término, são as etapas nas quais a execução do projeto é dividida. As fases são geralmente sequenciais e organizadas de acordo com as necessidades de gerenciamento e controle da(s) organização(ões) envolvida(s) no projeto, a natureza do projeto em si e sua área de aplicação.

De acordo com Keeling e Branco (2019), um projeto pode ser composto por uma ou mais fases, sendo elas sequenciais, iterativas ou sobrepostas. As fases possuem atividades correlacionadas e que resultam em entregas específicas. Então seu escopo precisa ser bem definido, assim como seus prazos e controles. Existem eventos de passagem de fase que servem para: analisar o

desenvolvimento, capturar e compartilhar lições aprendidas, avaliar os riscos e se decidir se irá passar de fase ou encerrar o projeto.

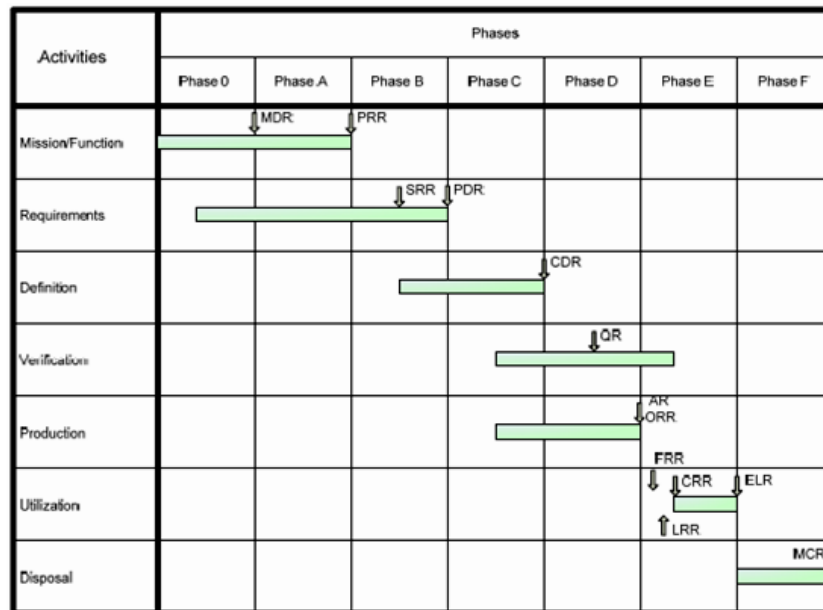
O modelo do ciclo de vida de projetos espaciais adotado pela Agência Espacial Europeia (ESA) é dividido em 7 fases, como apresentado a seguir, de acordo com ECSS (2009a):

- Fase 0 - Análise da missão / Identificação das necessidades;
- Fase A – Viabilidade;
- Fase B – Definições preliminares;
- Fase C – Definições detalhadas;
- Fase D – Qualificação e Produção;
- Fase E – Operação; e
- Fase F – Descarte.

A Figura 2.6 relaciona as fases com as atividades dos projetos, apontando os marcos de avaliação, conforme descrito abaixo:

- MDR – Revisão de Definição de Missão;
- PRR – Revisão Preliminar de Requisitos;
- SRR – Revisão de Requisitos de Sistema;
- PDR – Revisão Preliminar do Projeto (ou Revisão de Projeto Preliminar);
- CDR – Revisão Crítica do Projeto (ou Revisão de Projeto Detalhado);
- QR – Revisão de Qualificação;
- AR – Revisão de Aceitação;
- FRR – Revisão de Prontidão para Voo;
- LRR – Revisão de Prontidão para Lançamento;
- CRR – Revisão de Comissionamento de Resultados;
- ELR – Revisão de Final de Vida; e
- MCR – Revisão de Encerramento da Missão.

Figura 2.6 - Ciclo de vida típico de projeto.



Fonte: ECSS (2009a).

Os objetivos por fases apresentados pela ECSS, baseados em ECSS (2009a), são:

As fases 0, A e B focam principalmente na: elaboração funcional do sistema e dos requisitos técnicos; identificação dos conceitos do sistema para cumprir com a declaração da missão; identificação das atividades e recursos necessários para o desenvolvimento do projeto; avaliação inicial dos riscos técnicos e programáticos; e início das atividades de pré-desenvolvimento.

As fases C e D incluem todas as atividades de desenvolvimento, qualificação e testes do produto.

A fase E inclui todas as atividades de lançamento, comissionamento, operação e manutenção do produto.

A fase F inclui todas as atividades de descarte.

2.8 Classificação de risco de missão

De acordo com Aerospace Corporation (2011a), quatro classes de risco de missão são definidas. As classes de risco de missão e os parâmetros de

definição fornecem uma abordagem estruturada para definir uma hierarquia de combinações de risco para veículos espaciais, considerando critérios como importância nacional, tipo de carga útil (operacional ou experimental), vida útil da missão, magnitude do aporte financeiro e outros fatores relevantes. A Figura 2.7 fornece um resumo das classes de risco e parâmetros de definição. Os tipos de classe são historicamente definidos em MIL-HDBK-343 (de 1986; mas depois foi cancelado) e em várias publicações da NASA, como NASA (2018a). Tais definições foram posteriormente modificadas com base na experiência de aquisição e apresentadas no documento Aerospace Corporation (2011b), “*Mission Risk Planning and Acquisition Tailoring Guidelines for National Security Space Vehicles*“, TOR-2011(8591)-5, O Apêndice A de tal documento inclui detalhes adicionais sobre as descrições das classes e fornece exemplos dos vários veículos espaciais que se aproximam das classes de risco da missão.

Figura 2.7- Guia de características de veículos espaciais para diferentes classes de risco de missão.

	Class A	Class B	Class C	Class D
Mission Risk Acceptance	Lowest	Low	Moderate	Highest
National Significance	Extremely Critical	Critical	Not Critical	Not Critical
Payloads	Operational	Demonstrates Operational Utility May become Operational	Typically Experimental	Typically Experimental
Acquisition Cost	Highest	High	Medium	Lowest
Development Time	May take 4 or more years	May take 3 or more years	May take 2 or more years	May take 1 or more years
Mission Life	Long, Greater than 5 yrs (typically 8–10+ yrs)	Medium, Up to 5 years	Short, typically less than 2 years	Short, typically less than 1 year
Launch Constraints	Critical	Medium	Few	Few to none

Fonte: Aerospace Corporation (2011).

No Capítulo 4 será abordado esse assunto com maior riqueza de detalhes.

2.9 Qualificação

Adaptando de Hoyle (2001), qualificação neste trabalho é entendida como, a evidência da capacidade de um produto em atender ao desempenho especificado por meio de uma série de testes, análises de documentos e de processos.

2.10 Rastreabilidade

Para Hoyle (2001), "rastreabilidade é a capacidade de rastrear o histórico, a aplicação, o uso de um artigo individual ou suas características por meio de identificação devidamente registrada".

Adaptando DoD (2012) o conceito de rastreabilidade pode ser complementado como, rastreabilidade sendo a capacidade de selecionar uma determinada parte do desenvolvimento ou informações do *design* e poder rastrear as informações relacionadas (exemplos: requisitos de nível de sistema para requisitos de nível de subsistema, requisitos de software para componentes de design de software). A rastreabilidade bidirecional é a capacidade de fazer o rastreamento em ambas as direções em uma estrutura hierárquica.

2.11 Pequenos e médios satélites

O escopo deste trabalho se atém a pequenos e médios satélites, pois há um histórico de atuação no INPE nessa área, além dessa classe estar entre os mais simples e os mais complexos.

Como apresentado por Pessotta (2019), Botelho e Xavier Junior (2019), existem algumas formas de classificar os satélites como, por exemplo: por função, por tipo de órbita, custo, dimensões, massa, entre outros. A proposta feita por ele e que será adotada para este trabalho, está apresentada na Tabela 2.1.

Este trabalho utilizará a classificação de pequenos e médios satélites tendo como massa entre 500 e 1.000 kg (PESSOTTA, 2019; ITU, 2014; ALBUQUERQUE, 2022), Tabela 2.2.

Tabela 2.1 - Classificação dos satélites.

Classificação	Massa (kg)
Satélites Grandes	> 1000
Satélites Médios	500 - 1000
Minisatélites / Satélites Pequenos	100 - 500
Microsatélites	10 - 100
Nanosatélites	1 - 10
Picosatélites	0,1 - 1
Fentosatélites	< 0,1

Fonte: Pessotta (2019).

A *International Telecommunication Union* (ITU) é a agência da ONU especializada em tecnologias de informação e comunicação, para ela são considerados pequenos satélites aqueles com massa de até 500 kg, contemplando diferentes categorias, sendo distribuídos, cf. a Tabela 2.2, em razão de suas características e aplicabilidade, cf. ITU (2014), apud Albuquerque (2021).

Tabela 2.2 - Características típicas de pequenos satélites.

Denomination	Mass (kg)	Max. bus power (W)	Typical cost (USD)	Max. dimensions (m)	Development time (years)	Orbit	Mission duration (years)
Minisatellite	100-500	1 000	30-200 M	3-10	3-10	GEO MEO LEO HEO	5-10
Microsatellite	10-100	150	10-150 M	1-5	2-5	LEO (HEO)	2-6
Nanosatellite	1-10	20	100 k-10 M	0.1-1	1-3		1-3
Picosatellite	0.1- 1	5	50 k-2 M	0.05-0.1			
Femtosatellite	< 0.1	1	< 50 k	0.01-0.1	1		< 1

Fonte: Apud Albuquerque (2021).

Para Albuquerque (2021),

modernamente, com grande influência de avanços na miniaturização de partes eletrônicas e processadores, tem havido uma tendência de

compactação de sistemas espaciais, com o desenvolvimento de plataformas orbitais de massas muito inferiores às aquelas que executavam função semelhante há duas décadas. Conforme levantamento recente, algo em torno de 30% dos satélites lançados entre 1997 e 2017 possuíam massa inferior a 500 kg (WEKERLE; PESSOA; COSTA; TRABASSO, 2017).

No âmbito da NASA, o documento NASA/TP – 2018–220027 – “*State of the Art – Small Spacecraft*”, NASA (2018b)“ fornece uma visão geral do estado da arte da atual tecnologia de espaçonaves consideradas pequenas, com ênfase particular no estado da arte da tecnologia relacionada aos CubeSats.

2.12 Engenharia de requisitos

Baseando-nos em Young (2004), de forma geral, para este trabalho, requisito pode ser entendido como um atributo necessário de um sistema, uma afirmação que identifica uma capacidade, característica ou fator de qualidade de um sistema, para que ele tenha valor de utilidade para um consumidor ou usuário.

Em resumo, para este trabalho requisitos são entendidos como as expressões das necessidades ou expectativas formalmente declaradas pelas partes interessadas.

Ainda de acordo com Young (2004), os requisitos são importantes por “prover as bases para todo o desenvolvimento do trabalho que seguirá. Uma vez definidos os requisitos os desenvolvedores iniciam o trabalho técnico: projeto, desenvolvimento, teste, implementação e operação do sistema”.

A captura de um requisito é chamada de elicitación (*elicitation*). Young (2004) indica também que esta elicitación é referente ao processo de “entender as necessidades dos consumidores ou usuários para o sistema planejado ou suas expectativas”.

Para Young (2004), “os gerentes geralmente pensam que as atividades relacionadas a requisitos consistem basicamente em reunir requisitos e gerenciar mudanças nesses requisitos durante todo o ciclo de vida”. Ainda adiciona que “na realidade, existem várias outras atividades relacionadas a requisitos que precisam ser tratadas no ciclo de vida do sistema”, a saber:

- identificar os interessados ou as partes interessadas (*stakeholders*): isto inclui aqueles que tem interesse no sistema ou em suas qualidades possuidoras que atendam de alguma forma às suas necessidades particulares;
- compreender e capturar as necessidades dos clientes: elicitación dos requisitos;
- identificar os requisitos: trata-se de indicar requisitos em frases e reuni-las como um conjunto;
- esclarecer e reavaliar os requisitos: garantir que eles descrevam as reais necessidades dos interessados e que o texto reflita exatamente isso;
- analisar os requisitos: garantir que os requisitos estejam bem definidos e exatamente conforme os critérios estabelecidos;
- definir os requisitos: cada parte interessada pode ter uma perspectiva do sistema e dos requisitos de forma diferente. Sendo importante investir tempo para haver entendimento e vocabulário comuns;
- especificar os requisitos: incluir todos os detalhes precisamente para que possam ser incluídos num documento de especificação;
- priorizar os requisitos: nem todos os requisitos possuem a mesma importância para os clientes e usuários do sistema planejado. Sendo alguns críticos, outros de prioridade alta, ou ainda prioridade normal ou média, e alguns até de menor prioridade. A priorização oferece a oportunidade de abordar a mais alta prioridade logo no início. A priorização ajuda a garantir que a quantidade de investimento será realizada de acordo com as necessidades do cliente;
- derivar os requisitos: são requisitos que devido à concepção do sistema não proporcionam um benefício direto ao usuário final;

- particionar requisitos: classificam-se os requisitos como aqueles que podem ser atendidos por hardware, software, treinamento e documentação, por exemplo;
- atribuir requisitos: atribuem-se requisitos a diferentes subsistemas e componentes do sistema, porém as alocações podem não ser sempre satisfeitas por apenas um subsistema ou componente;
- rastrear requisitos: precisa-se da capacidade de rastrear ou identificar onde e como cada requisito é satisfeito, para que se possa verificar que cada exigência foi cumprida;
- gerenciar requisitos: ser capaz de adicionar, excluir e modificar requisitos durante todas as fases. O repositório de requisitos consiste de um conjunto de artefatos e bancos de dados próprio para a execução da atividade;
- testar e verificar requisitos: este é o processo de verificação de requisitos, projetos, códigos, planos de teste e produtos do sistema para garantir que os requisitos sejam satisfeitos; e
- validar requisitos: processo para confirmar que os reais requisitos são implementados no sistema fornecido. A ordem de validação de requisitos deve ser respeitada, uma vez que existe um comprometimento com o financiamento disponível.

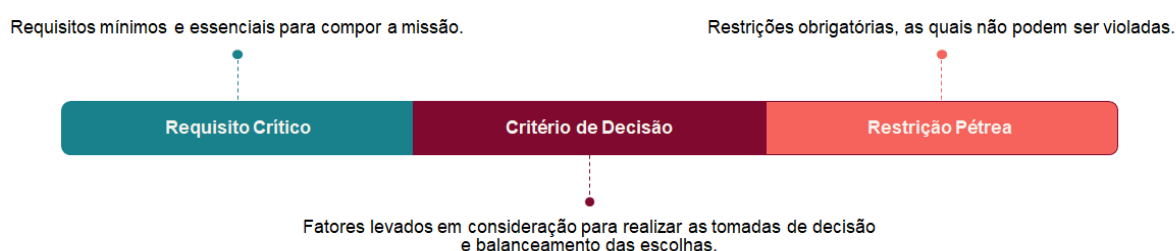
O investimento na elicitação dos requisitos na fase inicial do projeto e no seu gerenciamento ao longo do desenvolvimento tem o potencial de acarretar uma economia de recursos, abreviar os tempos, minimiza esforços e resulta no atendimento ao cronograma.

Segundo Rabello (2016), e conforme apresentado na Figura 2.2, após uma análise estatística baseada em projetos/ programas do *U.S. Department of Defense* (DoD), pode ser observado que (INCOSE, 2011): 1) o custo para remover os defeitos (flecha em azul) aumenta exponencialmente com o avanço das fases do projeto/ programa; 2) o custo comprometido (região em azul) no projeto/programa aumenta muito no início e pouco no final com o decorrer das

fases; 3) entretanto, na concepção, o custo despendido (região em cinza) é muito pequeno; 4) cabe então, uma maior atenção nas fases iniciais, visando otimizar recursos, sendo assim pertinente uma maior dedicação na elicitação do requisitos.

Para esta Tese os conceitos mostrados na Figura 2.8 são fundamentais para o desenvolvimento da obra.

Figura 2.8 - Requisitos críticos, critérios de decisão e restrições pétreas.



Fonte: Autora.

2.12.1 Verificação e validação de requisitos

De acordo com Hoyle (2001), para este trabalho, verificação é "o ato de estabelecer a verdade ou exatidão de um fato, teoria, declaração ou condição". Já as atividades de verificação são investigações especiais, testes, inspeções, demonstrações, análises ou comparações de dados para verificar se um produto ou serviço cumpre com os requisitos estabelecidos.

Para Grady (1997), validação significa "provar que está em conformidade com a lei, a lógica e os fatos, que são eficazes e convincentes". Os requisitos validados são requisitos implementados no sistema. Para ele, validar um sistema é "construir o sistema correto, certificando-se que o sistema faça o que é suposto fazer. A validação determina a exatidão e completude do produto e garante que o sistema irá satisfazer as necessidades reais do cliente".

Somando-se a isso, e adaptando de Grady (1997), validar requisitos significa garantir que o conjunto de requisitos esteja correto, completo e consistente.

Sendo esse conjunto, comprovado através de um modelo, gerando uma solução real que possa ser testada e assim prove satisfazer os requisitos.

2.13 Certificação

No entanto, no mundo das normas e dos padrões de sistemas, a conformidade com aquelas pode ser, em algumas situações, voluntária (não obrigatória). Já a certificação segundo aquelas é obrigatória (como é o caso do cumprimento legal e regulamentar), o que leva à confusão. A definição de certificação adotada para este trabalho, adaptada de COMAER (2014a) e ANAC (2017), por Silva (2017) é tida como:

certificação é atestar que o produto (aeronáutico) cumpre com os requisitos, estabelecidos pela autoridade competente, por meio de um processo pelo qual uma organização certificadora reconhece o seu projeto, após verificação técnica adequada, da conformidade com as especificações e então, emite um certificado formal para o requerente da certificação.

Baseando-nos em Axelrod (2016), é importante ressaltar que a certificação só pode ser feita por um agente de certificação reconhecido, autorizado, que segue um conjunto predeterminado de tarefas de avaliação ou executa auditorias de certificação, para garantir que os requisitos foram cumpridos. Isso é muito diferente de revisões internas ou mesmo de revisões externas, como uma verificação e validação independentes, por terceiros, que não são certificadores reconhecidos. Neste último caso, a conformidade pode ser alcançada, mas não a certificação.

2.13.1 Organização certificadora

Baseando-nos em COMAER (2014a), a autoridade (organização) certificadora (ou organismo certificador) do COMAER é responsável por regular, supervisionar e controlar todas as atividades relacionadas à garantia da qualidade e segurança de sistemas, e ainda, de produtos durante todo seu ciclo de vida. Isso por meio de atividades de aprovação, aceitação, certificação, avaliação da conformidade e da garantia da qualidade.

2.14 Regulamentação e padrões

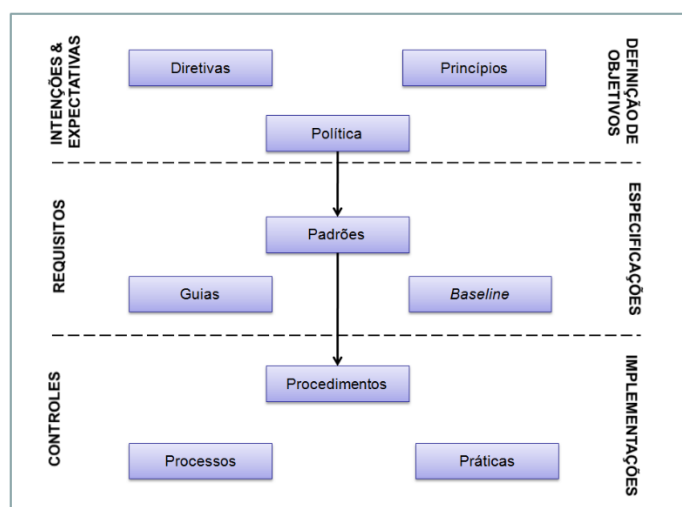
Das definições encontradas relacionadas aos padrões, as mais pertinentes para este trabalho foram adaptadas do artigo de Axelrod (2016). A Figura 2.9 mostra a relação entre elas. As definições escolhidas foram as seguintes:

- **diretriz:** é uma declaração oficial que direciona um determinado entendimento ou atividade, emitida por um órgão ou funcionário de alto nível;
- **princípio:** é um código de conduta abrangente e fundamental;
- **política:** é uma declaração de alto nível da expectativa de gerenciamento, em uma determinada área, sobre um determinado assunto;
- **norma:** é uma declaração específica sobre como o cumprimento de uma política ou conjunto de políticas deve ser alcançado dentro de uma área e/ ou assunto. As normas não fazem referência a tecnologias específicas;
- **orientação ou guia:** é uma declaração específica sobre como os padrões podem ser atendidos para tecnologias específicas. Uma orientação não é obrigatória;
- **prática:** é uma técnica ou um método que, através da experiência e da pesquisa, provou ser confiável para conduzir a um resultado desejado;
- **procedimento:** é uma lista detalhada das tarefas que devem ser executadas para cumprir os padrões e o *baseline*. Os procedimentos são específicos para aqueles que executam as tarefas e se aplicam a tecnologias e ambientes específicos; e
- **baseline** (linha de base): 1) é uma declaração específica sobre como os padrões devem ser atendidos para tecnologias específicas, neste caso a *baseline* é obrigatória, cf. adaptado de Axelrod (2016); e 2) é a versão aprovada de um produto de trabalho que só pode ser alterada através de procedimentos

formais de controle de modificação, sendo usada como uma base de comparação, cf. PMI (2013).

O termo "norma" é comumente usado para regras que são pertinentes em alguma outra categoria, como política, diretriz ou prática. O termo “padrão” é usado quando essa norma não é exigida no país ou área em questão.

Figura 2.9 - Relações hierárquicas entre os tipos de documentos.



Fonte: Silva (2017).

2.14.1 Padrão ECSS-Q-ST-10C

A norma ECSS-Q-ST-10C, ECSS (2008) intitulada “*Space Product Assurance – Product Assurance Management*” (Garantia do Produto Espacial - Gerenciamento da Garantia do Produto) é um documento publicado pela ECSS em 15 de novembro de 2008 que especifica os princípios gerais, programa de planejamento, programa de implementação e requisitos da garantia do produto, para o desenvolvimento de produtos e sistemas espaciais.

Esse documento aborda alguns requisitos do planejamento de programa de garantia do produto, sendo esses: organização e responsabilidades; interfaces de gerenciamento e plano da garantia da qualidade. São abordados requisitos de implementação dos programas, sendo esses: gerenciamento da garantia do produto; relatórios; auditorias; controles de itens críticos e interfaces para o

gerenciamento de risco; documentação e controle; qualidade dos registros; controle de não-conformidades; e gerenciamento de alertas.

Todavia, o documento apenas cita os requisitos, não os apresentando em maiores detalhes e muito menos a forma de cumpri-los. Também em determinados pontos do documento são referenciados outros documentos da ECSS.

2.15 Regulamentação

Os regulamentos são requisitos impostos por um órgão governamental. "Esses requisitos podem estabelecer características de um produto, processo ou serviço inclusive cláusulas administrativas aplicáveis que devem estar de acordo com a legislação governamental", PMI (2013).

2.16 Produto Mínimo Viável (*Minimum Viable Product* - MVP)

Conforme Caroli (2018), os projetos ágeis focam na entrega contínua e antecipada de um produto de software complexo, tendo como foco o objetivo de negócio e as necessidades dos clientes.

Mesmo em um projeto tido como ágil, antes de iniciar as atividades de execução é fundamental alinhar e definir os objetivos, as estratégias e o escopo do produto.

MVP é a versão mais simples de um produto que pode ser disponibilizada para a validação de um pequeno conjunto de hipóteses sobre o negócio.

O objetivo é não dispendar tempo, dinheiro e esforço em um produto que talvez não seja bem aceito pelo mercado ou não atenda as expectativas. O MVP auxilia na validação e aprendizado de uma forma mais rápida. Isto será adaptado para a GMMV neste trabalho.

Para Caroli (2018), os produtos criados da maneira tradicional são diferentes do MVP pois levam mais tempo para a criação de um protótipo, análises e elaboração, já o MVP é apenas a validação do primeiro passo, do produto mínimo, bem menos elaborado que a versão final. No MVP o foco é no mínimo o que pode ser viável para verificar se o alinhamento e direcionamento estão

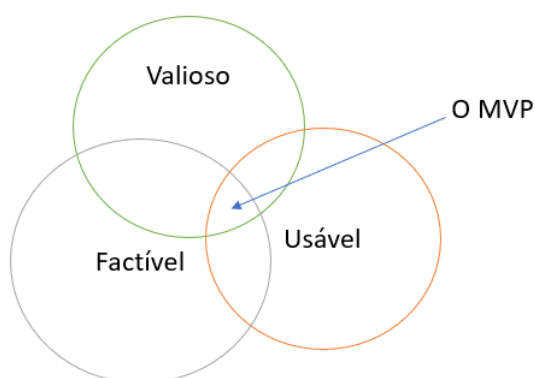
corretos. Esse é um conjunto de funcionalidades importantes para validar as hipóteses e aprendizados sobre o item.

Ainda cf. Caroli (2018), no MVP entende-se que o produto irá evoluir e suas funcionalidades venham a ser incrementadas, sendo um resultado do caso validado e guiado pelas primeiras percepções. Podendo usufruir de novos direcionamentos caso necessário, avançando para um produto mais desenvolvido, talvez com mais usuários, novas hipótese etc, baseado em Caroli (2018).

A ideia do MVP é uma criação evolutiva, permitindo uma evolução gradual e continua, baseada nos resultados já obtidos.

Para Caroli (2018), o MVP está na interseção entre valioso, usável e factível, cf. a Figura 2.10 ilustra, o que representa respectivamente o interesse do negócio, a aceitação dos usuários e a possibilidade de construção.

Figura 2.10 - Ilustração do MVP.



Fonte: Caroli (2018).

2.17 Processos

Adaptando PMI (2013), neste trabalho processo é entendido como uma série de atividades sistemáticas direcionadas para alcançar um resultado final de tal forma que se aja em relação a uma ou mais entradas com o objetivo de produzir uma ou mais saídas, sob a influência de controles e utilizando mecanismos. Isto é ilustrado a seguir pelo IDEF0.

2.18 Diagrama IDEF0 – Ferramenta integrada para modelagem de funções

Conforme Oliveira (2010), o diagrama IDEF0 (*Integration Definition for Function Modeling-0*) pode ser usado para modelar uma ampla variedade de sistemas, sendo eles automatizados ou não. Os processos modelados cumprem o papel de habilitar o relacionamento coerente entre os dados e as funções, onde se transformam entradas, orientadas por controles, saídas e usando de recursos (mecanismos), conforme visto na Figura 2.11. Nela, as características dos processos podem ser descritas da seguinte forma, cf. PMI (2013):

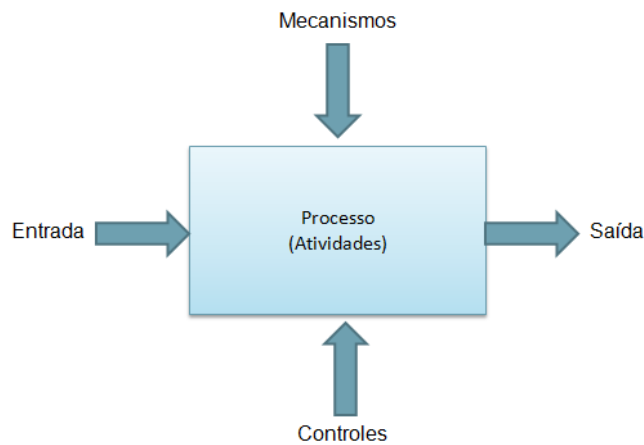
Entrada: "qualquer item, interno ou externo ao projeto, que é exigido por um processo antes que esse processo continue. Pode ser uma saída de um processo predecessor".

Saída: "um produto, resultado ou serviço gerado por um processo. Pode ser um dado necessário como entrada para um processo sucessor".

Mecanismos: "recurso ou mecanismo consiste do que é necessário para que a atividades ocorra, exemplo, recursos humanos especializados (disciplinas específicas, individualmente ou em grupos ou equipes), equipamentos, serviços, suprimentos, commodities, materiais, orçamentos ou fundos".

Controles: já cf. Hoyle (2001), controles são os limitadores da liberdade do processo (por exemplo, leis, regras, regulamentos e condições), podendo também restringir os recursos, os efeitos, as decisões e muitos outros fatores. Ainda podem ser chamados de restrições ao invés de controles, mas podem incluir entre elas as exigências do cliente.

Figura 2.11 - Exemplo de Diagrama IDEF0.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2010).

2.19 O Custo da não qualidade

Em sua dissertação de mestrado, Oliveira (2011) apresentou o custo da não qualidade do programa CBERS e verificou que os custos relativos das não-conformidades e das modificações são relevantes para o programa espacial. Ele salientou também a necessidade de um controle mais efetivo da garantia do produto com relação às ações corretivas e não-conformidades. Ele ainda propôs que os instrumentos de controle para relatar as modificações e correções (Solicitações de Mudanças de Engenharia – *Engineering Change Requests*-ECRs; e Relatórios de Não Conformidade – *NonConformance Reports*-NCRs) fossem melhorados, incorporando as disciplinas engenharia de sistemas, garantia do produto e gestão de projetos. Em tempo, ele informou que boa parte dos atrasos nas entregas de projeto decorre de correções de projeto/ fabricação/ testes e especificações mal elaborados, necessitando de uma atuação mais forte da equipe de engenharia de sistemas, desde a concepção até a entrega final do produto.

A Tabela 2.3 mostra o custo parcial da não qualidade, de cada subsistema analisado por Oliveira (2011), para os satélites CBERS - 1&2, em função do número de ECRs (Solicitações de Mudanças de Engenharia – *Engineering Change Requests*) e NCRs (Relatórios de Não Conformidade –

NonConformance Reports). Esses valores tiveram como base os custos da época.

Tabela 2.3 - CBERS -1&2 e o custo parcial de cada subsistema.

Subsistema	Não Qualidade				Subsistema Custo (US\$)
	ECR		NCR		
	CC	CL	Menor	Maior	
Estrutura	3	2	131	10	129.396,60
PSS	28	58	309	51	575.612,80
TT&C	12	19	48	21	180.851,20
DCS	12	28	17	14	164.049,00
WFI	10	13	8	10	89.360,40
Total	65	120	513	106	1.158.717,00

CC - ciclo curto e CL- ciclo longo.

Fonte: Oliveira (2011a).

2.20 FMEA/ FMECA

Cf. Freitas e Colosimo (1997), uma **FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos)** tem como objetivo identificar todos os modos de falha em potencial dentro de um projeto (de produto ou de processo) e seus efeitos, de tal maneira que as falhas de maior severidade possam ser eliminadas ou minimizadas. A FMEA é uma ferramenta que apresenta a finalidade de análise de projeto: e é útil para o processo de tomada de decisões. Mas, ela é dependente de dois fatores:

- qualidade das informações utilizadas para sua confecção e;
- eficácia com a qual, o conhecimento gerado a respeito de um modo de falha com severidade maior, é comunicado logo no início do projeto, possibilitando assim que as ações corretivas sugeridas possam ser analisadas e implementadas.

Já na ECSS-Q-ST-30-02C (ECSS, 2009b), a FMECA (Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade) é uma extensão da FMEA. Os modos de falha são identificados na FMEA, sendo que a FMECA adicionalmente

considera a Criticidade envolvida, que é a medida combinada da sua Probabilidade de ocorrência com a Severidade do modo de falha.

As tabelas de FMECA costumam apresentar as colunas referentes a:

- Probabilidade de ocorrência da falha (1ª. coluna);
- Severidade da falha (2ª. coluna); para avaliar a
- Criticidade da falha, $C = P \times S$ (3ª. coluna).

3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E ABORDAGENS PARA A SUA SOLUÇÃO

Este capítulo apresenta a formulação do problema desta Tese e as abordagens para a sua solução.

3.1 Formulação do problema

Características inerentes aos produtos das indústrias espacial e aeronáutica são: a experimentação de novas tecnologias, a complexidade dos sistemas, os altos níveis de integração, os custos elevados e os ciclos de vida longos. Tais características exigem níveis elevados de qualidade e um permanente comprometimento com o sucesso da missão. Além disso, no caso espacial podem ser citadas algumas características adicionais como: ausência de manutenção e desenvolvimento de novas tecnologias envolvidas. Para isso, é imprescindível possuir um adequado controle de todas as equipes, processos, itens, e uma efetiva integração das disciplinas envolvidas. No nosso caso, o nível de controle e as exigências realizadas precisam estar compatíveis com a categoria de satélites de pequeno e médio porte, uma vez que exigências elevadas retardam, encarecem e enrijecem os processos.

Por tais motivos, faz-se necessário um sólido, adequado e até otimizado processo de garantia de missão, pois não basta o sucesso do produto, é preciso o sucesso da missão na qual ele está inserido. Para que isso ocorra, precisa-se atuar durante todas as fases da missão, além de implementar práticas e métodos com objetivo de controlar os processos e possuir patamares de qualidade adequados. Porém, isto deve ser feito de maneira a não se exigir demais quanto ao nível de qualidade exigido para a missão.

Somando-se a isso, a garantia de missão espacial brasileira que pleitear verba da Agência Espacial Brasileira (AEB) precisará seguir o “Procedimento para Seleção e Adoção de Missões Espaciais” (PROSAME), e alinhar-se aos pontos exigidos pela Portaria Nº 857 da AEB, de 25 de Maio de 2022, AEB (2022a). Para o atendimento ao procedimento cabe à missão estar estruturada quanto à organização, aos documentos e suas entregas.

Então, **o problema a ser tratado** é: como garantir uma missão espacial para satélites de pequeno e médio porte em um cenário com: tais características citadas acima, como: exigências de níveis de qualidade adequados a missão; adequação as exigências mínimas necessárias (recursos, etc.); controles suficientes das atividades de GM; considerando que as referências não aprofundam a forma (o como fazer) de executar a integração das disciplinas afeitas da garantia de missão e seguir, no mínimo, ao procedimento exigido pela AEB?

3.2 Objetivo do trabalho

Diante do exposto acima, o objetivo do trabalho é apresentar uma nova abordagem para Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições péticas e critérios de decisão balanceados.

Espera-se que ela acarrete os seguintes benefícios: 1) ajudar no desenvolvimento de requisitos e restrições futuras da garantia de missão ajustadas aos objetivos e condições da missão; 2) aprimorar a execução das atividades da garantia de missão respeitando a qualidade necessária; e 3) atuar na padronização das atividades executadas pela garantia de missão para garantir que os objetivos da missão venham a ser cumpridos, respeitando as condições de prazos, custos, etc.

3.3 Abordagens para sua solução

Neste trabalho adotam-se três abordagens para sua solução, visando a adequação e até a possível otimização da garantia de missão espacial para satélites de pequeno e médio porte e missões correlatas.

A primeira abordagem utiliza teoria e análise para descrever e comparar as filosofias existentes da Garantia de Missão, no âmbito nacional e internacional, e ainda identificar processos e práticas utilizados na certificação aeroespacial, por meio de documentos e entrevistas.

A segunda abordagem utiliza modelagem e identificação (e simulação) para descrever os processos existentes e a proposta de Garantia de Missão Mínima Viável.

A terceira abordagem utiliza observação para realizar a identificação do processo da Garantia de Missão para satélites de pequeno e médio porte; e também utiliza experimentação (mental) para realizar estudos de caso.

3.4 Método da pesquisa

Considerando o problema formulado, adota-se a seguinte solução: propor uma Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições péticas e critérios de decisão balanceados. Para atingi-la, ela:

1) se baseia nas seguintes disciplinas: a) Engenharia de Sistemas; b) Gestão de Projetos e c) um correspondente processo de adoção de missões espaciais e da Certificação Aeroespacial, para propor uma GM mais adequada e até a otimizada às necessidades de missões de pequeno e médio porte.

2) inclui os seguintes passos:

Passo 1: complementar a revisão da literatura sobre Garantia de Missão, Certificação Aeroespacial, Gestão de Projetos e Engenharia de Requisitos, a saber:

- Garantia de Missão da indústria espacial, principalmente: *Mission Assurance Guide*; *Mission Assurance Guidelines for A-D Mission Risk Classes*; *Mission Assurance Program Framework*; *Best Practices in Mission-Assured, Mission-Critical and Safety-Critical Systems*; *Mission Assurance - A Back-to-Basics Approach to Success*; *Mission Assurance Strategy*; *Space Safety Regulations and Standards*; IAC-18-D.1.5.2- *A New Approach to Mission Classification and Risk Management to NASA Space Flight Missions*; NPR 8705.4 - *Risk Classification for NASA Payloads*; Portaria Nº 857 da AEB, de 25 de Maio de 2022 – PROSAME (AEB, 2022), artigos listados abaixo e documentos internos do INPE;

Certificação Aeroespacial, principalmente: Dissertações de Mestrado de Silva (2017) e Pleffken (2021); livro: Florio (2016) e artigo: Silva (2018);

Gestão de Projetos, principalmente: PMI (2017), MCTI (2020), Keeling (2019), Branco (2016), Osterwalder (2011);

Engenharia de Requisitos: Young (2004), Halligan (1993), e W. Chris (2014);

Estudos científicos: vide informação abaixo, Seção 3.5 e Tabela 3.1.

Passo 2: levantar as lacunas existentes na forma de executar as garantias de missão estudadas, fazer a comparação dos métodos e práticas existentes de Garantia de Missão, Certificação Aeroespacial e Gestão de Projetos e verificar possíveis aderências.

Passo 3: elaborar proposta de garantia de missão mínima viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte, utilizando os métodos e práticas levantados no Passo 2.

Passo 4: elaborar um método para selecionar requisitos críticos e restrições pétreas, juntamente com sua validação e balanceamento.

Passo 5: elaborar um exemplo de aplicação (estudo de caso) para uma das propostas sugeridas, de forma a evidenciar seus ganhos, forma de utilização e de aplicação.

3.5 Detalhamento da originalidade e do ineditismo da solução proposta

A disciplina Garantia de Missão possui um longo histórico é um tema muito relevante para diversas áreas e vem apresentando avanços significativos. O cerne da utilização desse conceito é a tentativa de garantir o sucesso da missão, muitas vezes utilizando experiências do passado; entretanto, isso não pode ser absoluto.

O tema proposto para esta tese tem caráter multidisciplinar: “Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições pétreas e critérios de decisão balanceados”. Um estudo bibliográfico realizado aponta seu ineditismo.

Não é necessária uma busca excessivamente exaustiva para se descobrir que o problema que nós abordamos nesta tese é um problema extremamente específico. Através de buscas avançadas nos principais buscadores da internet (*Google, Google Scholar, Bing, Baidu, Yahoo!, Qwant, etc.*) e nos sites para encontrar artigos científicos, como *Scielo, Scopus, ScienceDirect, CAFE, etc.*, foram encontrados trabalhos que tratam o problema a ser investigado de forma parcial, apresentando lacunas.

A Tese proposta visa: 1) contribuir com a integração das disciplinas que suportam a Garantia de Missão e apresentar alternativas de implementação e execução das atividades; além de 2) pesquisar as definições (conceitos, descrições e métricas) e seu entendimento; e, sobretudo, 3) descrever uma proposta que adeque e até otimize os recursos da garantia de missão, trazendo mais fluidez a missão, porém respeitando as necessidades e restrições estabelecidas.

A Tabela 3.1 mostra algumas lacunas relevantes na literatura e seus tratamentos pela atual Tese em diferentes classes, conforme o grau de abstração. Elas ilustram o ineditismo e as contribuições desta Tese, a saber:

- Contribuição acadêmica: pelo 1) balanceamento por critérios de uma Garantia de Missão (com base em conhecimentos e referências) entre a GM Clássica (“baseada em requisitos”) e a GM Moderna (“baseada em restrições”), além de 2) apresentar alternativas de implementação e integração das disciplinas que suportam a Garantia de Missão;
- contribuição na aplicação: pela 3) adequação e até otimização de uma Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte, enfatizando 4) escopo, maturidade tecnológica, modelos de engenharia, Autoridade de Aprovação e maturidade da organização;
- contribuição na aplicação específica: pelo 5) desenvolvimento de um método para selecionar requisitos críticos e restrições

pétreas, juntamente com a 6) aplicação da filosofia de Autoridade de Aprovação baseada na indústria aeronáutica.

Elas são tratadas a seguir, começando pelo Capítulo 4, sobre a Garantia de Missão Clássica no cenário nacional.

Tabela 3.1 -Algumas lacunas relevantes na literatura e seus tratamentos pela atual Tese.

Publicação	1) Balanceamento por critérios de uma Garantia de Missão (com base em conhecimentos e referências) entre a GM Clássica (“baseada em requisitos”) e a GM Moderna (“baseada em restrições”).	2) Apresentar alternativas de implementação e integração das disciplinas que suportam a Garantia de Missão.	3) Adequação de uma Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte, enfatizando; e 4) escopo, maturidade tecnológica, modelos de engenharia, Autoridade de Aprovação e maturidade da organização.	5) Desenvolvimento de um método para selecionar requisitos críticos e restrições péticas, juntamente com a 6) aplicação da filosofia de Autoridade de Aprovação baseada na indústria aeronáutica.
Silva, C. M. Z. et al. (2018)	Não aborda	Não aborda	Aborda conceitos, abordagens, estruturação da Garantia do Produto e Qualidade.	Apresenta 3 propostas de aprimoramento da Garantia do Produto Espacial baseada em um processo aeronáutico, uma delas é a Autoridade de Aprovação (credenciamento de pessoa jurídica).
Botelho, R. C.; Xavier Jr, A. L. (2019)	Não aborda	Não aborda	Não aborda	Não aborda

(Continua)

Tabela 3.1 -Continuação.

Yu, J., Ding, F.; Zhao X.; Wang, Y. (2018)	Não aborda	Aborda as informações das disciplinas da GM e o gerenciamento delas em plataforma específica.	Não especifica o tamanho das missões.	Propõe uma arquitetura de nuvem para compartilhamento de informações da GM, demonstrando informações mais resilientes, diferenciando o nível da informação e confidencialidade e também apresenta métodos computacionais para acompanhar as atividades gerenciadas na “nuvem”. Apresenta alguns fluxos de informações, métodos e plataformas.
Jasper, L. (2014)	Aborda a Garantia de Missão baseada em restrições e baseada em requisitos de forma separada, não aborda nenhum critério para balanceamento.	Não aborda	Foca na abordagem de Garantia de Missão para pequenos satélites e apresenta proposta para otimiza-la.	Aborda o conceito de Autoridade de Aprovação, mas não especifica como realiza-la.
Zaninotto, J. M. R. (2023)	Não aborda.	Aborda alguns aspectos teóricos estudados dos documentos e padrões internacionais	Aplicação voltada a Garantia da Qualidade de projetos espaciais	Apresenta um método de avaliação do impacto de requisitos da garantia da qualidade, baseada quantitativamente na avaliação de risco.

(Continua)

Tabela 3.1 -Continuação.

Pal, P.; Rohloff, K.; Atighetchi, M.; Schantz, R. (2010)	Não aborda.	Provê a relação entre os serviços da qualidade e GM, utilizando software.	Garantia de Missão tendo foco <i>cyber-attack</i> , voltado para grandes missões. Apresenta o conceito de “garantia de missão gerenciada” e descreve as metodologias e o suporte de tempo de execução necessários para gerenciar a garantia de missão como uma compensação entre qualidade e requisitos de garantia de missão conflitantes.	Combina a capacidade de avaliação as informações de garantia com gerenciamento de serviços da qualidade e arquiteturas específicas permitindo o gerenciamento eficaz de garantia de missão. Existe uma proposta de captura de requisitos utilizando regras de Engenharia de Software, o artigo propõe uma organização de medições relevantes para a avaliação de informações de garantia em uma série de classes métricas e uma metodologia de avaliação complementar.
Williams, C. et al. (2014)	Não aborda	Não aborda.	Para a GM de todos os tamanhos, voltado a área da defesa, porém pode ser utilizado em outras áreas.	Atuando na rastreabilidade dos requisitos. Mostra estratégia de manter a rastreabilidade dos requisitos usando argumentos de satisfação, capturando suposições e restrições. Além disso, a descrição dos requisitos usando linguagem controlada rastreável por máquina que potencialmente permitiria a detecção e resposta automatizadas no futuro, como para o fortalecimento da rede. Este trabalho desenvolve um conjunto de ferramentas de protótipo que pode ser testado com usuários de defesa.

(Continua)

Tabela 3.1 -Continuação.

Evans. J. W.et al. (2016)	Não aborda	Apresenta a Garantia de Missão Baseada em Modelos e elenca os pontos positivos e relaciona muitos estudos de caso para a aplicação de MBSE. Aborda a garantia por meio da incorporação de modelagem mais avançada e técnicas de análise	Os conceitos e definições são focados em missões de todos os tamanhos.	Utilização de MBSE, apresenta uma interação benéfica entre MBSE e garantia, com ilustrações de projetos, oportunidades para maior sinergia entre MBSE.
Jackson, C. (2014)	Não aborda.	Aborda as disciplinas de Qualidade, Segurança e Confiabilidade. Estabelece processos e métodos de interação entre elas.	Abordagem de GM para satélites pequenos e possui recomendações para a indústria em questão. Abordam aspectos da Qualidade também.	Esta abordagem se concentra em "garantir a cultura" em vez de "garantir a conformidade". Não tendo a garantia em uma lista de verificação de atividades, mas garantir um design robusto e processos de tomada de decisão que melhoram continuamente. O projeto deixando de ser guiadas pelos padrões ou diretrizes, mas por valor aos clientes. Isso pode significar que a confiabilidade como uma métrica não é (pelo menos filosoficamente) maximizada.

(Continua)

Tabela 3.1 -Conclusão.

Proposta da Tese	Utiliza a abordagem da Garantia de Missão Mínima Viável “baseada só em requisitos críticos e restrições pétreas” mais fluidez aos processos e economizando recursos diversos. A verificação e o acompanhamento mais próximos serão apenas para requisitos críticos e restrições pétreas. Apresenta também formas de realizar o balanceamento por critérios de decisão de uma Garantia de Missão.	Apresenta um <i>framework</i> para a Garantia de Missão Mínima Viável, e um método para selecionar requisitos críticos e restrições pétreas, juntamente com sua validação.	Foca na Garantia de Missão para satélites de pequeno e médio porte e apresenta uma nova abordagem da Garantia de Missão onde prioriza a verificação e acompanhamento de requisitos críticos e restrições pétreas, mantendo assim processos otimizados e com maior fluidez. É apresentado um framework.	A proposta provê um acompanhamento dos processos e verificação dos requisitos críticos e restrições pétreas mais de perto, utilizando a figura da Autoridade de Aprovação que estabelece uma barreira a mais para possíveis falhas e além de ser uma alternativa para a falta de recursos humanos. A Tese dará maior ênfase nessa linha de atuação e apresenta um método para selecionar requisitos críticos e restrições pétreas, juntamente com sua validação.
--------------------------------	---	--	--	--

Fonte: Autora.

4 GARANTIA DE MISSÃO CLÁSSICA NO CENÁRIO NACIONAL

Os Capítulos 4, 5 e 6 apresentam as garantias de missão segundo instituições de notório reconhecimento na área espacial, devido às suas missões e iniciativas, além de possuírem uma estrutura consolidada, solidificada e um arcabouço documental bem estruturado e disponível para consulta.

Esta Tese estudou instituições no cenário nacional (Capítulo 4) e internacional (Capítulo 5), sendo este último focado na Europa e Estados Unidos, visto que possuem uma grande ligação com o Brasil e possuem informações de fácil acesso. E estudou empresas internacionais (Capítulo 6).

De acordo com NASA (2014) **missão** é definida como uma atividade importante necessária para atingir uma meta da Agência ou para buscar efetivamente uma oportunidade científica, tecnológica ou de engenharia diretamente relacionada a uma meta da Agência. As necessidades da missão são independentes de qualquer sistema particular ou solução tecnológica.

A **Garantia de Missão Clássica (GMC)** é tida como a abordagem já utilizada e bem desenvolvida pelas agências, instituições e pela indústria espacial durante os anos [04/out./1957-08/jul./2011?]. Existe um arcabouço importante de documentos disponível gratuitamente e servindo como padrões e guias para o desenvolvimento das missões espaciais.

Dentre esses documentos podem-se citar *handbooks*, guias e padrões que auxiliam na escolha dos requisitos, estruturação, atividades de alto nível e algumas orientações para a missão. É importante salientar que: 1) existe um árduo trabalho de adaptação daqueles documentos para a missão pretendida; e 2) eles não apresentam “o como executar” as atividades de Garantia de Missão, pois são documentos de alto nível.

A GMC foca em uma missão baseada nos requisitos originados dos padrões pré-estabelecidos, aos quais somam-se também requisitos específicos da missão em si.

Para esta Tese, no Brasil temos as referências do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Agência Espacial Brasileira (AEB).

Nos EUA existem importantes definições e literatura sobre a classificação da missão: pela NASA (NASA, 2018a), pelo DoD (JASPER, 2014) e indústria espacial, e.g., Aerospace Corporation (AEROSPACE CORPORATION, 2011a). Conforme descrito em NPR 8705.4 (NASA, 2018a), o nível de classificação de risco deve ser definido e acordado pelas partes interessadas.

4.1 Garantia de missão no âmbito do INPE

Há cerca de 62 anos o INPE atua com o objetivo de cumprir a missão de realizar a pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e a inovação nos setores espaciais e dos sistemas terrestres.

Através de projetos e programas espaciais executados com parcerias nacionais e internacionais, o Instituto desenvolveu importantes capacidades para o Brasil, sendo elas: instrumentação científica, artefatos espaciais e satélites, aplicações e serviços para pesquisa e coleta de dados nas áreas espaciais e do sistema terrestre, além de capacidades computacionais para previsão de tempo e clima visando o monitoramento de uso da terra e de clima espacial. Conforme levantamento realizado por Branco et al. (2021)

O INPE tem adotado em seus programas e projetos as definições e padrões da ECSS, como vistos no Capítulo 4, da Dissertação de Silva (2017). Note-se que a ESA não adota a nomenclatura de Garantia de Missão, mas aplica o escopo da Garantia do Produto para todos os segmentos da missão de forma separada, ao menos na documentação disponível obtida.

Nesta Tese, serão apresentadas duas abordagens utilizadas no INPE: a primeira, no item 4.1.1, é a Garantia de Missão aplicada à missão EQUARS; e a segunda, tida como mais geral, utilizando as nomenclaturas e escopo apenas da ECSS, no item 4.1.2, é a Garantia do Produto aplicada aos grandes programas espaciais do INPE.

4.1.1 Garantia de missão no âmbito da missão EQUARS

Segundo INPE (2020a):

A missão satelital EQUARS é concebida para investigar os fenômenos relacionados ao comportamento da ionosfera terrestre,

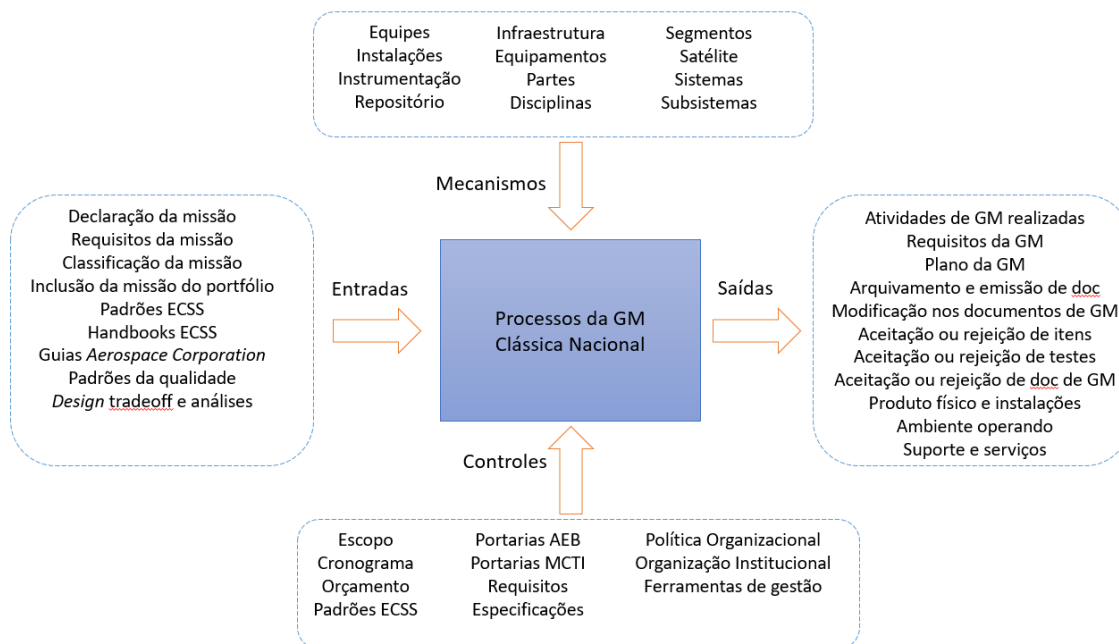
especialmente na região equatorial. Em geral, a ionosfera terrestre é caracterizada por um plasma ionizado formado a partir da radiação solar no espectro do ultravioleta. Na condição do crepúsculo solar, o plasma ionosférico diminui sua densidade rapidamente, favorecendo os processos de recombinação iônica com as espécies químicas da atmosfera neutra, especialmente em altitudes mais baixas da ionosfera, onde a atmosfera neutra é mais densa. Este efeito de reorganização da densidade do plasma (na interface de dois fluidos de diferentes densidades), associado às características peculiares da eletrodinâmica ionosférica da região equatorial, pode produzir instabilidades de plasma em dimensões de mesoescala (centenas de quilômetros), dispersando e difratando os sinais de comunicação e os sinais de geoposicionamento (GNSS) que atravessam tais irregularidades. Este fenômeno, típico do comportamento da ionosfera equatorial, é conhecido como bolhas de plasma equatorial (*Equatorial Plasma Bubbles*—EPB). Neste sentido, com o objetivo de compreender melhor a variabilidade do plasma da região equatorial, o INPE planeja concretizar a missão espacial EQUARS. No entanto, tendo em vista a natureza de elevado nível de acoplamento fotoquímico e eletrodinâmico que caracteriza a variabilidade deste plasma, múltiplos parâmetros atmosféricos devem ser conjuntamente analisados, estabelecendo uma forte associação entre o clima terrestre e o clima espacial.

A missão EQUARS apresenta uma composição da abordagem utilizada pela ESA (padrões ECSS) e também com algum conteúdo utilizado pela indústria americana na figura da empresa Aerospace Corporation.

De acordo com os documentos disponíveis para consulta no INPE, a única missão do INPE que adota o termo Garantia de Missão é a missão EQUARS, que concluiu sua PRR (*Preliminary Requirements Review*) em 2019.

A Figura 4.1 mostra um diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM Clássica Nacional (missão EQUARS).

Figura 4.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM Clássica Nacional (missão EQUARS).

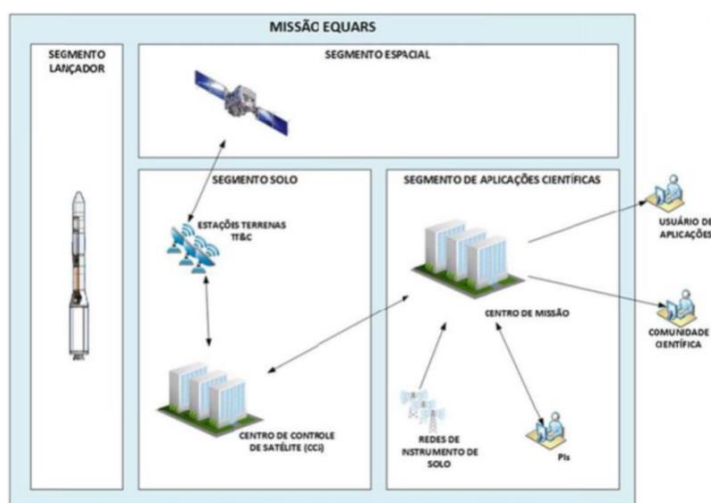


Fonte: Autora.

4.1.1.1 Escopo da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS

A missão EQUARS é composta por quatro segmentos, como mostrado na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Segmentos da missão EQUARS.



Fonte: INPE (2019a).

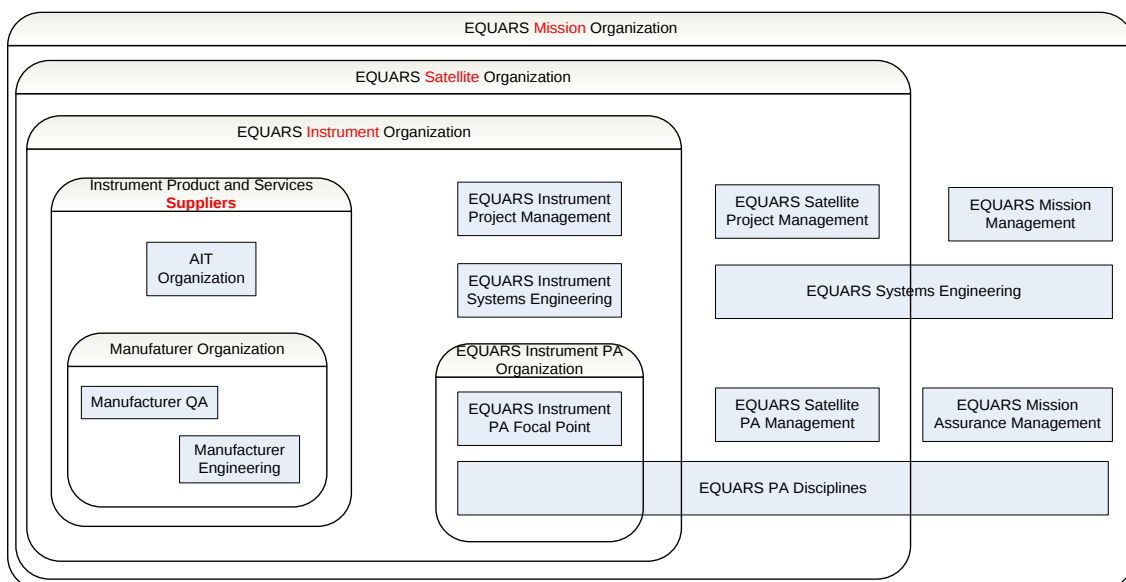
Para a missão EQUARS (INPE, 2019a), a Garantia de Missão define, controla e garante a qualidade referente a todos os segmentos e suas inter-relações. Ela é apoiada pela Garantia do Produto, porém contempla as atividades relacionadas a cada segmento, mas atuando com as disciplinas previstas pela ECSS, pois as disciplinas do INPE estão estruturadas baseadas nos padrões ECSS.

A classificação de risco tem como referência o documento “*Mission Assurance Guidelines for A-D Mission Risk Classes*” (AEROSPACE CORPORATION, 2011a). Os planos e a estrutura levam em consideração essa classificação.

4.1.1.2 Organização da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS

A Figura 4.3 mostra a organização da garantia de missão da missão EQUARS, e suas interfaces.

Figura 4.3 - Organização da garantia de missão da missão EQUARS.



Fonte: INPE (2019b).

4.1.1.3 Fases da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS

O projeto EQUARS adota o modelo de Ciclo de Vida de Projeto definido pela ECSS, no qual, as atividades de concepção da missão, levantamento de requisitos, definição do projeto, verificação, produção, operação e descarte são tipicamente divididas em 7 (sete) fases. As fases escolhidas são abordadas pela ESA, cf. a ECSS, vistas no Capítulo 2, Seção 2.7 e Figura 2.6, seguindo as disciplinas e atividades elencadas nas Seções 2.6 e 4.1.2.3, e Figura 4.6.

4.1.1.4 Disciplinas da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS

As suas atividades foram iniciadas com a elaboração do “Plano Preliminar de Garantia de Missão” (INPE, 2019a). Esse documento descreve como serão conduzidas e gerenciadas as atividades de garantia de missão da missão EQUARS. Além disso, elenca as disciplinas envolvidas que são as seguintes: Garantia do Produto (GP); Gerenciamento da Configuração e da Documentação (GCD); Engenharia do Produto (EP); Componentes Elétricos, Eletrônicos e Eletromecânicos (EEE); Garantia da Segurança de Sistemas Espaciais (GSSE); Engenharia de Radiação (ER); Engenharia e Garantia da Dependabilidade (EGD); e Garantia do Produto Software (GPSw).

4.1.1.5 Processos da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS

Os processos estabelecidos são os mesmos referentes aos da Seção 4.1.2 Garantia do Produto aplicada aos grandes programas espaciais do INPE.

O documento intitulado de “*Quality Assurance Preliminary Plan – EQUARS Mission*”, (INPE, 2019d), constante na Tabela 4.1, lista os processos elencados para a missão EQUARS no que tange as atividades da garantia de missão.

4.1.1.6 Documentos da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS

Na Tabela 4.1 estão listados os principais documentos que direcionam as atividades da garantia de missão no âmbito da missão EQUARS.

Tabela 4.1 - Principais documentos referentes à GM no âmbito da missão EQUARS.

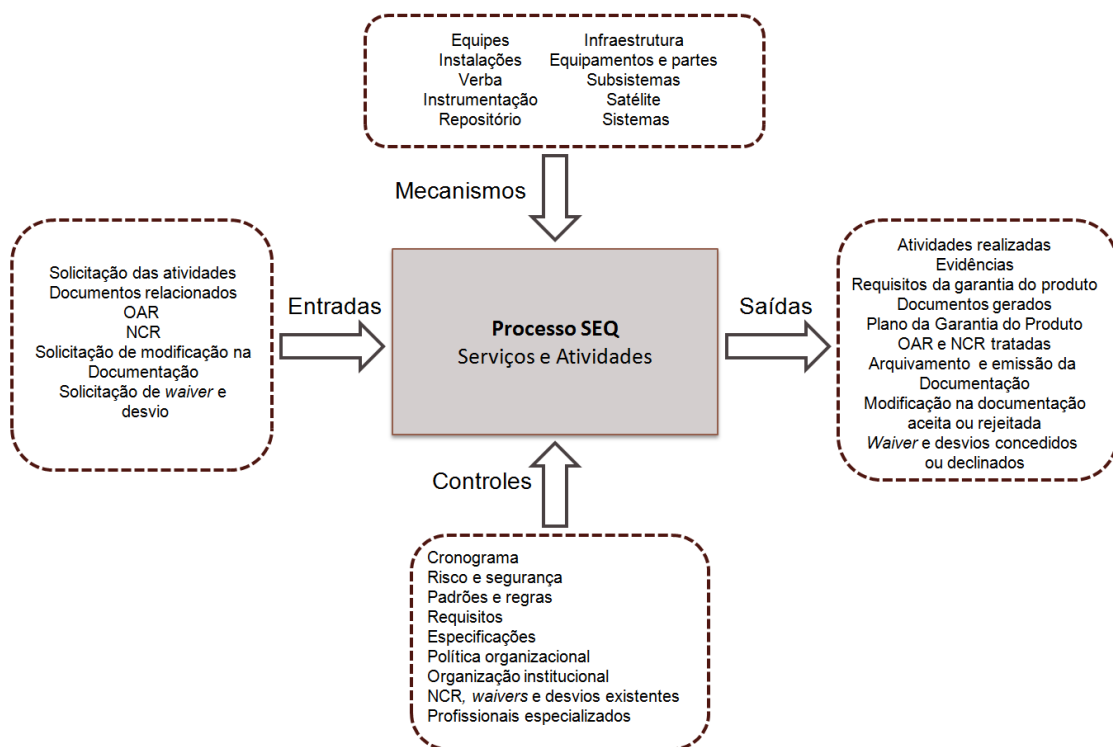
EQUARS-3000-PLN-002 (INPE, 2019a)	Plano Preliminar de Garantia de Missão	INPE / EQUARS	Organização da informação, onde são relacionados os documentos da Garantia de Missão e elenca os documentos que tratam de gestão e política de riscos.
EQUARS-3000-TS-001 (INPE, 2019b)	<i>Mission Assurance Preliminary Requirements</i>	INPE / EQUARS	Estabelece os requisitos preliminares aplicáveis de Garantia de Missão.
EQUARS-4900-TS-002 (INPE, 2019c)	<i>Product Assurance Preliminary Requirements – Space Segment</i>	INPE / EQUARS	Estabelece os requisitos da Garantia do Produto do segmento espacial.
EQUARS-3100-PLN-001 (INPE, 2019d)	<i>Quality Assurance Preliminary Plan – EQUARS Mission</i>	INPE / EQUARS	Contempla os planos de Garantia do Produto e Garantia de Qualidade, onde primeiramente é estabelecida a classificação da missão, de acordo com (Aerospace Corporation, 2011a), tida como Classe C, com ressalvas. O Plano ainda apresenta os processos e tarefas elencados para a Garantia de Missão.

Fonte: Autora.

4.1.2 Garantia do Produto aplicada aos grandes programas espaciais do INPE

A Figura 4.4 mostra um diagrama IDEF0 de nível superior para o processo adotado pelo SEQ para as atividades de garantia do produto. Nela, podem ser vistos os atributos elencados pela ferramenta IDEF0 que são: entradas, saídas, controles e mecanismos. No decorrer do Capítulo 4 da Dissertação de Mestrado de Silva (2017) são explanados cada um dos atributos ilustrados na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Diagrama IDEF0 de nível superior para o processo adotado pelo SEQ para as atividades de garantia do produto.



Fonte: Silva (2017).

4.1.2.1 Escopo da garantia do produto no âmbito do INPE

Relembrando, cf. ECSS (2012), a garantia do produto é uma disciplina dedicada ao estudo, planejamento e implementação de atividades destinadas a garantir as especificações, controles, métodos e técnicas de um projeto que

resultam em um grau satisfatório de qualidade no produto. Ainda conforme adaptado de ECSS (2008), o objetivo principal da garantia do produto é garantir que os produtos espaciais cumpram com seus objetivos de missão, definidos de forma segura, disponível e confiável.

Isso posto, a identificação precoce de aspectos potencialmente prejudiciais à segurança, como: êxito da missão e a prevenção eficaz, impacta em custos com relação a quaisquer consequências adversas, e as avaliações das potenciais não conformidades. E ainda, a ECSS (2008) esclarece que o foco do planejamento de garantia de produto é:

- a definição da organização de garantia do produto, com alocação de recursos adequados, sendo esses, pessoas e instalações;
- a definição dos requisitos de garantia de produto para fornecedores de nível inferior; e
- a definição de um plano de garantia de produto, descrevendo o programa de garantia de produto e como ele atende aos objetivos e requisitos do projeto.

Adicionalmente, o ciclo de vida do produto espacial adotado para os satélites de pequeno e médio porte do INPE pode ser visto na Figura 2.6, a qual mostra as fases, as atividades e as revisões do projeto que são foco de atenção da garantia do produto, com uma especial ênfase nas fases C e D.

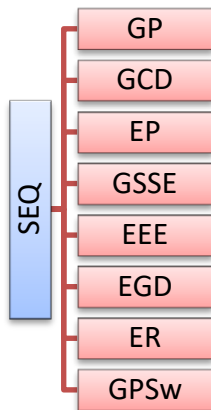
O documento ECSS (2008) ainda menciona que o compromisso com a qualidade de toda a organização é fundamental para a qualidade do produto e o sucesso da missão espacial. A gestão da garantia do produto está totalmente integrada à gestão do projeto e deve receber a mais alta prioridade da gestão da organização.

Somando-se a isso, cf. ECSS (2008), são tidos como os princípios básicos dos requisitos de garantia do produto: a identificação precoce de aspectos potencialmente prejudiciais para a segurança; o sucesso da missão; e a prevenção eficaz de custos de qualquer natureza, com relação a qualquer consequência adversa.

4.1.2.2 Organização da garantia do produto no âmbito do INPE

A Figura 4.5 apresenta o organograma do SEQ mostrando seus grupos:

Figura 4.5 - Organograma do SEQ.



GP – Garantia do Produto; GCD – Gerenciamento e Configuração da Documentação; EP – Engenharia do Produto; EEE – Componentes Elétricos, Eletrônicos e Eletromecânico; GSSE – Garantia de Segurança de Sistemas Espaciais; ER – Engenharia de Radiação; EGD – Engenharia e Garantia da Dependabilidade; e GPSw – Garantia do Produto de Software.

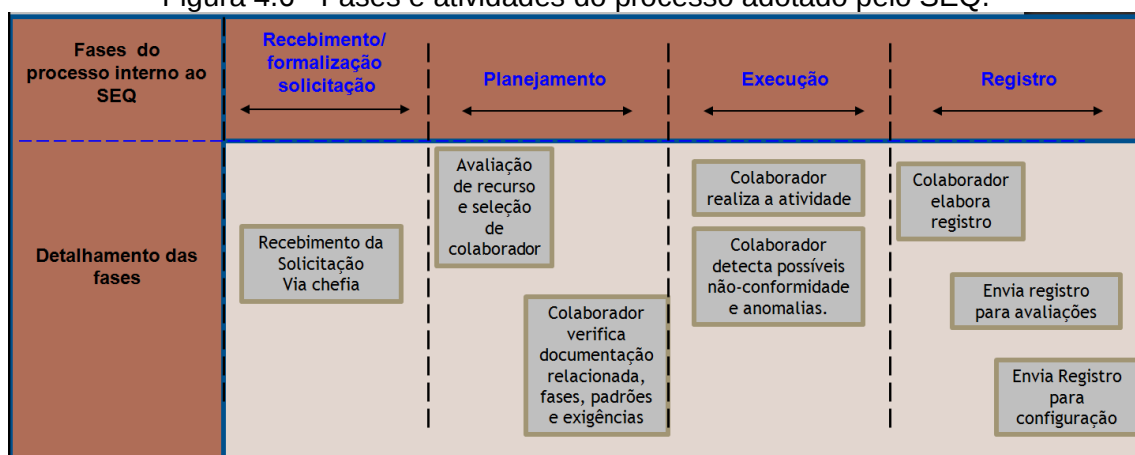
Fonte: Silva (2017).

Todos os grupos do SEQ trabalham em uma estrutura matricial. Para a distribuição das atividades, seleciona-se um responsável pela Garantia do Produto - GP para o programa. Em seguida são alocados os responsáveis por subsistema e seus respectivos substitutos. Procura-se manter a coerência entre as atribuições e os responsáveis por subsistema de cada programa.

4.1.2.3 Fases e atividades da garantia do produto no âmbito do INPE

A Figura 4.6 ilustra as fases e atividades identificadas no processo do SEQ de recebimento das demandas internas. As atividades realizadas durante as fases do projeto devem ser continuamente monitoradas e devem ser cuidadosamente revisadas, em revisões específicas do projeto ao nível de sistema, subsistema e equipamento.

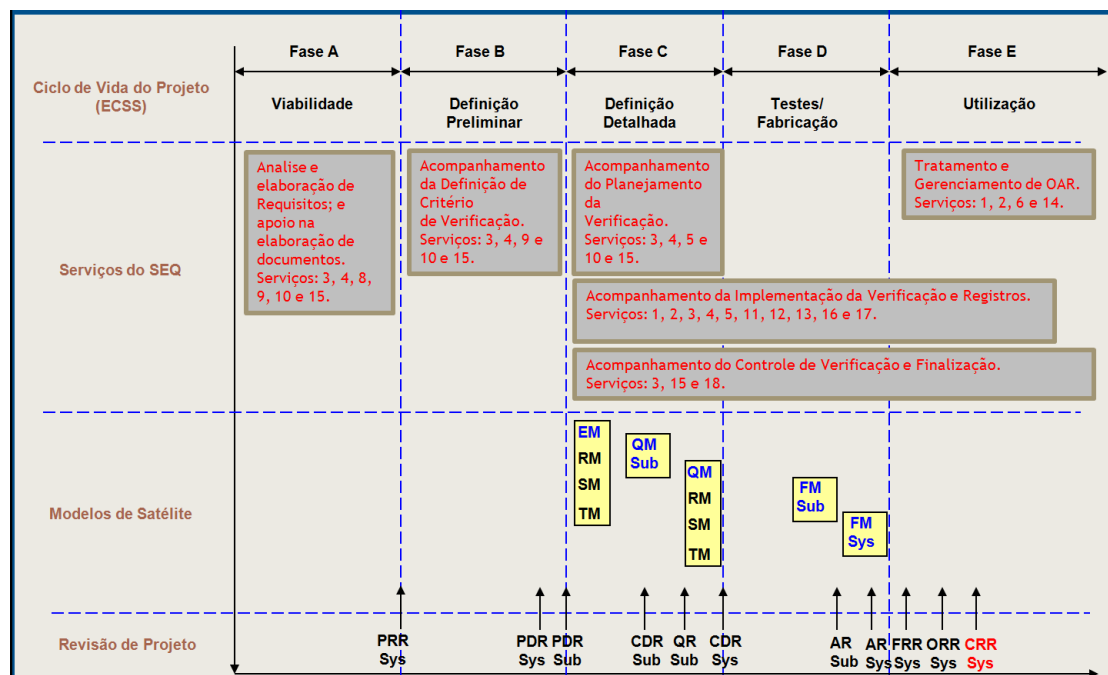
Figura 4.6 - Fases e atividades do processo adotado pelo SEQ.



Fonte: Silva (2017).

A Figura 4.7, cf. Silva (2017), adaptada de figura constante no documento INPE (2005), mostra os processos de verificação realizados pelo SEQ com foco na garantia do produto, os modelos dos itens e as revisões adotadas pelo programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), para o nível de sistema e de subsistema.

Figura 4.7 - Atividades do SEQ durante as fases dos projetos de satélites do INPE (sistemas e subsistemas).



Fonte: Adaptada de INPE (2005).

4.1.2.4 Disciplinas da garantia do produto no âmbito do INPE

As disciplinas são as mesmas da missão EQUARS.

Conforme a ECSS (2008), o gerenciamento da garantia do produto garante a integração das disciplinas da garantia de produto e suas atividades, sendo essas disciplinas: Q-20: Garantia de qualidade; Q-30: Confiabilidade; Q-40: Segurança; Q-60: Componentes elétricos, eletrônicos, eletromecânicos (EEE); Q-70: Materiais, peças mecânicas e processos; e Q-80: Software.

4.1.2.5 Processos da garantia do produto no âmbito do INPE

O Capítulo 4 da Dissertação de Mestrado de Silva (2017) apresenta de forma detalhada as atividades, processos e atuação da Garantia do Produto do INPE. Em sua Dissertação esses assuntos são explorados de forma aprofundada.

A Tabela 4.2 apresenta os serviços realizados pelo SEQ/ INPE. Baseados nesses serviços, os processos internos principais são elaborados.

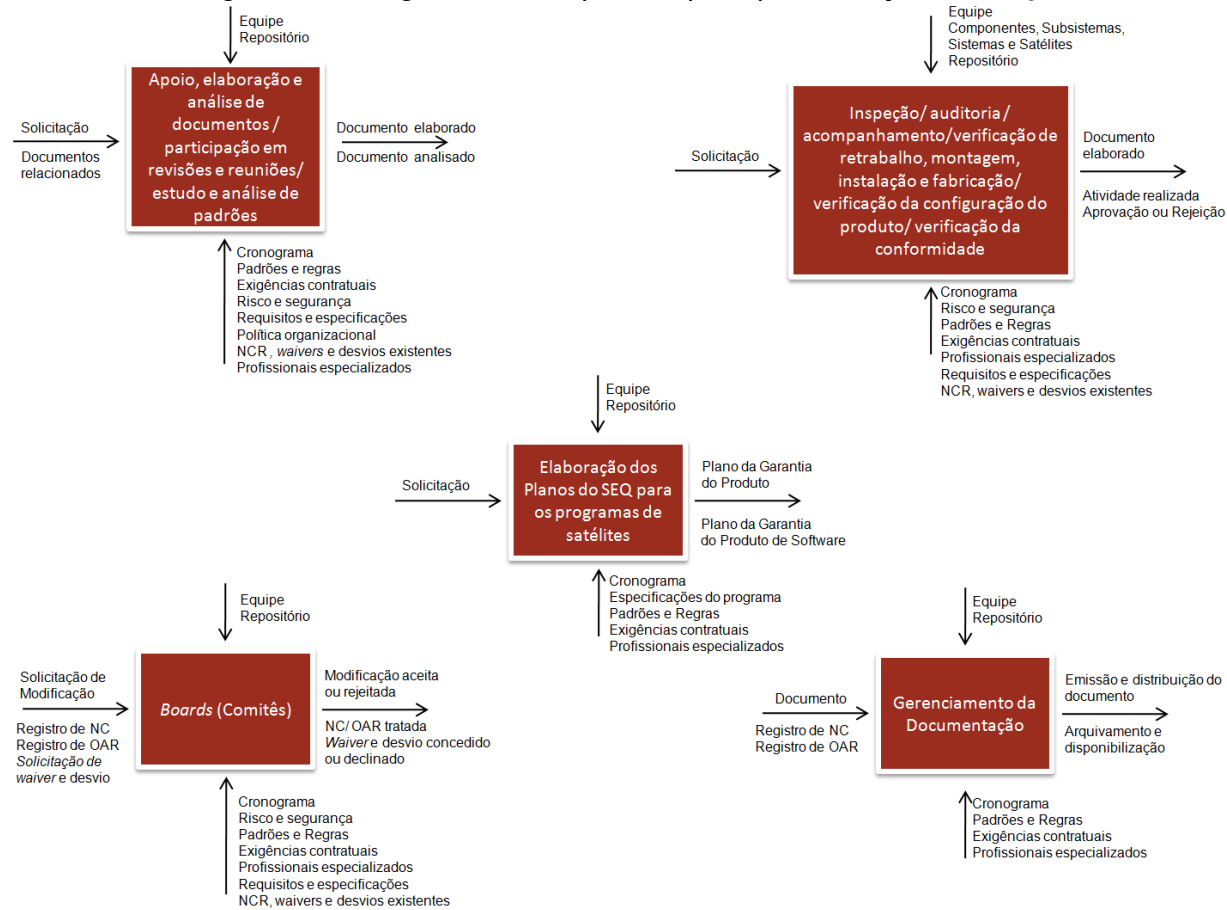
Tabela 4.2 - Serviços realizados pelo SEQ/ INPE.

Serviços
1. Estudo e análise de padrões
2. Verificação da conformidade
3. Participações em revisões e reuniões técnicas e gerenciais
4. Análise a avaliação de documentos
5. Auditorias
6. Apoio à áreas do INPE
7. Elaboração de documentos internos
8. Elaboração de requisitos da garantia do produto
9. Elaboração de planos para os programas da ETE
10. Apoio na elaboração de documento dos programas da ETE
11. Realização de inspeções
12. Detecção de não-conformidade
13. Gerenciamento e tratamento de NC, waiver e desvios
14. Gerenciamento e tratamento de OAR
15. Controle e gerenciamento da documentação
16. Acompanhamento de testes
17. Verificação de retrabalho, montagem, instalação e fabricação
18. Verificação e controle de configuração dos produtos espaciais dos programas da ETE

Fonte: Adaptada de Silva (2017).

A Figura 4.8 apresenta os diagramas IDEF0 para os principais processos.

Figura 4.8 - Diagrama IDEF0 para os principais serviços do SEQ.



Fonte: Silva (2017).

4.1.2.6 Documentos principais da garantia do produto no âmbito do INPE

Na Tabela 4.3 são apresentados alguns documentos importantes para a garantia do produto do INPE. A lista completa seria extensa, porém aqui são mostrados apenas alguns documentos para exemplificar.

Tabela 4.3 - Exemplo de documentos importantes a serem seguidos pela garantia do produto do INPE.

SESEQ-Q-DDD-00005 V01 (INPE 2018)	Procedimento de Processos do Grupo de Engenharia do Produto	INPE/ SEQ	Estabelece o procedimento dos processos do Grupo de Engenharia do Produto do INPE/ SEQ.
SESEQ-Q-DDD-00008 V01 (INPE 2017b)	Procedimento e Registro de Fabricação	INPE/ SEQ	Estabelece o procedimento de como realizar os registros de fabricação acompanhados pelo INPE/ SEQ.
SESEQ-Q-DDD-00009 V01 (INPE 2017a)	Procedimento e Registro de Ensaio	INPE/ SEQ	Estabelece o procedimento de como realizar os registros de ensaios acompanhados pelo INPE/ SEQ.
SESEQ-E-PRC-00199 V01 (INPE 2019e)	Product Engineering Procedure for INPE Missions - Space Segment	INPE/ SEQ	Estabelece o procedimento da Engenharia do Produto para as missões espaciais do INPE.

Fonte: Autora.

4.1.3 Garantia de Missão no âmbito da AEB

Conforme AEB (2020):

A Agência Espacial Brasileira (AEB) é uma autarquia vinculada ao MCTI. Tendo como missão capacitar o País para desenvolver a ciência e utilizar tecnologias espaciais para a solução de problemas nacionais em benefício da sociedade brasileira, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida por meio da geração de riqueza e

oferta de empregos, da ampliação da consciência sobre o território nacional e da melhor percepção e gestão ambiental.

De acordo com AEB (2020), a AEB atua na:

implementação da Política e do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNDAE e PNAE); coordenação do Sistema Nacional das Atividades Espaciais (SINDAE); promoção do desenvolvimento industrial de bens e serviços, da pesquisa e inovação, de recursos humanos e das relações internacionais para o setor espacial; e certificação, normalização e fiscalização das atividades espaciais no Brasil.

4.1.3.1 Procedimento da garantia de missão no âmbito da AEB

A Portaria N° 857, de 25 de maio de 2022, AEB (2022a), estabelece o Procedimento para Seleção e Adoção de Missões Espaciais no âmbito da Agência Espacial Brasileira.

De acordo com AEB (2022a) um procedimento importante relacionado a garantia de missão por parte da AEB é intitulado de “Procedimento para Seleção e Adoção de Missões Espaciais (ProSAME)”, sendo uma sistemática que é utilizada para definir e para selecionar as missões espaciais adotada e executada no âmbito do PNAE 2022-2031.

Para a AEB (2022a), cada nova proposta de missão espacial que visa recursos provenientes da AEB deve seguir um fluxo de atividades previsto visando estabelecer a viabilidade técnica e a aderência ao PNAE 2022-2031. As propostas de missões espaciais evoluem em cada etapa desse processo, reduzindo as incertezas e ampliando as suas chances de adoção pela AEB.

O primeiro passo e a porta de entrada para o ProSAME é a **Carteira de Admissão**, que, sob coordenação da AEB, agrega propostas em estágios iniciais.

Após a primeira etapa, sendo ela a homologação na Carteira de Admissão, as propostas são disponibilizadas para seleção à Carteira de Qualificação.

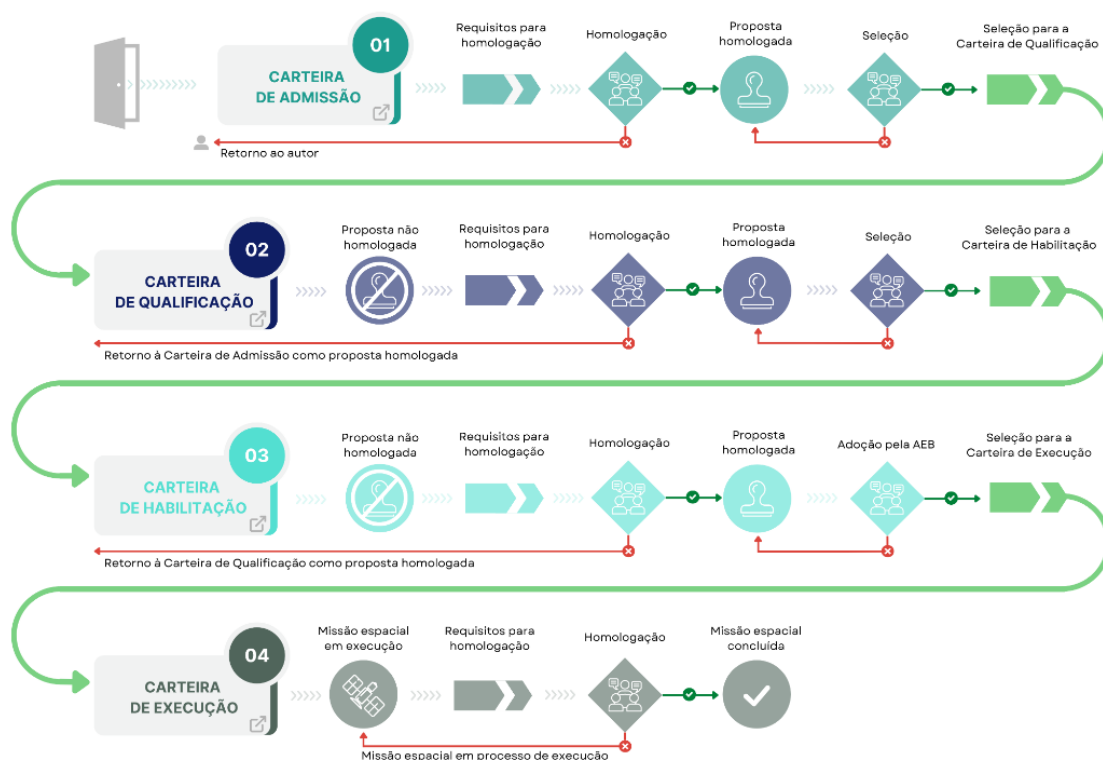
De acordo com AEB (2022a), na **Carteira de Qualificação**, as iniciativas são submetidas a processos que compreendem, dentre eles: análises, estudos, proposições e ações como vistas para avaliar as viabilidades técnicas.

Avançando o processo de qualificação, as propostas são disponibilizadas para seleção à **Carteira de Habilitação**. Nela é possível avaliar a disponibilidade de recursos envolvidos na execução da missão, bem como a aderência a instrumentos de planejamento do setor espacial.

Conforme AEB (2022a), ao final desse procedimento tem-se a adoção oficial pela AEB, onde a missão espacial contará com a manutenção de orçamento federal. A adoção oficial ocorrerá somente após a conclusão positiva dos estudos de definição e de viabilidade da proposta, juntamente com o delineamento do processo de produção e de suas fases de detalhamento e qualificação. Após a adoção de uma determinada proposta como missão espacial, a AEB a insere na sua **Carteira de Execução**, comprometendo-se com a sua entrega.

A Figura 4.9 ilustra o fluxo do procedimento para seleção e adoção de missões espaciais pela AEB.

Figura 4.9–ProSAME.



Fonte: AEB (2022b).

4.1.3.2 Documentos principais da garantia de missão no âmbito da AEB

A Tabela 4.4 lista os documentos importantes da garantia de missão no âmbito da AEB.

Tabela 4.4- Documentos importantes da garantia de missão no âmbito da AEB.

Portaria Nº 62, de 9 de maio de 2017 (AEB 2017)	Política de Gestão de Risco e Controles Internos da Gestão	AEB	Fica aprovada a Política de Gestão de Riscos e Controles Internos da Gestão da Agência Espacial Brasileira AEB.
Portaria Nº 756, de 29 de dezembro de 2021 (AEB 2021c)	Programa Nacional de Atividades Espaciais - PNAE - 2022-2031	AEB	Descreve o programa nacional de atividades espaciais no período de 2022 a 2031.

(Continua)

Tabela 4.4- Conclusão.

A Portaria Nº 857 , de 25 de maio de 2022 (AEB 2022a)	o Procedimento para Seleção e Adoção de Missões Espaciais no âmbito da Agência Espacial Brasileira	AEB	Descreve o procedimento para seleção e adoção de missões espaciais pela AEB.
DIEN-REB01 (AEB 2021a)	REGULAMENTO ESPACIAL BRASILEIRO (REB) Parte - 01 Licença de Operador de Lançamento	AEB	O objetivo deste regulamento é instituir procedimentos e estabelecer requisitos sobre procedimentos para requerimento, avaliação, expedição, controle, acompanhamento e fiscalização de Licença de Operador de Lançamento para aprovar a execução de atividades espaciais e de lançamento no território brasileiro, sem ainda conferir a liberação para condução de operações de lançamento espacial.
DIEN-REB02 (AEB 2021b)	REGULAMENTO ESPACIAL BRASILEIRO (REB) Parte - 02 Autorização de Lançamento	AEB	O objetivo deste regulamento é definir as normas necessárias para obtenção de Autorização de Lançamento em território brasileiro. Anexo A: Geral; Anexo B: Requisitos para obtenção de Autorização de Lançamento; Anexo C: Tópicos relativos à segurança; Anexo D: Termos e Condições de uma Autorização de Lançamento; e Anexo E: Tabelas de Referência

Fonte: Autora.

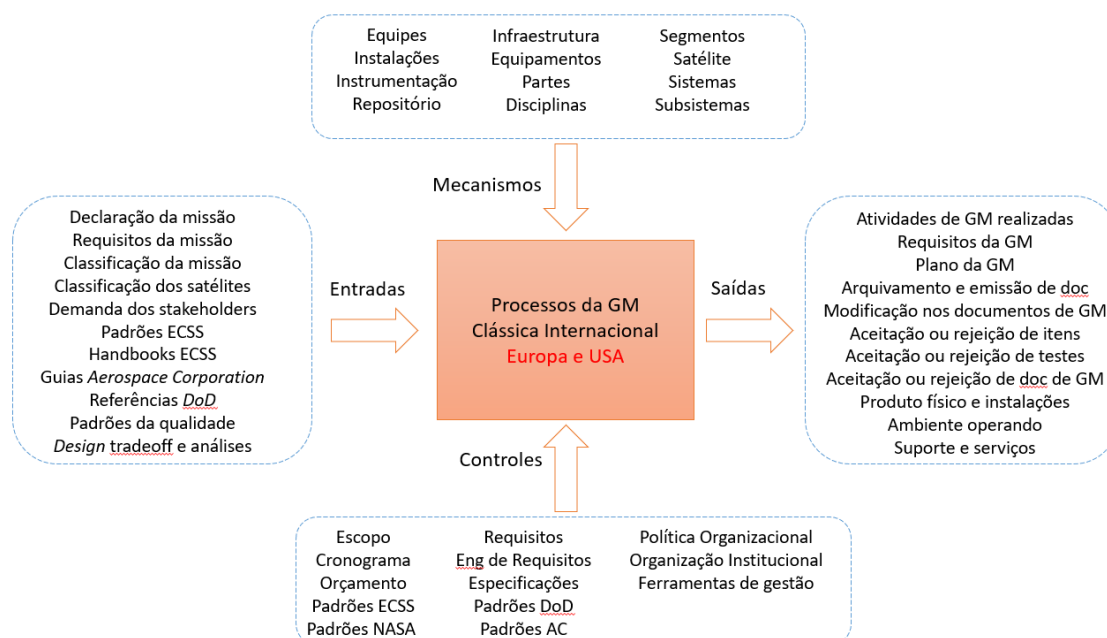
O Capítulo 5 dará continuidade aos estudos sobre Garantia de Missão, mas nesse caso para o cenário internacional.

5 GARANTIA DE MISSÃO CLÁSSICA NO CENÁRIO INTERNACIONAL

Este capítulo apresenta a garantia de missão clássica no cenário internacional. Foram estudadas as instituições americanas: *Aerospace Corporation*, NASA e DoD. Já na Europa estudou-se a ESA. Pelos motivos relatados anteriormente.

A Figura 5.1 apresenta um diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM Clássica Internacional (USA e Europa), resumindo os principais elementos envolvidos. No decorrer do capítulo serão abordados esses elementos.

Figura 5.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM Clássica Internacional (USA e Europa).



Fonte: Autora.

5.1 Classificação de risco de missão para a Segurança Espacial Nacional (NSS) americana

O documento intitulado “*Mission Risk Planning and Acquisition Tailoring Guidelines for National Security Space Vehicles*” (AEROSPACE CORPORATION, 2011b) descreve um processo para estabelecer classes de risco de missão de veículo espacial e/ou carga útil e uma estratégia de

implementação de aquisição para definir requisitos para sistemas de Segurança Espacial Nacional (*National Space Security* - NSS).

De acordo com Aerospace Corporation (2011a), o estabelecimento da classificação é importante, pois antecipar a aceitação do risco fornece a base para que os gerentes de programas e projetos do governo comuniquem efetivamente o nível aceitável de risco para desenvolver e implementar requisitos contratuais e estratégias de gerenciamento de risco apropriados. Os critérios são definidos para quatro níveis de classificação de risco da missão (ou seja, A, B, C e D) em função de vários parâmetros. Toda a missão é conduzida de acordo com a classificação previamente estabelecida.

O documento Aerospace Corporation (2011a) estabelece os perfis/as características das classes de risco de missão para definir uma hierarquia de combinações de risco para a empresa de sistemas espaciais dos EUA. As características das classes na Figura 5.2 examinam os principais indicadores programáticos e de missão com considerações de classe de missão correspondentes. No documento ,Aerospace Corporation (2011a), a tabela é seguida pelo resumo das características de cada classe. Pode-se observar que nenhuma dessas características é absoluta. Ele retrata os perfis/as características representativas exibidas pelas classes de risco.

Figura 5.2 - Perfis/características das classes de risco da missão.

Characteristic	Class A	Class B	Class C	Class D
Risk Acceptance	Minimum Practical	Low Risk	Moderate Risk	Higher Risk
National Significance	Extremely Critical	Critical	Less Critical	Not Critical
Payload type	Operational	Operational or Demo Op	Exploratory or Experimental	Experimental
Acquisition costs	Highest Lifecycle Cost (LCC)	High LCC	Medium LCC	Lowest, LCC
Complexity	Very high – High	High – Medium	Medium – Low	Low - Medium
Mission Life	>7 years	≤7 years	≤4 years	< 1 yrs
Cost	High	High to Medium	Medium - Low	Low
Launch Constraints	Critical	Medium	Few	Few - None
Alternatives	None	Few	Some	Significant
Mission Success	All practical measures	Stringent/minor compromises	Reduced mission assurance standards	Few mission assurance standards
Typical Contract Type	Cost Plus Award Fee (CPAF)*	CPAF-Firm Fixed Price (FFP)	Cost Plus (CP)-FFP	FFP

Fonte: Aerospace Corporation (2011a).

5.2 Abordagem de balanceamento de riscos para as missões espaciais considerando a NSS

O documento Aerospace Corporation (2011a) introduz o conceito de balanceamento de riscos, que dá suporte ao processo de avaliação crítica.

Para Aerospace Corporation (2011a), o objetivo desta discussão de equilíbrio de riscos é estabelecer as bases para o gerenciamento da aplicação de uma aquisição baseada em riscos orientada por dados. O conceito de equilíbrio de riscos no contexto de minimizar o risco para o sucesso da missão é ilustrado na Figura 5.3. Tal figura identifica as quatro classes de risco da missão, desde o risco prático mínimo da Classe A até o risco mais alto da Classe D. O eixo vertical do gráfico de colunas representa a exposição total ao risco.

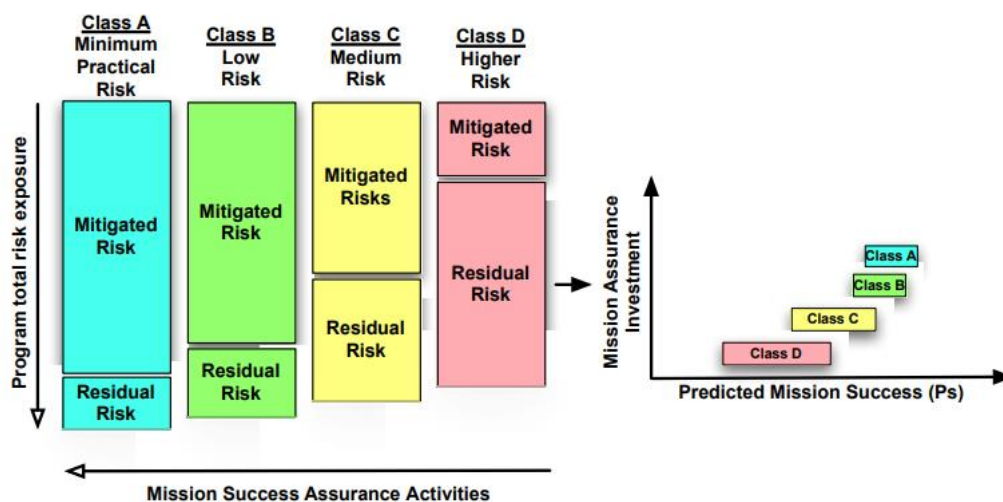
A exposição total ao risco para **Classe A** normalmente é maior devido a fatores como a duração da missão para missões nacionais (considerando a NSS). O eixo horizontal do gráfico de colunas representa o nível de atividades de garantia de missão realizadas. Os programas de classe A fazem todo o possível para eliminar os riscos. A atividade de GM para mitigação de riscos do programa é grande para deixar o **risco residual**, i.e., após a mitigação, tão baixo quanto possível.

Os programas de **Classe B** ainda têm atividades de GM significativas para mitigação de riscos do programa, com apenas uma pequena redução nas atividades de garantia ao longo do ciclo de vida. O risco residual aceito é maior do que para programas de Classe A, mas normalmente a incerteza do risco é compreendida.

A **Classe C** tem menos atividades de GM para mitigação de riscos e consideravelmente mais riscos residuais. Por exemplo, as missões de Classe C são tipicamente de uma única sequência.

A **Classe D** tem o menor número de atividades de GM para mitigação de riscos e o maior risco residual. O foco das missões de Classe D é tipicamente experimental.

Figura 5.3 - Resumo da abordagem pelo balanceamento de riscos.



Fonte: Aerospace Corporation (2011a).

5.3 Garantia de Missão no âmbito da Aerospace Corporation

De acordo com Aerospace Corporation (2020), a Aerospace Corporation é uma instituição sem fins lucrativos sediada em El Segundo, Califórnia, EUA que funciona como uma *Federally Funded Research and Development Center* (FFRDC). A empresa tem o propósito de fornecer orientação técnica e aconselhamento sobre aspectos relacionados às missões espaciais para clientes militares, civis e comerciais com o objetivo de garantir o sucesso da missão espacial.

A *Aerospace Corporation* contribui para a segurança nacional dos Estados Unidos, trabalhando em estreita colaboração com organizações como a Força Aérea e o Centro para Sistemas Espaciais e de Mísseis (*Space and Missile Systems Center* - SMC) e o Escritório Nacional de Reconhecimento (*National Reconnaissance Office* - NRO). A empresa trabalhou em alguns dos primeiros programas de reconhecimento do espaço, incluindo os programas de satélites Discovery, Corona e no precursor do GPS (Projeto 621B).

Cf. Wikipedia (2020), o SMC e o NRO são os principais clientes da Aerospace Corporation que também trabalha com agências civis, bem como organizações internacionais e governos no interesse nacional.

5.3.1 Escopo da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation

Segue o mesmo escopo assumido pela NASA, constante na Seção 5.4.1.

5.3.2 Organização da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation

Visto na Seção 2.5 deste trabalho.

5.3.3 Fases da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation

Segue as fases assumidas pela NASA, constantes na Seção 5.4.3.

5.3.4 Disciplinas da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation

Vistas na Seção 2.5 deste trabalho.

5.3.5 Processos da garantia de missão no âmbito da Aerospace Corporation

Vistos na Seção 2.5 deste trabalho. Também podem ser vistos resumidamente na Figura 5.4.

Figura 5.4 - Resumo dos processos da GM no âmbito da Aerospace Corporation.

Category	Process
1. Program Execution	(1) Design Assurance (2) Requirement Analysis and Validation (3) Parts, Materials and Processes (4) Environmental Compatibility (5) Reliability Engineering (6) System Safety (7) Configuration/Change Management (8) Integration, Test and Evaluation
2. Risk, Oversight and Assurance	(9) Risk Assessment and Management (10) Independent Reviews (11) Hardware Quality Assurance (12) Software Assurance (13) Supplier Quality Assurance
3. Triage, Information and Lessons Learned	(14) Failure Review Board (15) Corrective/Preventative Action Board (16) Alerts, Information Bulletins

Fonte: Aerospace Corporation (2011b).

5.3.6 Documentos principais da garantia no âmbito da Aerospace Corporation

De acordo com Aerospace Corporation (2011a), os documentos de referência que fornecem diretrizes para o gerenciamento de riscos em todas as classes de missão estão resumidos na Tabela 5.1. Eles estabelecem uma abordagem de classificação de perfil de risco de missão espacial em quatro níveis, onde os atributos técnicos e de gerenciamento de programas são estabelecidos para o intervalo de missões espaciais dos EUA abrangendo deA – alta prioridade/mínimo risco prático (por exemplo, alta prioridade nacional) para D - tolerância de baixa prioridade/alto risco (por exemplo, custo mínimo de aquisição).

Este sistema de classificação foi criado para correlacionar os atributos da missão com a tolerância ao risco admissível e facilitar um entendimento comum de muitos elementos do desenvolvimento planejado e dos processos de garantia da missão. A NASA segue a classificação de risco para a maioria de suas aquisições e atribui a classe de risco a uma categoria de missão específica, como missões principais, de descoberta e de exploração.

Tabela 5.1 - Guias de classificação de riscos existentes , cf. a Aerospace Corporation, DoD, NASA.

TOR-2011(8591)-21 (AEROSPACE CORPORATION, 2011a)	<i>Mission Assurance Guidelines for A-D Mission Risk Classes</i>	Aerospace Corporation	Define práticas típicas para garantir o sucesso da missão nas classes de risco da missão (A, B, C ou D). Os perfis de classe de risco da missão estão associados a problemas técnicos e de qualidade que afetam o sucesso da missão. O risco de execução associado ao custo e cronograma do programa de aquisição é abordado apenas indiretamente neste documento. Este documento examina cada uma das classes de risco de missão seguida por uma avaliação crítica dos processos comuns de garantia de missão que são recomendados como um conjunto essencial necessário para fornecer garantia de missão eficaz para os programas de veículos espaciais dos EUA
--	--	-----------------------	---

(Continua)

Tabela 5.1 - Conclusão.

DOD-HBDK-343 (DoD. 2012)	<i>Design, Construction, and Testing Requirements for One of a Kind Space Equipment</i>	Aerospace Corporation	Requisitos técnicos e de programa para projeto, construção e teste de várias classes de equipamentos espaciais. Define quatro classes, sendo elas de A-D. Os requisitos são uma combinação daqueles que foram considerados econômicos para programas espaciais únicos.
TOR-2011(8591) – 5 (AEROSPACE CORPORATION, 2011b)	<i>Mission Risk Planning and Acquisition Tailoring Guidelines for National Security Space Vehicles</i>	Aerospace Corporation	Estabelece a adaptação de classe de missão dos documentos de conformidade e fornece orientação de adaptação específica para os documentos, a fim de mapear os melhores requisitos no espectro de aquisições. Define quatro classes de risco de missão.
NASA NPR 8705.4 (NASA, 2018a)	<i>Risk Classification for NASA Payloads</i>	NASA	Estabelece critérios de linha de base que definem o nível de classificação de risco para cargas úteis da NASA e sistemas de lançamento não humanos ou veículos transportadores, a filosofia de <i>design</i> e teste e as práticas de garantia comuns aplicáveis a cada nível. Utiliza a mesma abordagem de Classe A-D descrita em DoD HDBK-343.

Fonte: Autora.

5.4 Garantia de Missão no âmbito da NASA

Nesta Seção será explorada a garantia de missão no âmbito da NASA.

5.4.1 Escopo da garantia de missão no âmbito da NASA

De acordo com NASA (2020b), o *Office of Safety and Mission Assurance* (OSMA) garante a segurança (contra acidentes e contra intrusões) e aumenta o sucesso das atividades da NASA por meio do desenvolvimento, implementação e supervisão de políticas e procedimentos de segurança, confiabilidade, manutenção e garantia de qualidade em toda a agência. O OSMA inclui a

Divisão de Padrões e Garantia de Missão, Divisão de Avaliação de Missões e Programas, Divisão de Gerenciamento de Segurança Institucional e Centro de Segurança da NASA, bem como o Programa Independente de Verificação e Validação.

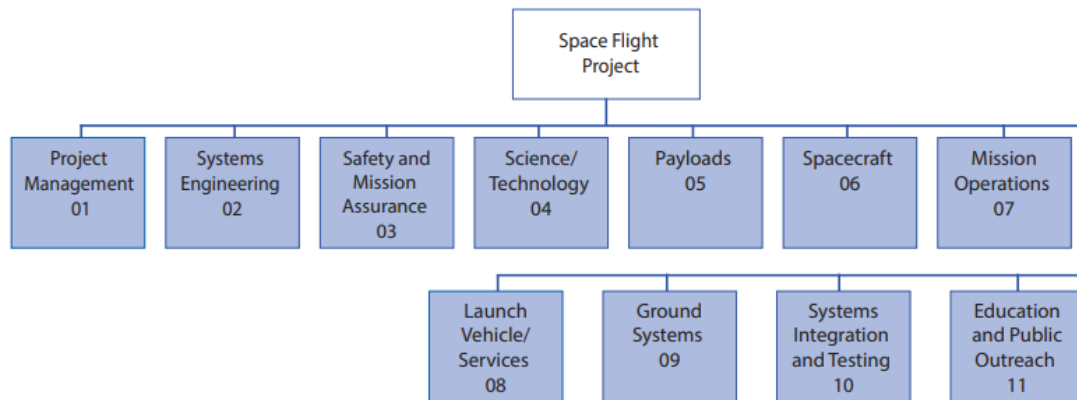
Para NASA (2020), o OSMA é responsável por:

- estabelecer e garantir a conformidade com as estratégias, políticas e padrões de Segurança e Garantia da Missão estabelecidos pela NASA;
- promover a integração precoce e a implementação do ciclo de vida de Segurança, Confiabilidade, Manutenção e Garantia de Qualidade nos programas e operações da NASA;
- melhorar as metodologias para identificação e avaliação de riscos e fornecer recomendações para mitigação e aceitação de riscos;
- realizar de avaliações de segurança e garantia de missão independentes; e análises para verificação de processo;
- fornecer de análises e recomendações para decisões envolvendo a segurança da agência; e
- patrocinar a inovação e a transferência rápida de tecnologias, processos e técnicas de Segurança, Confiabilidade e Manutenção e GQ para melhorar a segurança e a confiabilidade, assim reduzir o custo do sucesso da missão.

De acordo com NASA (2020b), a NASA (OSMA) possui um conjunto de Diretivas, requisitos, padrões, handbooks e guias para conduzir as atividades de segurança e garantia das missões espaciais. Uma parte desse conteúdo está disponível em meio digital no site do escritório (<https://standards.nasa.gov/standard/osma/nasa-gb-871913>), NASA (2020b); e no site da sua *Mission Assurance Standards and Capabilities Division* (MASCD), NASA (2020c).

A Figura 5.5 apresenta os elementos padrão para os projetos espaciais da NASA.

Figura 5.5 - Elementos padrão dos projetos espaciais da NASA.

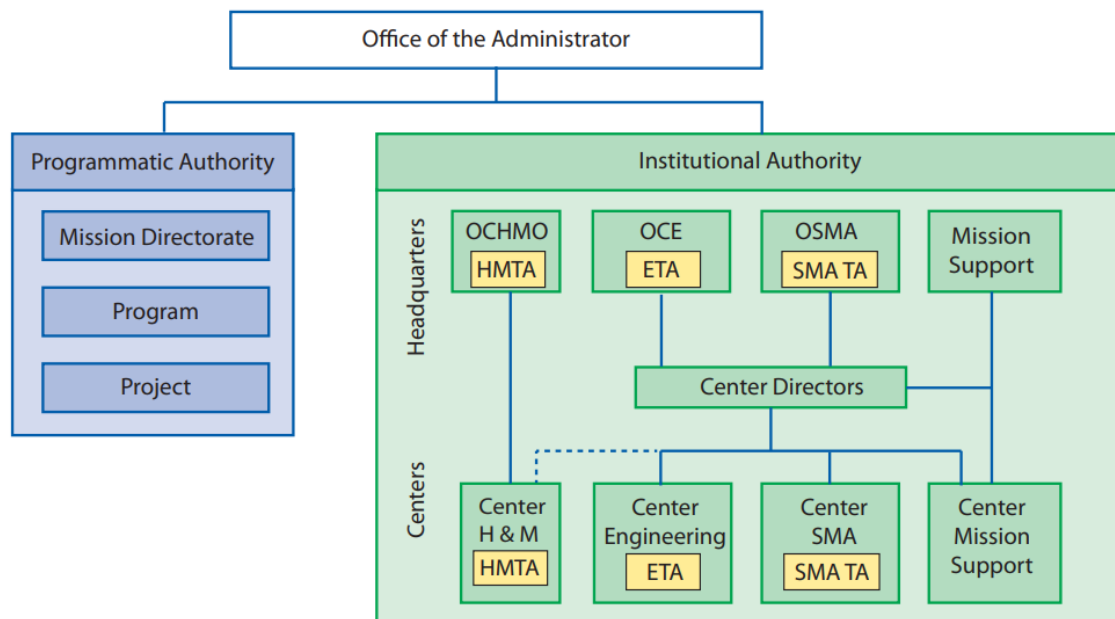


Fonte: NASA (2014).

A

Figura 5.6 apresenta as autoridades programáticas e institucionais para os projetos espaciais da NASA.

Figura 5.6 - Autoridades programáticas e institucionais da NASA.



Legend: ---- indicates that not all Centers have HMTA. Sometimes that function is served by Engineering and SMA TAs.

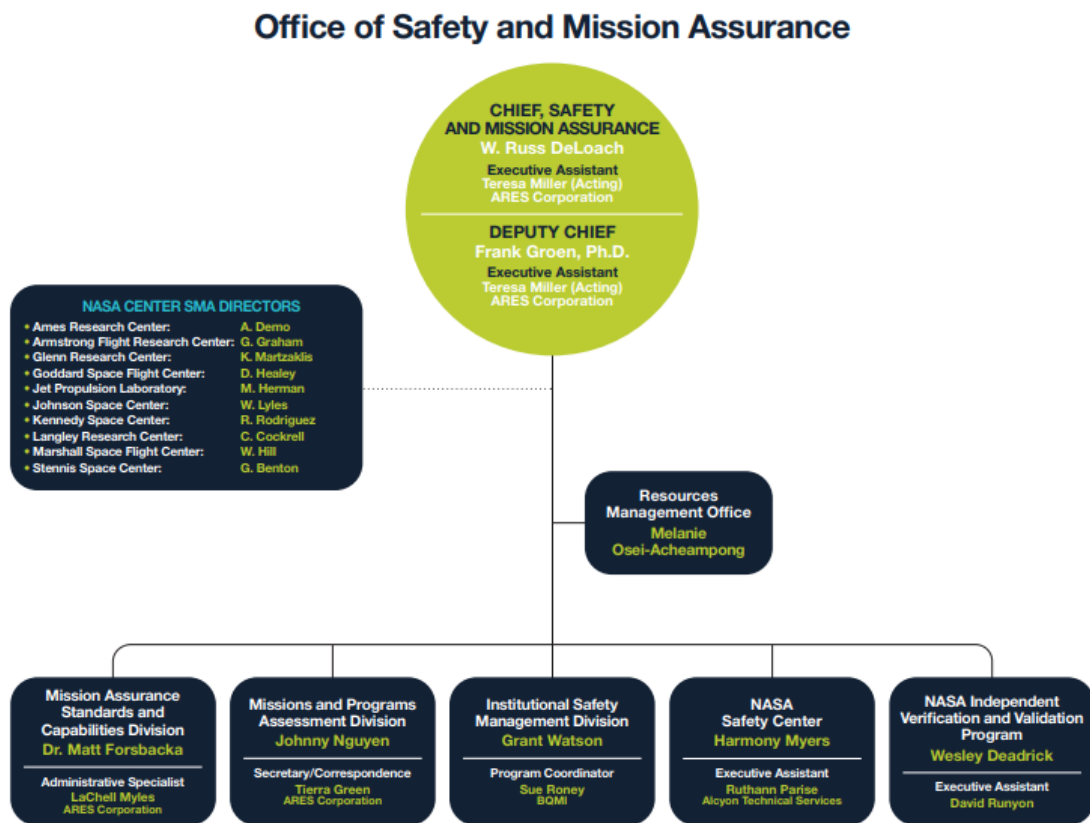
Acronyms: OCE = Office of the Chief Engineer; OCHMO = Office of the Chief Health and Medical Officer; OSMA = Office of Safety and Mission Assurance; TA = Technical Authority.

Fonte: NASA (2014).

5.4.2 Organização da garantia de missão no âmbito da NASA

Figura 5.7 apresenta a organização do escritório de segurança e garantia de missão da NASA e seus responsáveis de forma a exemplificá-lo.

Figura 5.7 - Organização do escritório de segurança e garantia de missão da NASA.

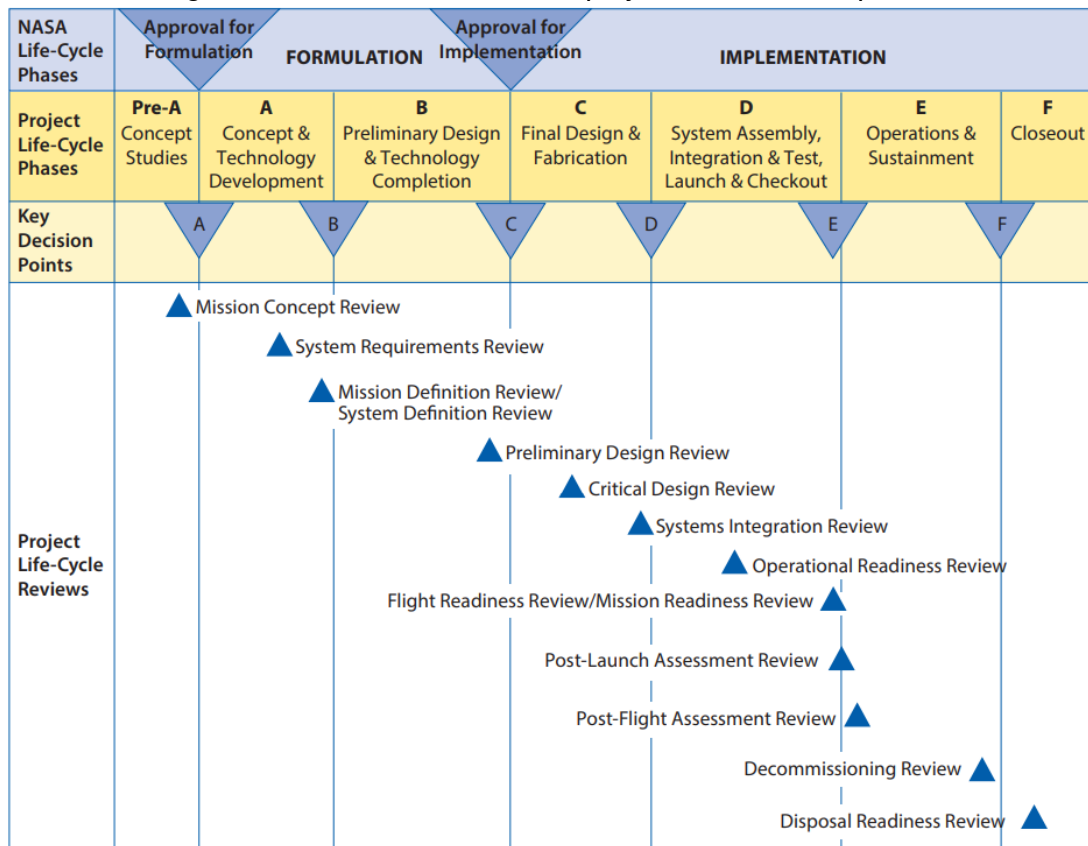


Fonte: NASA (2020b).

5.4.3 Fases no âmbito de garantia de missão para a NASA

A Figura 5.8 apresenta o ciclo de vida de um projeto da NASA simplificado, de forma a mostrá-lo sem muitos detalhes.

Figura 5.8 - Ciclo de vida de um projeto da NASA simplificado.



Fonte: NASA (2014).

5.4.4 Classificação de risco de missão no âmbito da NASA

A Tabela 5.2 apresenta a classificação de risco de missão no âmbito da NASA baseada nas cargas úteis (*payloads*); e exemplos de missões que se enquadram nas devidas classes. A classificação apresenta 4 níveis variando de A a D.

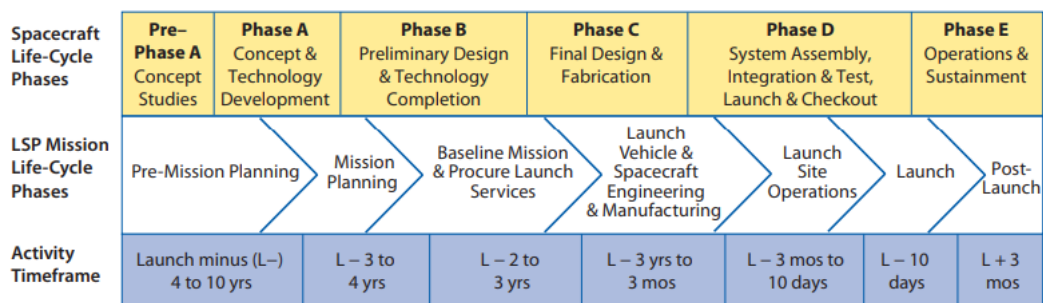
Tabela 5.2 - Classificação de risco de missão no âmbito da NASA baseada nas cargas úteis (*payloads*).

Characterization	Class A	Class B	Class C	Class D
Priority (Criticality to Agency Strategic Plan)	High priority	High priority	Medium priority	Low priority
National significance	Very high	High	Medium	Low to medium
Complexity	Very high to high	High to medium	Medium to low	Medium to low
Mission Lifetime (Primary Baseline Mission)	Long, > 5 years	Medium, 2-5 years	Short, < 2 years	Short, < 2 years
Cost	High	High to medium	Medium to low	Low
Launch Constraints	Critical	Medium	Few	Few to none
In-Flight Maintenance	N/A	Not feasible or difficult	Maybe feasible	May be feasible and planned
Alternative Research Opportunities or Re-flight Opportunities	No alternative or re-flight opportunities	Few or no alternative or re-flight opportunities	Some or few alternative or re-flight opportunities	Significant alternative or re-flight opportunities
Examples	HST, Cassini, JIMO, JWST	MER, MRO, Discovery payloads, ISS Facility Class Payloads, Attached ISS payloads	ESSP, Explorer Payloads, MIDEX, ISS complex subrack payloads	SPARTAN, GAS Can, technology demonstrators, simple ISS, express middeck and subrack payloads, SMEX

Fonte: NASA (2018a).

A Figura 5.9 apresenta o ciclo de vida da missão juntamente com sua interação com o projeto e os tempos das atividades.

Figura 5.9 - Ciclo de vida da missão para interação com o projeto.



LSP- NASA Launch Services Program.

Fonte: NASA (2014).

5.4.5 Divisões da garantia de missão no âmbito da NASA

O *Office of Safety and Mission Assurance* (OSMA) inclui a *Mission Assurance Standards and Capabilities Division* (MASCD), a *Missions and Programs Assessment Division* (MPAD), a *Institutional Safety Management Division* (ISMD) e o *NASA Safety Center* (NSC), bem como a Instalação Independente de Verificação e Validação (IV&V).

5.4.6 Processos da garantia de missão no âmbito da NASA

Os satélites são soluções de engenharia para a missão em si, então quanto se trata de processos da garantia de missão para satélites de pequeno e médio porte no âmbito da NASA adota-se o material produzido pela indústria (Aerospace Corporation). Esse material está alinhado à filosofia das missões da NASA. Pois a missão em si será gerenciada pela NASA, porém a fabricação desses itens será feita pela indústria. Resumidamente, os processos de garantia de missão para satélites de pequeno e médio porte da NASA são os mesmos elencados pelos documentos da Aerospace Corporation, vistos no texto acima deste capítulo.

5.4.7 Documentos principais da garantia de missão no âmbito da NASA

A Tabela 5. apresenta alguns dos principais documentos relacionados à garantia de missão no âmbito da NASA.

Tabela 5.3 - Alguns dos principais documentos relacionados à garantia de missão no âmbito da NASA.

NPD 8700.1F (NASA, 2022a)	<i>Policy for Safety and Mission Success</i>	NASA	Estabelece as políticas para garantir a segurança e o sucesso das missões da NASA.
NASA/SP-2014-3705 (NASA, 2014)	<i>NASA Space Flight Program and Project Management Handbook</i>	NASA	Este manual fornece orientação de implementação para o NPR 7120.5E, Programa de Voo Espacial da NASA e Requisitos de Gerenciamento de Projeto, que mudou e simplificou os principais requisitos processuais em toda a Agência para programa de voo espacial e gerenciamento de projeto.
NPR 8000.4B (NASA, 2022b)	<i>Agency Risk Management Procedural Requirements</i>	NASA	Este Procedimento da NASA (NPR) fornece os requisitos para gerenciamento de risco da Agência, suas instituições e seus programas e projetos conforme exigido pelo NPD 1000.0; NPD 7120.4; NPD 8700.1 e outras diretrizes da Agência. A gestão de riscos inclui dois processos complementares: Tomada de Decisões Informada sobre Riscos (RIDM) e Gestão Contínua de Riscos (CRM).
HOW 8700 GE 000035C (NASA, 2019)	<i>Management of the Safety and Mission Success Review (SMSR) Process</i>	NASA	Descreve como preparar as revisões preparadas e conduzidas pelo OSMA

(Continua)

Tabela 5.3 – Conclusão.

NPR 8705.4 (NASA, 2018a)	<i>Risk Classification for NASA Payloads</i>	NASA	Este NPR estabelece critérios de linha de base que permitem ao usuário definir o nível de classificação de risco para cargas úteis da NASA em sistemas de lançamento humanos ou não humanos ou veículos transportadores e a filosofia de design e teste e as práticas de garantia comuns aplicáveis a cada nível.
NASA-STD-8709.20 (NASA, 2010)	<i>Management of Safety and Mission Assurance Technical Authority (SMA TA) Requirements.</i>	NASA	Este padrão da NASA (NASA-STD) define os requisitos do processo para gerenciar a aplicação dos requisitos SMA da NASA.

Fonte: Autora.

5.5 Garantia de missão no âmbito do DoD

Nesta seção são apresentados itens importantes sobre garantia de missão no âmbito do DoD.

5.5.1 Avaliações independentes e equipes

De acordo com Department of Defense (2012), na década de 1980, os regulamentos da Força Aérea americana prescreviam revisões independentes para todos os propulsores e muitas missões de satélite. Equipes de revisão independentes compostas por pessoal da área aeroespacial, governamental e contratado revisavam cada missão, apresentavam uma avaliação de risco e, em seguida, se extinguíam. As equipes eram grandes e exigiam uma quantidade significativa de suporte de empreiteiros. Eles não tinham membros permanentes e os resultados de suas análises eram frequentemente compartilhados no final do processo de fluxo de lançamento. Se surgissem problemas significativos, as opções eram limitadas e caras.

Para o Department of Defense (2012), ao estabelecer as equipes de revisão formal, o *National Reconnaissance Office* (NRO) e o *Air Force Space and Missile Systems Center* (SMC) reconheceram a necessidade de um grupo central dedicado de pessoas que manteriam a continuidade durante as campanhas de lançamento. Essa continuidade permitiria que as equipes investigassem problemas específicos que requerem um alto grau de investigação, análise e revisão de dados. A afiliação permanente também reduziria o número de *briefings* de orientação que eram necessários cada vez que uma nova equipe era formada. O governo iniciou o planejamento orçamentário para garantir que as equipes seriam financiadas por vários anos e isso, por sua vez, estimulou compromissos de longo prazo de especialistas em veículos lançadores. Também promoveu uma melhor coordenação e integração com as contratadas dos veículos lançadores, o que levou à resolução antecipada e oportuna de problemas e à redução de atrasos de cronograma onerosos.

5.5.2 Pilares para a garantia da missão no âmbito do DoD

De acordo com Department of Defense (2012), a seguir são apresentados os 4 Pilares da Garantia de Missão para o DoD.

Pilar 1: Identificar e priorizar funções essenciais para as missões, seus recursos de apoio e capacidades.

O primeiro pilar da garantia da missão é a identificação e priorização de Funções Essenciais para as Missões (*Mission Essential Functions* - MEFs), seus recursos de apoio e capacidades. O DoD progrediu no desenvolvimento e implementação de processos de análise de missão e na análise de ativos e sistemas físicos e cibernéticos que oferecem suporte aos MEFs. Isso inclui alguns ativos fora do controle operacional do DoD - particularmente em relação à infraestrutura crítica. O processo de identificação desses ativos e recursos é comumente referido como "decomposição de missão", baseado em Department of Defense (2012).

A garantia da missão requer um processo comum de análise da missão como base para analisar o risco e fornecer proteção e resiliência adequadas de

recursos e identificação dos recursos essenciais. Essa estratégia irá alavancar e expandir a arquitetura de decomposição de missão existente definida pelas comunidades. Essa arquitetura de decomposição de missão está bem estabelecida, oferece suporte a uma estrutura de nível nacional e aplica um filtro “essencial à missão” a todas as funções do DoD. Além disso, os comandos e instalações operacionais revisam esta arquitetura em uma base rotineira como parte do planejamento operacional. Esforços adicionais para vincular o planejamento estratégico do Comando Combatente às capacidades fornecidas pelos Departamentos/ Serviços Militares e a construção atual de prontidão do DoD também devem ser realizados como parte desse esforço.

Pilar 2: desenvolver e implementar uma missão abrangente e integrada via uma metodologia e um processo de Gerenciamento de Risco e Garantia de Missão.

Conforme o documento Department of Defense (2012), uma metodologia e um processo de avaliação de risco abrangente, integrado e bem compreendido estão no cerne do conceito de garantia de missão. Complementarmente à estrutura de risco, as avaliações de risco e garantia de missão devem considerar as consequências da interrupção e a Probabilidade de ocorrência de um evento - o que será medido por uma análise de ameaças e vulnerabilidades. As avaliações de risco devem considerar uma ampla gama de ameaças e perigos, o status atual de mitigação, a urgência e volatilidade do quadro de risco total, pois todos esses fatores influenciam a tomada de decisão de mitigação. Os componentes devem desenvolver métricas que permitirão a comparação de riscos e permitem que a liderança em cada nível de tomada de decisão priorize as opções de mitigação de risco.

Segundo Department of Defense (2012), até 2012, o DoD carecia de uma metodologia consistente, padronizada e comumente aceita para sintetizar, analisar e integrar informações sobre ameaças, vulnerabilidades e consequências em todo o DoD. Cada componente individual e a disciplina de segurança tinham metodologias de avaliação de risco separadas que não eram vinculadas horizontal ou verticalmente. Isso resultava em esforços de avaliação

duplicados, uma imagem de risco incompleta e carga indevida sobre os proprietários de ativos.

De acordo com Department of Defense (2012), além disso, os esforços empregados para a avaliação de risco não levavam em conta de forma consistente ou sistemática os riscos que se originavam da dependência de ativos externos. Sem uma estrutura de gerenciamento de risco abrangente que usa metodologias que examinem as conexões com ativos de propriedade externa, como sistemas comerciais de distribuição de água, sistemas de transporte e a rede elétrica, os líderes podiam ignorar componentes que são críticos para a execução de seus MEFs e não conseguiam gerenciar o risco adequadamente.

Pilar 3: Use a tomada de decisão baseada nos riscos informados para otimizar as soluções de gerenciamento de riscos

Para Department of Defense (2012), os Pilares 1 e 2 fornecerão aos líderes seniores nos três níveis do DoD processos e ferramentas poderosos e integrativos para ajudá-los a tomar decisões informadas e baseadas em riscos com relação a políticas, planos, programas e investimentos de recursos relacionados à Garantia de Missão dentro de suas autoridades existentes. Em um ambiente de recursos severamente restrito, essa abordagem permitirá que os líderes seniores em todos os três níveis apliquem recursos limitados aos riscos de prioridade mais alta.

Adaptando Department of Defense (2012), a Garantia da Missão é baseada em uma estrutura integrada de vários níveis para avaliar de forma abrangente o risco, informar a política e a alocação de recursos e medir a eficácia do gerenciamento de mitigação de risco em todo o DoD. Essa estrutura também fornece consciência de nível estratégico de problemas de risco que afetam várias instalações, componentes ou áreas de programa funcionais do DoD. No entanto, dentro dessa estrutura, muitas decisões de gerenciamento de risco também permaneceram descentralizadas no nível de instalação ou componente. Em alguns casos, os Departamentos / Serviços Militares, com a entrada do Comando Combatente, estão em uma posição muito melhor para

determinar estratégias de mitigação apropriadas com base no risco específico avaliado.

Ainda cf. Department of Defense (2012), as decisões de gerenciamento de risco em todos os níveis devem considerar explicitamente as opções de remediação e mitigação. As decisões devem pesar o benefício potencial de investir em medidas de proteção adicionais versus focar na capacidade adicional de resiliência. Para alcançar a visão de Garantia da Missão, o desenvolvimento de capacidades, a priorização de recursos e os investimentos futuros em proteção devem ser integrados e informados sobre os riscos em todo o DoD, desde a instalação até a sede do Departamento Militar e os níveis do DoD.

Pilar 4: Parceria para reduzir riscos - uma responsabilidade compartilhada

Para Department of Defense (2012), a Garantia da Missão não é algo que o DoD possa fazer sozinho. Na verdade, garantir a capacidade do DoD de realizar seus MEFs no ambiente de risco complexo e interdependente, abrange um amplo escopo de engajamento colaborativo e contribuições importantes em todo o governo, indústria e comunidade internacional. Como um caso em questão, proteger a infraestrutura de informação crítica da nação - incluindo os sistemas e dados exclusivos e compartilhados do DoD - é uma responsabilidade compartilhada por uma série de outros atores, incluindo empresas da Base Industrial de Defesa, fabricantes de hardware, software, o segurança do território federal, aplicação da lei e comunidades de inteligência.

Conforme Department of Defense (2012), o principal desafio aqui é focar nos interesses e responsabilidades comuns entre esses grupos difusos de partes interessadas. É também sobre “empacotar” a combinação apropriada de autoridades, capacidades técnicas, relacionamentos e recursos para fazer o trabalho - enquanto respeita os vários imperativos estatutários, de políticas e regulatórios que regem essas relações diversas e complexas do setor público-privado.

Adaptando Department of Defense (2012), como o número de parceiros potenciais é grande e os parceiros apropriados para qualquer questão

específica variam amplamente, o DoD precisa priorizar e desenvolver uma estrutura sistemática de longo prazo para enfocar essas parcerias. Consequentemente, o DoD irá:

- Aproveitar os fóruns e processos de parceiros externos existentes, como aqueles que apoiam sua interação com a Base Industrial de Defesa;
- Encaminhar questões urgentes e críticas por meio de acordos de parceria ad hoc na ausência de fóruns existentes; e
- Trabalhar progressivamente no longo prazo para estabelecer novos fóruns em áreas críticas em uma base funcional, regional ou internacional.

5.6 Garantia do produto no âmbito da ESA

Segundo ESA (2021), a Agência Espacial Europeia (ESA) é a porta de entrada da Europa para o espaço. A sua missão é moldar o desenvolvimento da capacidade espacial da Europa e garantir que o investimento no espaço continue a trazer benefícios para os cidadãos da Europa e do mundo.

5.6.1 Escopo da garantia do produto no âmbito da ESA

Já segundo ECSS (2021a), a ECSS é tida como uma iniciativa estabelecida para desenvolver e um conjunto único e coerente de padrões amigáveis para uso em todos os ramos/braços de atividades (*branches*) espaciais da Europa, o material disponível para consulta foca em seus fornecedores e abrange todas as disciplinas que suportam uma missão espacial: Gerenciamento de Projetos Espaciais (*Management-M*), Garantia do Produto Espacial (*Product Assurance-Q*), Engenharia Espacial (*Engineering-E*) e Sustentabilidade Espacial (*Sustainability-U*).

Nas referências da ECCS **não** é encontrado o termo “garantia de missão”; entretanto, isso não significa que a ESA não tenha a preocupação com esse conteúdo.

Para ECSS (2021b), a disciplina que tem como objetivo garantir o grau satisfatório de um produto espacial é a **Garantia do Produto**. Esta procura garantir o sucesso da missão tendo como foco o produto espacial, sendo isso, um nível abaixo da Garantia de Missão: porém, essa Garantia do Produto pode atuar de forma coordenada em todos os segmentos da missão.

5.6.1.1 Classificação das missões da ESA

A ESA possui cinco classificações para suas missões espaciais para que a partir delas possa ser feito o *tailoring* dos requisitos, como pode ser visto na Tabela 5.4:

Tabela 5.4 - Classificação da ESA para as missões espaciais.

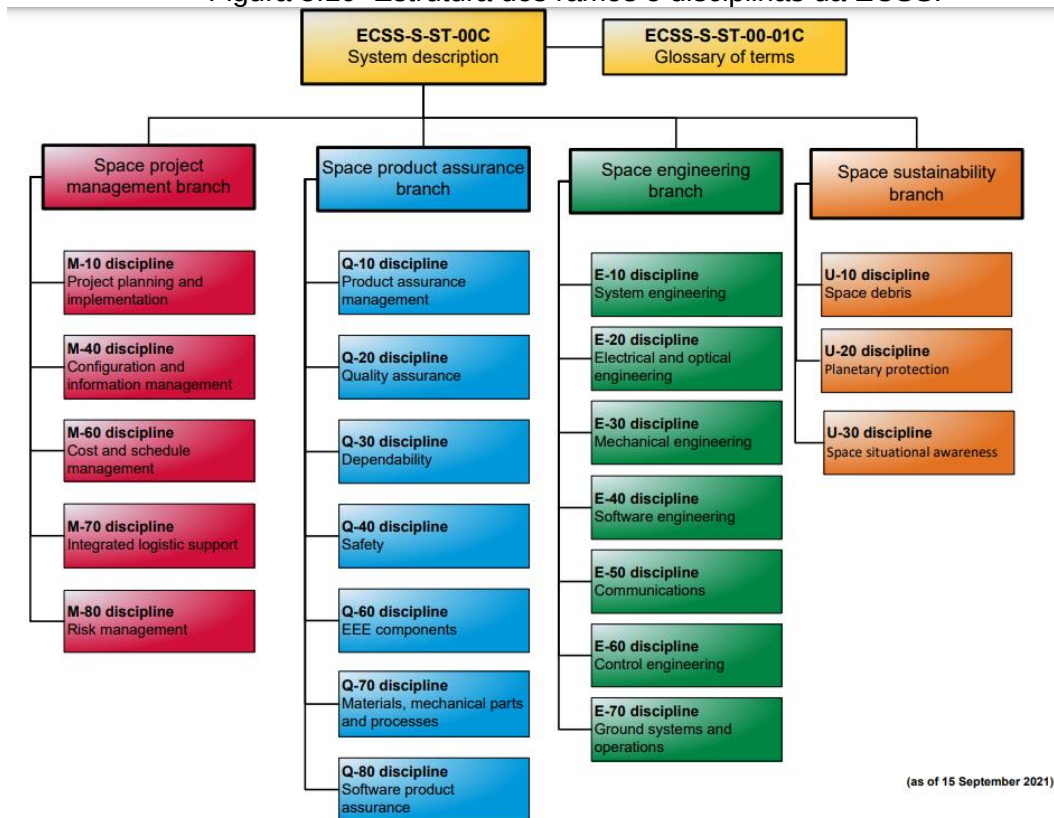
	Class type	I	II	III	IV	V
weighted scoring criteria	Criticality to Agency strategy	Extremely high criticality	High criticality	Medium criticality	Low criticality	Educational purposes
	Mission objectives	Extremely high priority	High priority	Medium priority	Low priority	Educational purposes
	Cost	> 700 M€	200 – 700 M€	50 – 200 M€	1 – 50 M€	< 1 M€
	Mission lifetime	> 10 years	5 – 10 years	2 – 5 years	3 months – 2 years	< 3 months
	Mission complexity	High	High to medium	Medium	Medium to low	Low

Fonte: ECSS (2021a).

5.6.1.2 Organização da garantia do produto no âmbito da ESA

A estrutura dos ramos e disciplinas (*disciplines*) da ECCS é mostrada na Figura 5.10.

Figura 5.10–Estrutura dos ramos e disciplinas da ECSS.



Fonte: ECSS (2021).

5.6.1.3 Fases da garantia do produto no âmbito da ESA

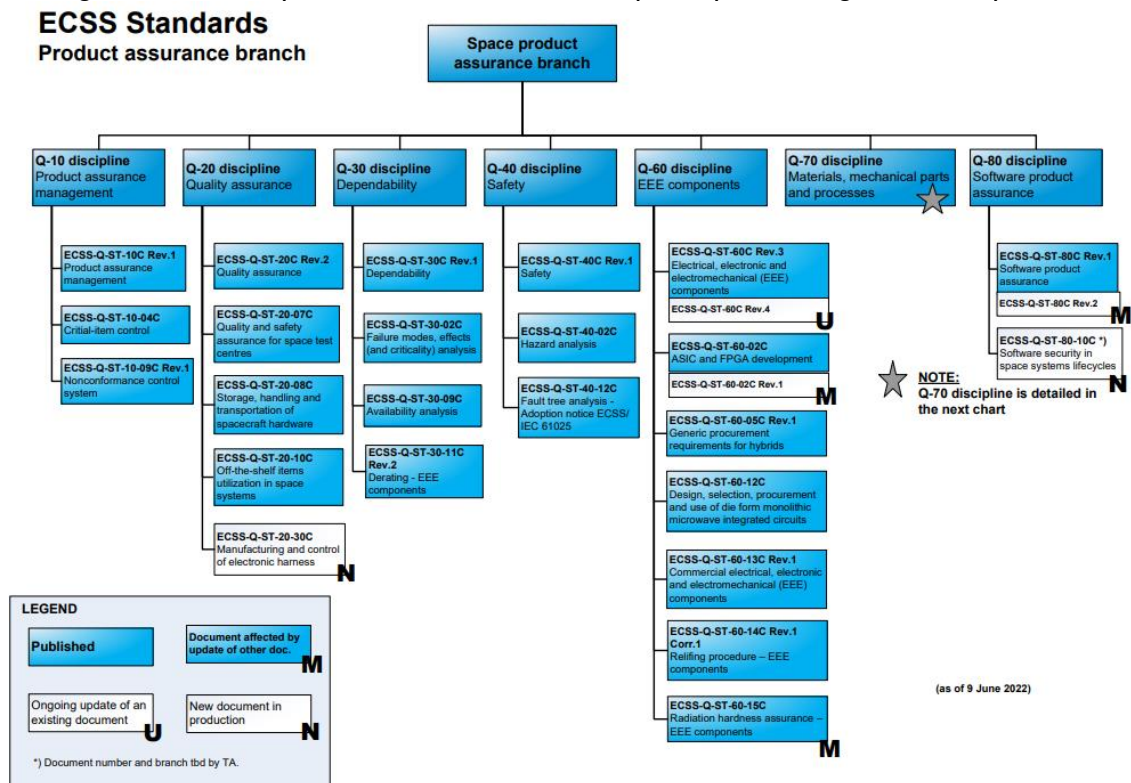
As fases podem ser vistas na Seção 2 deste trabalho.

5.6.1.4 Disciplinas e normas no âmbito da garantia do produto da ESA

A garantia do produto pode atuar de forma organizada em todos os segmentos e permeando toda a estrutura apresentada pela ECSS na Figura 5.10.

A Figura 5.11 apresenta a organização das disciplinas e normas (*standards*) que suportam a garantia do produto.

Figura 5.11–Disciplinas e normas da ECSS que suportam a garantia do produto.



Fonte: ECSS (2021a).

5.6.1.5 Processos da garantia do produto no âmbito da ESA

A ECSS tem a filosofia de estabelecer padrões de requisitos (como mostrado na Figura 5.10 e na Figura 5.11), também contando com o auxílio de documentos como guias (*guidelines*) e manuais (*handbooks*) para algumas disciplinas.

Para especificamente a disciplina Garantia do Produto, podem-se encontrar os requisitos que estão indicados na Figura 5.11.

Os processos estão indicados nos manuais (*handbooks*) e guias (*guidelines*) (Tabela 5.5); porém, apenas uma disciplina da Garantia do Produto possui esse tipo de documento, sendo ela a Garantia do Produto de Software.

5.6.1.6 Documentos principais da garantia do produto no âmbito da ESA

As normas (*standards*) são tidas pela ECSS como documentos normativos para uso direto em licitações e contratos comerciais, tendo conteúdo limitado a

requisitos verificáveis que dizem o que fazer, mas não como fazer. Uma característica dos *standards* da ECSS é expressar o que fazer, mas não como fazer.

Os manuais (*handbooks*) são tidos pela ECSS como documentos não normativos, com o objetivo de fornecer diretrizes e/ou uma coleta de dados.

Os memorandos técnicos (*technical memoranda*) são documentos não normativos com o objetivo de fornecer informações úteis para a comunidade espacial, porém apresenta um conteúdo ainda não maduro para uma norma (*standard*) ou um manual (*handbook*).

Na Tabela 5.5 estão indicados os documentos importantes para a garantia do produto além dos constantes na Figura 5.10 e na Figura 5.11.

Tabela 5.5 - Alguns documentos apresentados pela ECSS para a garantia do produto.

ECSS-Q-HB-04A	<i>Software metrication programme definition and implementation</i>	ESA	O escopo deste Manual é a métrica de software como parte de um projeto espacial, ou seja, um sistema espacial, um subsistema incluindo hardware e software ou, em última análise, um produto de software. Destina-se a complementar o [ECSS-Q-80] com diretrizes específicas relacionadas ao uso de diferentes métricas de software, incluindo sua coleta, análise e relatórios. Diretrizes de adaptação para o processo de métrica de software também são fornecidas para ajudar a atender aos requisitos específicos do projeto.
ECSS-Q-HB-03A	<i>Software dependability and safety</i>	ESA	Este manual fornece orientação sobre a aplicação dos requisitos de confiabilidade e segurança relevantes para o software definido no ECSS-Q-ST-80C.
ECSS-Q-HB-02Part1	<i>Software process assessment and improvement – Part 1: Framework</i>	ESA	Este manual fornece orientação sobre a aplicação dos requisitos de confiabilidade e segurança relevantes para o software definido no ECSS-Q-ST-80C. Este manual fornece suporte para a seleção e aplicação de confiabilidade de software e métodos e técnicas de segurança que podem ser usados no desenvolvimento de sistemas espaciais com uso intensivo de software.

(Continua)

Tabela 5.5 – Conclusão.

ECSS-Q-HB-02Part2	<i>Software process assessment and improvement – Part 2: Assessor instrument</i>	ESA	Este manual fornece aos avaliadores uma série de instrumentos necessários para realizar avaliações de capacidade de processo de software usando o método de avaliação descrito na Parte 1. Ele também fornece instrumentos que ajudam os avaliadores a realizar suas atividades ao realizar avaliações e apoiar a implementação de iniciativas de melhoria de processo de software usando o método para melhoria de processo descrito na Parte 1.
ECSS-S-ST-00-02C	<i>Tailoring</i>	ESA	Provê requisitos para <i>tailoring</i> dos ECSS Standards, usando o <i>pre-tailoring</i> realizado pela ECSS. Descreve também detalhes da metodologia e um guia de um projeto piloto.

Fonte: Autora.

O Capítulo 6 seguinte dará continuidade aos estudos sobre Garantia de Missão, mas nesse caso, para uma visão moderna.

6 GARANTIA DE MISSÃO MODERNA

Este capítulo apresenta algumas filosofias recentes que podem trazer ganhos para missões de satélites de pequeno e médio porte, visando adequar e até otimizar recursos, e faz uma reflexão sobre algumas possibilidades existentes.

6.1 As novas filosofias da garantia de missão

Cf. Jasper (2014), com o advento de pequenos satélites, as missões tem tido uma abordagem que visa dinamizar as práticas de garantia e definição de sucesso da missão. Muitas vezes, é assumido que práticas de garantia mais restritivas geram taxas mais altas de sucesso da missão. O trabalho de Jasper sugere que o uso e aceitação potencial (ou parcial) desta abordagem mais dinâmica permite que os sistemas tragam melhores resultados para a missão, levando em consideração a maturidade da tecnologia, acarretando prazos e custos reduzidos.

Baseando-nos em Jasper (2014), pequenos satélites impulsionaram o desenvolvimento da filosofia e implementação da Garantia da Missão. Originalmente, o foco na garantia de pequenos satélites estava em ignorar a utilização integral dos padrões ou na adaptação de padrões básicos tradicionais (como ECSS, Aerospace Corporation, etc.). Hoje, para desenvolver missões de pequenos satélites de forma a obter resultados relevantes e úteis, torna-se necessário aplicar as ferramentas tradicionais, mas também investir em um equilíbrio entre exigências aquém do necessário e padrões tradicionais. Intrinsecamente ligado a isso está uma adaptação de métodos tradicionais de garantia de missão.

Compreender a forma como diminuir as exigências da garantia de missão tradicional está no cerne da definição de um novo paradigma de garantia de missão, isso para todas as missões espaciais.

O custo e cronograma são dois principais fatores impulsionadores; no entanto, compreender o nível de qualidade necessário é fundamental para se definir a missão, além compreender quais práticas e processos técnicos devem ter níveis mais elevados de exigências. Junto a isso, ter a implementação de uma

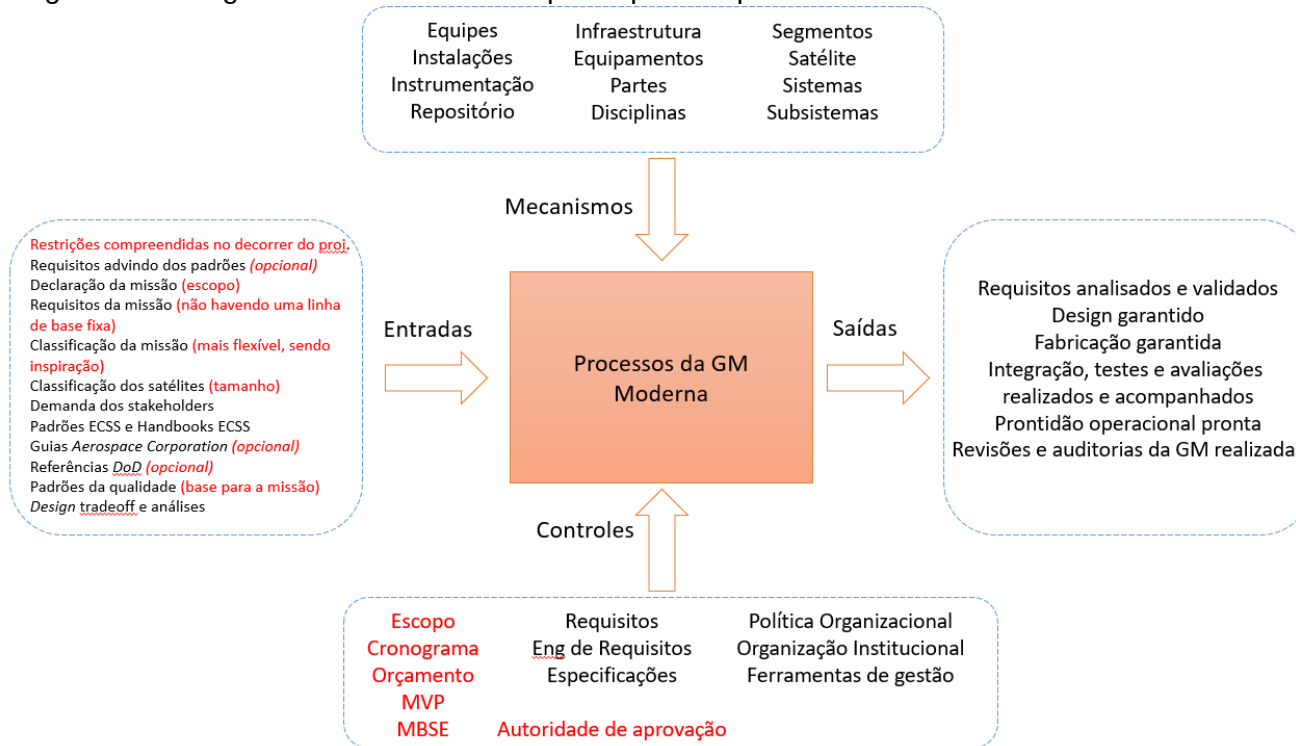
estrutura de Autoridade de Aprovação com o nível de envolvimento adequado. Assim, ter critérios para direcionar os programas de forma a entender os riscos associados, permite que os gerentes de programa definam as expectativas adequadas tanto dos líderes quanto das partes interessadas. Isso é fundamental para ajudar aos líderes a vislumbrarem um programa com a classificação de risco adequada ao financiamento e interesses envolvidos.

Para Jasper (2014), essa proposta é uma alternativa para a filosofia de garantia de missão de pequenos satélites, que não segue apenas o antigo paradigma das Classes de A-D, cf. Aerospace Corporation (2011a), de modo que as práticas técnicas e programáticas possam ser mais claramente compreendidas e aplicadas.

6.2 Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da GM moderna

A Figura 6.1 apresenta um diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da Garantia de Missão Moderna. Nele, os itens em vermelho evidenciam as diferenças entre as Garantias de Missão Clássica e a Moderna, detalhados nos textos deste capítulo.

Figura 6.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para os processos da Garantia de Missão Moderna.



Os itens em vermelho são as diferenças entre as Garantias de Missão Clássica e a Moderna.

Fonte: Silva (2023b).

6.3 Lacuna existente para pequenos satélites: missões que não atendem às classes A-D

Cf. Jasper (2014), comumente, os pequenos satélites são alocados na Classe D, mas dependendo da relevância da missão, eles podem ser empregados na classe C com maiores ajustes, a saber:

A classe D possui elementos que têm riscos técnicos de nível médio para o projeto, além de alguns mecanismos de falha da missão poderem existir. Já a classe C é mais restritiva em alguns aspectos. Para um país que possui uma indústria espacial sólida, além de produzir e lançar satélites em uma cadência constante, o enquadramento na classe D é coerente; e, mesmo assim, haverá ajustes importantes. Porém, para uma nação que não possui uma cadência de produção e lançamento de satélites, cada item se torna fundamental para manter as atividades relacionadas. Sendo assim, o enquadramento pela classe C é pertinente, porém realizado com grandes ajustes.

Os requisitos da classe D não atendem às necessidades de muitos pequenos satélites porque são muito restritivos e não permitem a variabilidade da missão. Pequenos satélites muitas vezes ignoram a maioria das atividades definidas na classe D, pois as restrições competem com os objetivos da missão.

Para as indústrias de pequenos satélites e com os financiamentos que essas missões recebem, no caso de um pequeno satélite, os desenvolvedores criam perfis de garantia personalizados. Os perfis personalizados não atendem à intenção da Classe D, nem a Classe D é suficiente para as realidades da maioria das missões de satélites de pequeno porte.

Existem dois **conceitos-chave** que são essenciais para a nova proposta.

O **primeiro conceito-chave** é definir o **escopo adequado** das missões de pequenos satélites, pela área da Gestão de Projetos. Ela deve distinguir da Garantia de Missão (GM), para “missões baseadas em requisitos” (escopo) x “missões baseada em restrições” (adequado) na comunidade de satélites de pequeno porte. Neste caso, para Jasper (2014), é importante salientar que “requisitos” também são restrições para o programa.

Para Jasper (2014), 1) as “missões baseadas em requisitos” têm como abordagem manter seus requisitos congelados (linha de base), projetando e refinando a tecnologia até que seus objetivos sejam cumpridos; 2) já no modelo “baseado em restrições”, os requisitos são mais fluidos e precisam se adequar à medida que a capacidade real e as restrições do sistema são compreendidas. Em essência, 1) uma missão “baseada em requisitos” tem uma “caixa” feita para ela; já 2) uma missão “baseada em restrições” se encaixa na capacidade da “caixa”. Sendo assim: ou 1) a “caixa” tem que se adequar à missão; ou 2) a missão tem que adequar à “caixa”.

Então, uma solução de compromisso deve ser atingida entre as partes interessadas que 1) utilizam a abordagem “baseada em requisitos” e os engenheiros que 2) utilizam a abordagem “baseada em restrições”; e o 3) compromisso que for estabelecido deve ser mantido durante toda a missão. Sem isso, o sucesso pode ser impactado e o alargamento do escopo pode aumentar a utilização de recursos sem retorno para a missão.

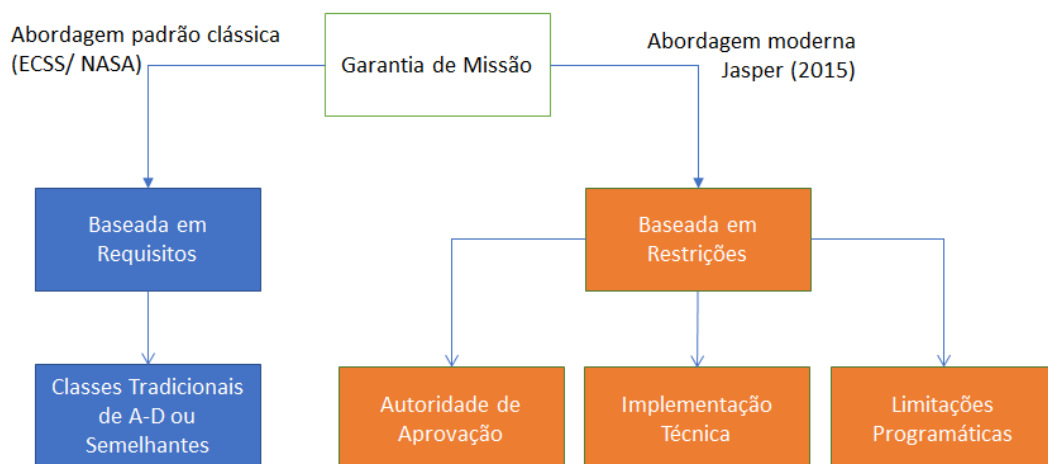
Um exemplo citado por Jasper (2014) é o caso de espaçonaves que levam algum tempo para entender as restrições e, às vezes, reavaliar /reduzir os objetivos da missão. Isto é necessário para assim produzir uma missão mais tangível.

O **segundo conceito-chave** é que **uma boa engenharia não é substituída pela Garantia da Missão**. Frequentemente, boas práticas de engenharia estão contidas em práticas de GM, mas aqui a GM é vista como uma verificação e um equilíbrio para o processo de engenharia. Além disso, as missões são projetadas para o sucesso total da missão; as exigências da Garantia da Missão podem fornecer o nível adequado de confiança no sucesso da missão. Se uma missão não foi projetada para o sucesso total, ou o projeto é “defeituoso” ou o escopo está mal definido, isso não é escopo da GM. Por outro lado, uma missão pode ter um projeto de alta fidelidade e seguir por processos de engenharia bem aceitos, no entanto, o perfil de Garantia de Missão ainda pode oferecer baixa garantia. Deve-se enfatizar que isso não significa que a

missão será mal sucedida, mas que a confiança no desempenho para alcançar o sucesso é menos garantida.

A Figura 6.2 mostra a nova abordagem da Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) até o 3º nível.

Figura 6.2 - Nova Abordagem da Garantia Missão Mínima Viável (GMMV) selecionando, adequando e balanceando Requisitos Críticos e Restrições Pétreas.



Fonte: Silva (2022).

No Capítulo 8 será mostrado que a proposta apresentada nesta Tese inicia com a junção das Garantias de Missão “baseada em restrições” e a “baseada em requisitos” (utilizando padrões/normas). Nela, será respeitada a abordagem das “missões baseadas em requisitos” para a seleção dos requisitos tidos como críticos. Desta forma, esses serão congelados (formando a linha de base “enxuta”). Somando-se a isso, será considerada a abordagem das missões “baseadas em restrições” (Figura 6.2), ambas serão selecionadas, adequadas e balanceadas nessa abordagem; e todos os itens que não impactam os requisitos críticos, poderão seguir com maior fluidez durante o processo e se adequar à medida que a capacidade real e as restrições do sistema forem compreendidas.

6.4 MBSE para a garantia de missão no âmbito da NASA

Este trabalho não vai explorar amplamente a filosofia MBSE para a proposta que será apresentada no Capítulo 8; porém, cabe sua apresentação devido à sua importância, cabendo aos responsáveis da missão decidir sua utilização, visto que redução de gastos, custos e otimização dos recursos são significantes; porém, é fundamental existirem especialistas focados na utilização de tal filosofia, suas técnicas e ferramentas.

De acordo com OSMA (2020), a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (*Model Based Systems Engineering*-MBSE) está tendo uma aplicação cada vez maior no planejamento no projeto das missões da NASA. O Escritório de Segurança e Garantia da Missão (OSMA) está chamando a abordagem correspondente de Garantia da Missão Baseada em Modelos (MBMA).

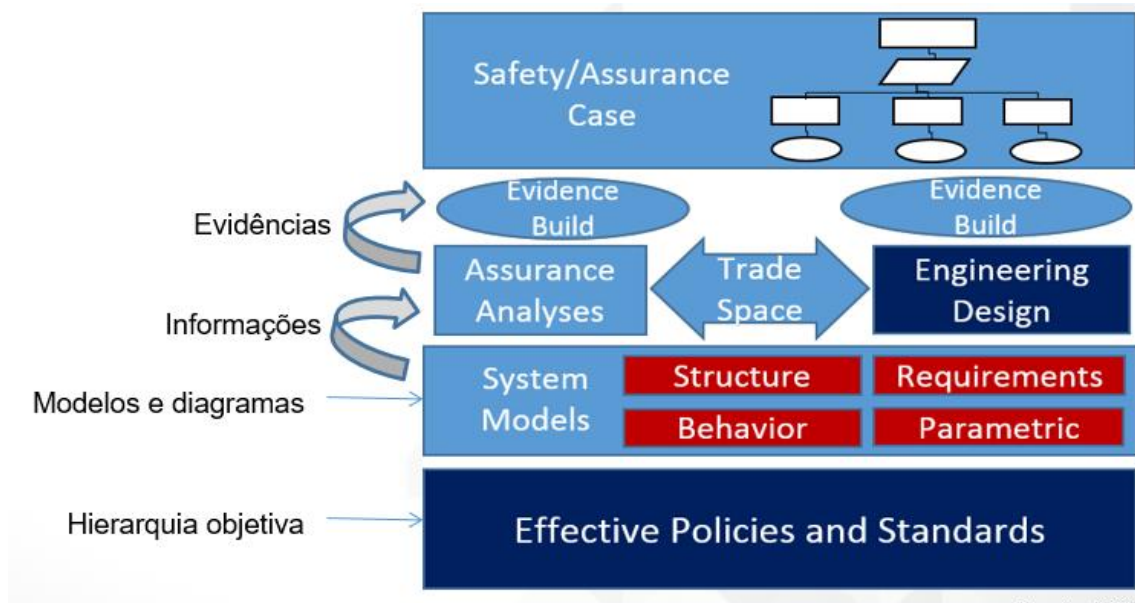
Para OSMA (2020), na MBSE, um modelo virtual do sistema é criado, normalmente enquanto ele ainda está na fase de projeto e planejamento. O modelo é usado como uma fonte de referência única - um "único ponto de verdade" - para o conceito, requisitos e *design* do sistema, e verificação e validação e dados associados. A Segurança e Garantia da Missão (SMA) pode alavancar esse modelo para realizar uma variedade de análises de garantia no início do ciclo de vida, reduzindo a ocorrência de mudanças caras após o "congelamento" do projeto do sistema. Ao usar e até aperfeiçoar um modelo virtual cf. a MBSE, o pessoal da SMA será capaz de executar simulações e testes até em tempo real, em vez de ter que percorrer - em alguns casos - milhares de páginas de documentação. Além de pontual, a MBMA promete ser mais flexível, rápida e econômica. Teria uma excelente aplicação para satélites de pequeno e médio porte.

Conforme Cornford (2016), a Figura 6.3 mostra as normas, modelos e atividades de engenharia e *safety* da Garantia de Missão, onde as camadas de baixo para cima são as seguintes:

- A camada inferior, "Políticas e normas eficazes", é baseada nas hierarquias objetivas;

- A camada acima indica que, para sistemas que empregam a MBSE, muitas de suas informações são capturadas em modelos. Para a SysML em particular, os modelos são transmitidos por meio de diagramas que se enquadram em uma ou mais das áreas mostradas em vermelho, os quatro "pilares" da SysML (as áreas que eles cobrem são óbvias a partir dos nomes "Estrutura", "Requisitos" e "Comportamento"); em SysML, "*Parametrics*" representa restrições nos valores de propriedades do sistema, como desempenho, confiabilidade e propriedades de massa, e serve como um meio para integrar a especificação e os modelos de *design* com os modelos de análise de engenharia [SysML];
- Os modelos na MBSE de um sistema são usados para informar as atividades de Projeto de Engenharia e Análises de Garantia. Muitas dessas atividades exploraram opções em um espaço de balanceamento de alternativas de projeto. As seleções entre essas alternativas serão informadas pelos resultados das análises realizadas nos projetos (por exemplo, várias formas de análise de confiabilidade);
- Conforme o desenvolvimento ocorre, as evidências vão sendo acumuladas a partir do processo de desenvolvimento (por exemplo, análises, testes, inspeções e dados históricos relevantes); e
- As evidências são organizadas na forma de um "*Risk Informed Safety Case*" (RISC), ou mais geralmente, uma "*Safety and Mission Success Case*" para cobrir tanto a segurança quanto o sucesso da missão. As hierarquias de objetivos independentes do sistema que informaram as políticas e padrões podem ser usadas como modelos para orientar o desenvolvimento do RISC específico do sistema.

Figura 6.3 - Normas, modelos e atividades de engenharia e *safety* da Garantia de Missão.



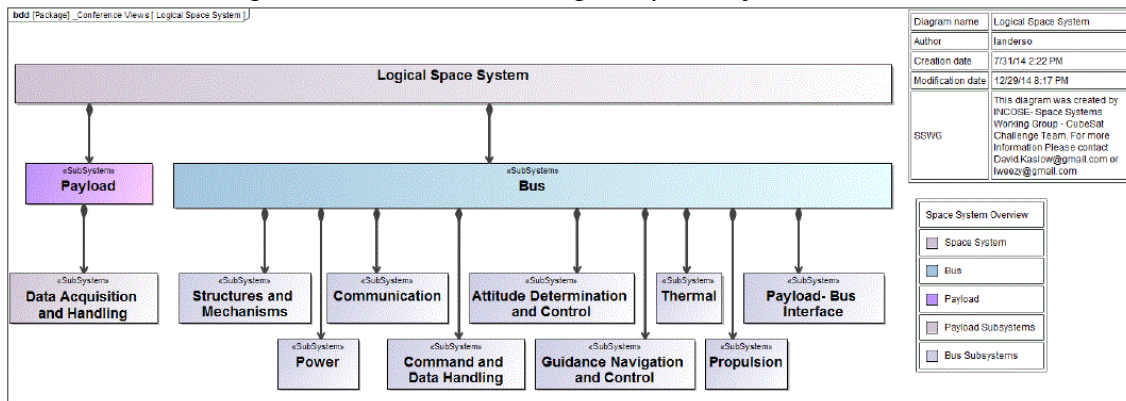
Fonte: Adaptado de OSMA (2020).

De acordo com Cornford (2016), uma parte significativa da comunidade MBSE uniu-se em torno de um padrão comum para modelagem de informações, a *Systems Modeling Language* (SysML™) [SysML]. Nos primeiros anos, foi alimentado por iniciativas individuais de alguns e pelo apoio de organizações voluntárias como INCOSE e OMG™. Nos últimos anos, o suporte para a SysML floresceu.

Conforme Cornford (2016), a linguagem SysML é projetada para representar informações de Engenharia de Sistemas. É uma consequência de uma linguagem anterior, a *Unified Modeling Language* (UML), que foi desenvolvida para ser uma linguagem padrão para engenharia de software. A SysML adiciona construções apropriadas para a engenharia de sistemas ainda não encontradas em UML.

A Figura 6.4 mostra a estrutura da lógica *Space System Model*.

Figura 6.4 - Estrutura da lógica *Space System Model*.



Fonte: Cornford (2016).

Para Cornford (2016), o surgimento da MBSE oferece uma oportunidade para a Garantia de Missão passar de abordagens centradas em documentos que muitas vezes, impedem a contribuição e a condução oportuna das atividades de garantia, para produtos baseados em objetivos que são incorporados e compatíveis com a modelagem usada em um ambiente MBSE. Para realizar essa melhoria, os produtos e processos da GM precisam ser capazes de se enquadrar nesta estrutura. Por exemplo, os engenheiros de segurança e confiabilidade devem estar intimamente ligados ao desenvolvimento que ocorre na estrutura MBSE, desde a definição de requisitos até a análise, para apoiar estudos de balanceamento e análises de projeto que garantam a confiabilidade e segurança exigidas. A estrutura da MBSE pode exigir que a confiabilidade e a análise de segurança e os produtos relacionados assumam uma nova forma. No geral, este novo meio ambiente apresenta uma oportunidade sem precedentes para melhorar a eficácia das comunidades de confiabilidade e segurança.

6.5 MVP aplicado à indústria espacial no cenário *New Space*

Baseado em King (2018), *New Space* é um termo tido para descrever as *startups* visionárias que estão usando satélites para abordar questões audaciosas. No chamado paradigma do *Old Space*, questões dessa magnitude seriam abordadas pelos governos nacionais em estudos de possíveis décadas. As mudanças vieram devidas em parte ao surgimento de pequenos satélites.

As startups do *New Space* estão revolucionando o espaço comercial, abordando várias questões com orçamentos apertados em comparação com programas governamentais.

Para King (2018), a filosofia *smallsat* é que muitos satélites pequenos podem ser lançados com menor custo que os satélites tradicionais que possuem grandes dimensões, apesar de seu tamanho pequeno, podem fornecer coletivamente dados com qualidade comparável a seus predecessores maiores e mais caros. Ou seja:

as startups do *New Space* estão tentando provar essa tese usando o princípio de Eric Ries do Produto Mínimo Viável (MVP): ‘O primeiro passo é descobrir o problema que precisa ser resolvido e, em seguida, desenvolver um Produto Mínimo Viável (MVP) para iniciar o processo de aprender o mais rápido possível. Uma vez estabelecido o MVP, uma startup pode trabalhar no ajuste.’ Um MVP conscientemente omite recursos que são necessários para a viabilidade do negócio a longo prazo em favor de provar ou refutar desafios críticos desde o início.

Para King (2018), um número crescente de empresas do *New Space* agora pode reivindicar lançamentos de MVP bem-sucedidos. *Planet* e *Spire* implantaram mais de 400 pequenos satélites provando que é possível lançar satélites, receber dados e sem muito custo.

Por mais impressionantes que sejam essas explorações iniciais do *NewSpace*, é ainda mais impressionante perceber que estamos apenas testemunhando a versão MVP dessas arquiteturas. Implantar um MVP é uma etapa essencial no ciclo construir-medir-aprender.

Após apresentar os estudos sobre o tema Garantia de Missão, no Capítulo 7 será realizada a comparação entre as filosofias clássica e moderna, nacional e internacional.

7 COMPARAÇÕES ENTRE AS GARANTIAS DE MISSÃO CLÁSSICA E MODERNA

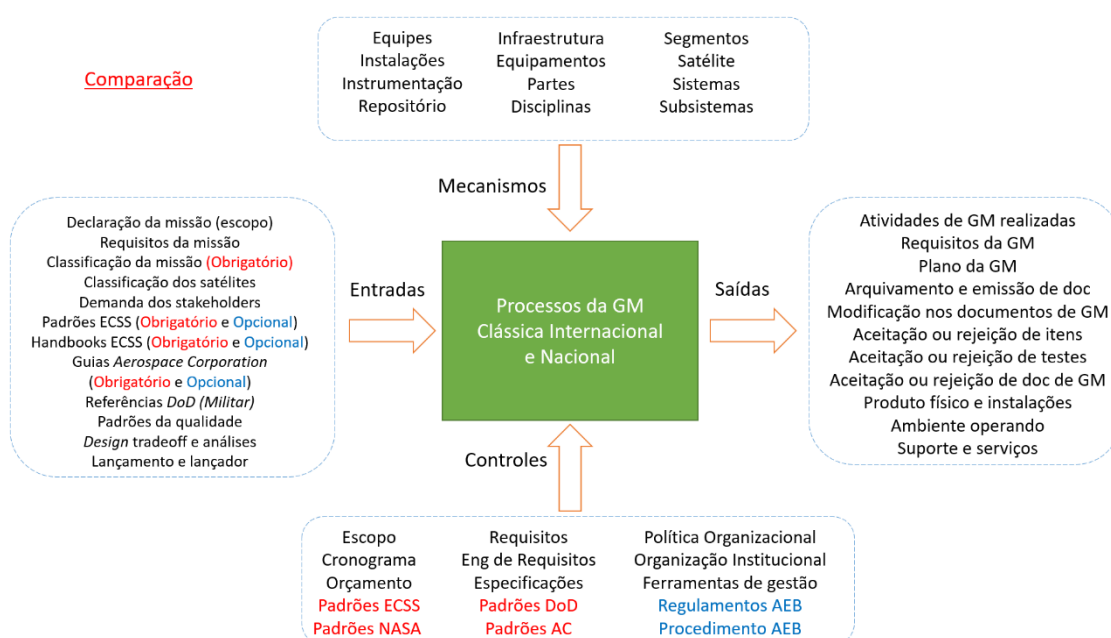
Este capítulo apresenta as comparações entre as garantias de missão clássica e moderna, nacional e internacional baseadas nos Capítulos 4, 5 e 6.

7.1 Comparação entre as garantias de missão clássicas nacional e internacional

Esta seção apresenta a comparação entre as garantias de missão clássicas nacional e internacional baseada nos Capítulos 4 e 5.

A Figura 7.1 mostra um diagrama IDEF0 de nível superior com a comparação entre as garantias de missão clássicas nacional e internacional e com um resumo dos seus atributos importantes. Nela, são abordados pontos como: entradas, saídas, mecanismos e controles referentes ao processo de garantia de missão.

Figura 7.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior com a comparação entre as GMs Clássicas Nacional e Internacional.



Os itens em vermelho evidenciam pontos importantes específicos da GM clássica internacional e os em azul evidenciam os específicos para a GM clássica nacional.

Fonte: Autora.

Os documentos importantes de serem abordados também são as normas para realizar as adequações (*tailoring*) dos requisitos.

Para a ESA, o documento intitulado “*ECSS System Tailoring*” (ECSS-S-ST-00-02C) (ECSS, 2020), é o procedimento para realizar o *tailoring* dos requisitos.

Para as empresas americanas, a Aerospace Corporation elaborou o documento intitulado “*Mission Risk Planning and Acquisition Tailoring Guidelines for National Security Space Vehicles*” (TOR-2011(8591-5)), (AEROSPACE CORPORATION, 2011b), o documento descreve um processo para estabelecer classes de risco de missão de um veículo espacial e/ou carga útil e uma estratégia de implementação de aquisição para definir requisitos para sistemas de Segurança Espacial Nacional (*National Space Security-NSS*).

Os dois documentos possuem conteúdos importantes que norteiam a missão e a garantia da missão, cada um com a preocupação estrutural e organizacional de sua origem.

7.1.1 Classificação de risco da missão

Como mencionado no Capítulo 2 desta Tese, a classificação da missão é fundamental para se poder adequar os esforços empregados nas missões espaciais.

A Tabela 7.1 apresenta a comparação entre as classificações internacionais (americana e europeia) de risco de missão e suas características. Nela, é possível verificar os atributos importantes para se identificar os esforços empregados em uma missão; e, também a equivalência das classes, mesmo se tratando de instituições diversas. É importante ressaltar que a Classe V da ESA não foi levada em consideração na Tabela 7.1, pois é uma classe puramente educacional.

Tabela 7.1 - Comparação entre as classificações internacionais (americana e europeia) de risco de missão.

Comparação entre as classificações internacionais de risco de missão				
Características	Classe A (USA) Classe I (ESA)	Classe B (USA) Classe II (ESA)	Classe C (USA) Classe III (ESA)	Classe D (USA) Classe IV (ESA)
Aceitação do risco	Praticamente mínimo	Baixo	Moderado	Alto
Significância nacional	Extremamente crítico	Crítico	Pouco crítico	Não crítico
Custo da aquisição	Custo do ciclo de vida muito alto	Alto	Médio	Baixo
Limitações de lançamento	Crítica	Média	Baixa	Baixa - Nenhuma
Alternativas	Nenhuma	Poucas	Algumas	Significantes
Sucesso da missão	Todas as medidas práticas	Menores compromissos	Padrões de GM reduzidos	Padrões de GM baixos
Complexidade	Muito alta - alta	Alta - média	Média - baixa	Baixa
Tempo de missão	> 7 anos (*) > 5 anos (**) > 10 anos (***)	4 a 7 anos (*) 2 a 5 anos(**) 5 a 10 anos (***)	1 a 4 ano (*) < 2 anos (**) 2 a 5 anos (***)	< 1 ano (*) < 2 anos (**) 3 meses a 2 anos (***)
Manutenção de Voo	N/A	Não viável	Talvez possível	Talvez possível, se planejado
Custo	Alto	Alto - médio	Médio - baixo	Baixo

Os itens pintados em laranja apresentam diferenças nas instituições pesquisadas.

Aerospace Corporation (*); NASA (**); e ESA (***)

Fonte: Autora.

A Tabela 7.2 traz as informações que deram base para a comparação entre as classificações internacionais (americana e europeia) de risco de missão.

A Tabela 7.3 apresenta os principais pontos para a comparação entre as Garantias de Missão Clássicas Nacional e Internacional.

A Figura 7.2 apresenta uma breve comparação entre as fases do ciclo de vida de projetos espaciais e os grandes processos das garantias de missão clássicas nacional e internacional.

Tabela 7.2– Informações que deram base para a comparação entre as classificações internacionais (americana e europeia) de risco de missão.

Classificação de Risco de Missão													
	Estados Unidos - Indústria				Estados Unidos - NASA				Estados Unidos - ESA (ECSS)				
Características	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	I	II	III	IV	V
Aceitação do risco	Praticamente mínimo	Baixo	Moderado	Alto	Prioridade Alta	Prioridade Alta	Prioridade Média	Prioridade Baixa	Extremamente crítico	Criticalidade alta	Criticalidade média	Criticalidade baixa	Proposta educacional
Significância nacional	Extremamente crítico	Crítico	Pouco crítico	Não crítico	Muito alta	Alta	Média	Média para baixa	Extremamente alta prioridade	Prioridade alta	Prioridade média	Prioridade baixa	Proposta educacional
Tipo de Payload	Operacional	Operacional ou semi-operacional	Exploratório e experimental	Experimental			□						
Custo da aquisição	Custo do ciclo de vida muito alto	Alto	Médio	Baixo									
Limitações de lançamento	Crítica	Média	Baixa	Baixa - Nenhuma	Crítica	Média	Baixa	Baixa - Nenhuma					
Alternativas	Nenhuma	Poucas	Algumas	Significantes	Nenhuma	Poucas	Algumas	Significantes					
Sucesso da missão	Todas as medidas práticas	Menores compromissos	Padrões de GM reduzidos	Padrões de GM baixos									
Complexidade	Muito alta - alta	Alta - média	Média - baixa	Baixa	Muito alta - alta	Alta - média	Média - baixa	Baixa	Alta	Alta para média	Média	Média para baixa	Baixa
Tempo de missão	> 7 anos	7 a 4 anos	4 a 1 ano	< 1 ano	> 5 anos	5 a 2 anos	< 2 anos	< 2 anos	> 10 anos	5 - 10 anos	2 - 5 anos	3 meses - 2 anos	< 3 meses
Manutenção de Voo					N/A	Não viável	Talvez possível	Talvez possível, se planejado					
Custo	Alto	Alto - médio	Médio - baixo	Baixo	Alto	Alto - médio	Médio - baixo	Baixo	>700 M Euro	200 - 700 M Euro	50 - 200 M Euro	1 - 50 M Euro	<1 M Euro

Fonte: Autora.

Tabela 7.3 - Principais pontos para comparação entre as Garantias de Missão Clássica Nacional e Internacional.

País	Instituição	Fases	Filosofia	Grupos os Disciplinas	Guias/ Padrões obrigatórios	Documentos recomendados
Estados Unidos	NASA e contratadas	Pré-A: Estudos Conceituais; A: Conceito e desenvolvimento da tecnologia; B: <i>Design</i> preliminar e finalização do desenvolvimento da tecnologia; C: <i>Design</i> final e fabricação; D: Integração do sistema e testes, voo e <i>checkout</i> ; E: Operação e sustentabilidade; e F: Encerramento.	Adota do termo "Garantia de Missão". Filosofia de GM guiada por processos, os documentos disponibilizados relacionam processos a ser ajustados de acordo com a classificação de risco da missão, classificação da missão de A-D. 1. Categoria - Execução do Programa , processos: (1) Garantia do Projeto; (2) Análise e Validação de Requisitos; (3) Peças, Materiais e Processos; (4) Compatibilidade ambiental; (5) Engenharia de Confiabilidade; (6) Segurança do sistema (7) Gerenciamento de configuração/mudança; (8) Integração, Teste e Avaliação. 2. Categoria - Risco, supervisão e garantia , processos: (9) Avaliação e gerenciamento de riscos; (10) Revisões Independentes; (11) Garantia de qualidade de hardware; (12) Garantia de Software; (13) Garantia de qualidade do fornecedor. 3. Categoria - Triagem, Informações e Lições Aprendidas , processos: (14) Conselho de revisão de falhas; (15) Conselho de Ação; Corretiva/Preventiva (16) Alertas, Boletins Informativos.	O <i>Office of Safety and Mission Assurance</i> (OSMA) inclui a <i>Mission Assurance Standards and Capabilities Division</i> (MASCD), a <i>Missions and Programs Assessment Division</i> (MPAD), a <i>Institutional Safety Management Division</i> (ISMD) e o <i>NASA Safety Center</i> (NSC), bem como a Instalação Independente de Verificação e Validação (IV&V). No Guia da Aerospace Corporation a GM é suportada por 7 disciplinas: Gestão de Riscos, Engenharia de Confiabilidade, Gerenciamento de Configuração, Engenharia de Peças, Materiais e Processos (PMP), Garantia de Qualidade, Garantia de Segurança e Garantia de Software.	TOR-2011(8591)-21; DOD-HBDK-343; TOR-2011(8591) – 5; TOR-2011(8591) – 5; e NASA NPR 8705.4; NPD 8700.1E; NASA/SP-2014-3705; NPD 8000.4B; HOW 8700 GE 000035C; NPD 8705.4; e NASA-STD-8709.20 .	Mission Assurance Strategy (DoD, 2012)

(Continua)

Tabela 7.3 - Continuação.

Europa	ESA e contratadas	Fase 0 - Análise da missão / Identificação das necessidades; Fase A – Viabilidade; Fase B – Definições preliminares; Fase C – Definições detalhadas; Fase D – Qualificação e Produção; Fase E – Operação; e Fase F – Descarte.	Não adota o termo "Garantia de Missão". Filosofia de atuação na GM guiada por requisitos, os documentos principais possuem requisitos a serem ajustados para cada missão. Classificação da missão de I a V. Documentos de requisitos relacionados na coleção da ECSS (ECSS-Q-ST-XXX). O <i>tailoring</i> deve ser realizado de acordo com o ECSS-S-ST-00-02C. Os requisitos de Gerenciamento da missão estão relacionados na coleção ECSS (ECSS-M-ST-XXX). Os <i>Handbooks</i> direcionam o como executar algumas atividades, porém para a área da Qualidade, apenas a disciplina de Software possui esse tipo de documento.	Q-20: Garantia de qualidade; Q-30: Confiabilidade; Q-40: Segurança; Q-60: Componentes elétricos, eletrônicos, eletromecânicos (EEE); Q-70: Materiais, peças mecânicas e processos; e Q-80: Garantia de produto de software.	ECSS-Q-HB-04A; ECSS-Q-HB-03A; ECSS-Q-HB-02Part1; ECSS-Q-HB-02Part2; ECSS-S-ST-00-02C; e ECSS-Q-ST-XXXX G10t (todos do braço de Qualidade, ver Capítulo 4).	ECSS-S-ST-00-02C
--------	-------------------	--	--	---	--	------------------

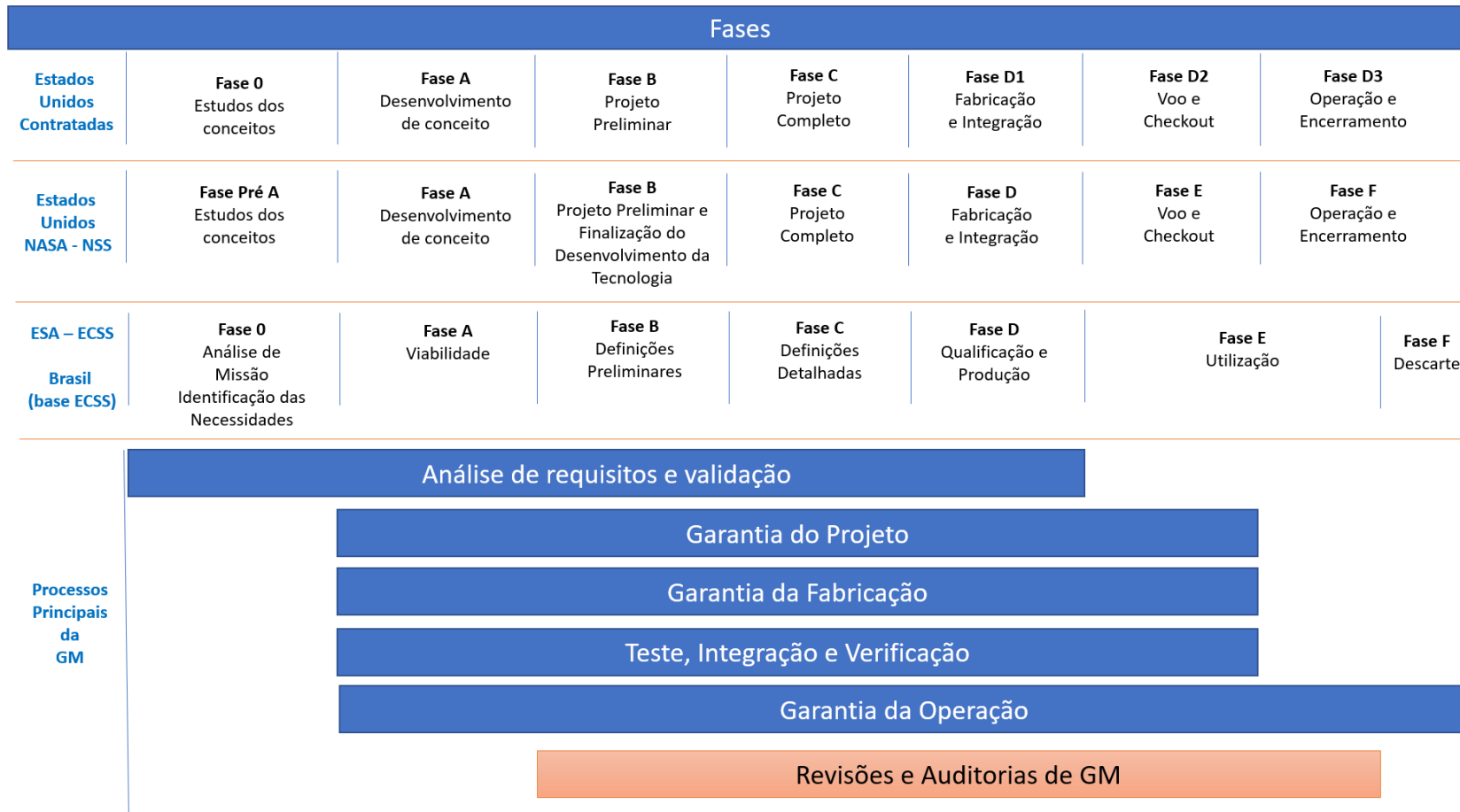
(Continua)

Tabela 7.3 – Conclusão.

Brasil	Instituições nacionais e indústria	Para satélites de pequeno e médio porte, a recomendação é seguir a ECSS: Fase 0 - Análise da missão / Identificação das necessidades; Fase A – Viabilidade; Fase B – Definições preliminares; Fase C – Definições detalhadas; Fase D – Qualificação e Produção; Fase E – Operação; e Fase F – Descarte.	Não existe uma obrigatoriedade quanto a adoção de uma filosofia específica, necessário ter ciência das Portarias e Regulamentos AEB e verificar sua aplicação. É recomendável a adoção de uma filosofia semelhante a ECSS. Quando houver tratativa com o INPE, necessário seguir a filosofia adotada pelo INPE, com aprovação em seu portfólio, tendo como base a ECSS para satélites de pequeno e médio porte. Caso seja necessário orçamento da AEB será necessário seguir o ProSAME.	No INPE: Q-20: Garantia de qualidade; Q-30: Confiabilidade; Q-40: Segurança; Q-60: Componentes elétricos, eletrônicos, eletromecânicos (EEE); Q-70: Materiais, peças mecânicas e processos; e Q-80: Garantia de produto de software.	Portaria Nº 62, de 9 de maio de 2017; Portaria Nº 756, de 29 de dezembro de 2021; A Portaria Nº 857, de 25 de maio de 2022; DIEN-REB01; e DIEN-REB02	EQUARS-3000-PLN-002; EQUARS-4900-TS-001; EQUARS-3000-TS-002; EQUARS-3100-PLN-001;
--------	------------------------------------	---	---	---	--	---

Fonte: Autora.

Figura 7.2—Uma breve comparação entre as fases do ciclo de vida de projetos espaciais e os grandes processos das Garantias de Missão clássicas nacional e internacional.



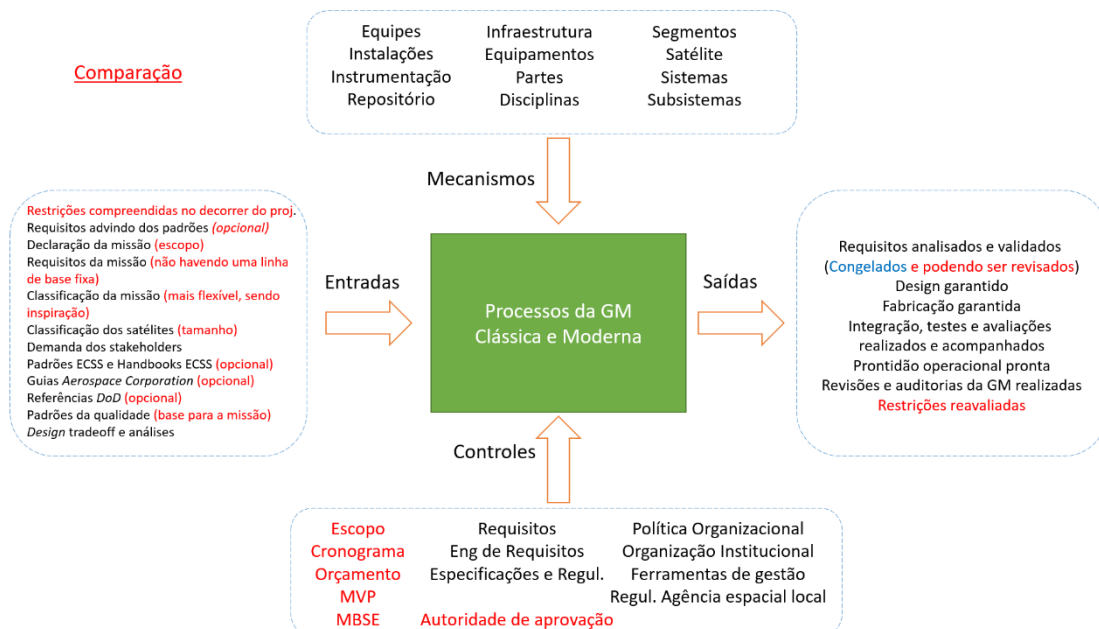
Fonte: Autora.

7.2 Comparações entre as garantias de missão clássica e moderna

Esta seção apresenta a comparação entre as GM clássica e moderna, baseada nos Capítulos 4, 5 e 6.

A Figura 7.3 apresenta um diagrama IDEF0 de nível superior comparando as GMs clássica e moderna. Nele, pode ser visto que a GM moderna possui uma grande flexibilidade quanto às entradas e saídas dos processos; e as ferramentas de controle visam mais agilidade.

Figura 7.3 - Diagrama IDEF0 de nível superior comparando as Garantias de Missão Clássica e Moderna.



Em vermelho, são encontrados os itens observados apenas na GM moderna.

Fonte: Autora.

A GM moderna apresenta a seguinte organização: Autoridade de Aprovação; implementação técnica; e limitações programáticas. Ao mesmo tempo que zela pela agilidade, a GM moderna também não deixa de se preocupar com os aspectos importantes da GM clássica. Em um primeiro momento, isso foi esquecido; porém, foi observado que o método de organização, as disciplinas, a garantia, os riscos e aspectos regulatórios são fundamentais para uma missão.

Esta Tese possui o foco na GM para satélites de pequeno e médio porte; porém, a abordagem proposta para a GM será apresentada no Capítulo 8.

A Tabela 7.4 apresenta os principais pontos da GM moderna e suas ferramentas, onde são estabelecidas algumas vantagens e desvantagens.

Tabela 7.4 - Principais pontos da GM moderna e suas ferramentas.

País	Instituição	Filosofia apresentada	Conceito	Organização	Vantagens e desvantagens
Estados Unidos	Empresas	Filosofia da GM Moderna	GM focada nas restrições que se tornarão requisitos; porém, podem ser modificados no avanço do projeto, não há uma base congelada. Essa GM não se baseia em documentos de normas de requisitos.	Autoridade de aprovação; implementação técnica; e limitações programáticas.	Mais rapidez e dinamismo; porém, pode não possuir a garantia necessária.
Estados Unidos	NASA	MBSE para a missão	Engenharia de sistemas baseada em modelos para estruturar e organizar a garantia de missão.	Políticas e normas; modelos dos sistemas; análises para o "trade"; evidências; e segurança e garantia.	Um processo que requer profissionais treinados, devido à sua complexidade, porém possui alta rastreabilidade de todas as informações.
Estados Unidos	Empresas	MVP para área espacial	Elaborar o projeto mínimo viável para testar os conceitos do produto espacial, ir incrementando com o avanço do desenvolvimento.	Definir o "problema", estabelecendo o escopo, iniciar o processo de aprender o mais rápido possível e depois trabalhar nos ajustes.	Processo dinâmico e que apresenta resultado logo no início, porém necessita de controles dos ajustes e boa rastreabilidade.

Fonte: Autora.

Após apresentar aqui as comparações entre as Garantias de Missão Clássica e Moderna, Nacional e Internacional, o Capítulo 8 apresentará uma nova

proposta para a garantia de missão para satélites de pequeno e médio porte chamada Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV).

8 UMA NOVA PROPOSTA DE GARANTIA DE MISSÃO MÍNIMA VIÁVEL (GMMV) PARA SATÉLITES DE PEQUENO E MÉDIO PORTE

Tendo em vista os conceitos básicos e a literatura revisada, o problema formulado e as abordagens para sua solução, e as comparações apresentadas nos Capítulos 2-7, este capítulo apresenta uma nova proposta de Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) (*Minimum Viable Mission Assurance-MVMA*), para satélites de pequeno e médio porte.

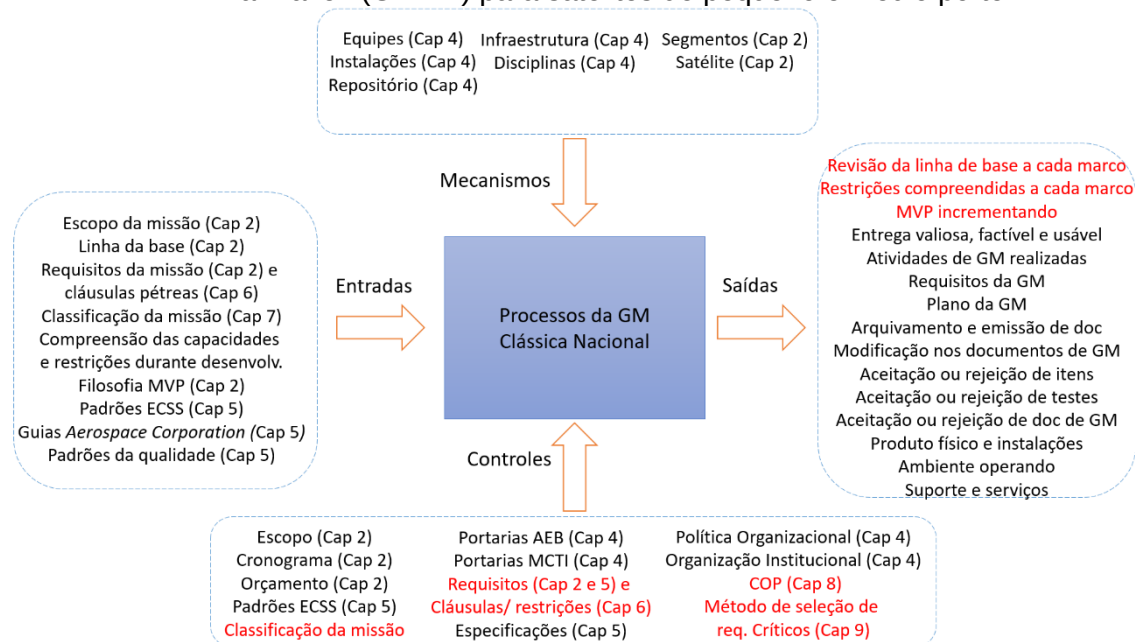
8.1 Proposta para uma nova abordagem para a garantia de missão mínima viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte

A proposta foi construída após a análise das referências existentes, das filosofias adotadas internacionalmente e nacionalmente (de instituições reconhecidas no setor espacial: INPE, AEB, Aerospace Corporation, NASA, DoD, ESA, cf. os Capítulos 2-6) e as comparações entre elas (Capítulo 7). Assim, foi possível observar as possibilidades de adequá-las e até otimizá-las.

A proposta traz: 1) uma nova organização das informações, abordagens e ferramentas, que podem auxiliar a GMMV; 2) noções de requisitos críticos (priorizados na Garantia de Missão Clássica) e restrições pétreas (priorizados na Garantia de Missão Moderna); 3) um método de seleção destes; 4) critérios de balanceamento entre aqueles, baseados nos padrões e normas existentes; 5) seus usos no balanço daqueles, buscando a adequação e até a otimização de recursos; 6) um estudo de caso, ilustrando 1-5.

A Figura 8.1 apresenta um diagrama IDEF0 de nível superior para a proposta de Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte. Seus itens serão explicados com maiores detalhes neste Capítulo e no próximo.

Figura 8.1 - Diagrama IDEF0 de nível superior para a proposta de Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte.

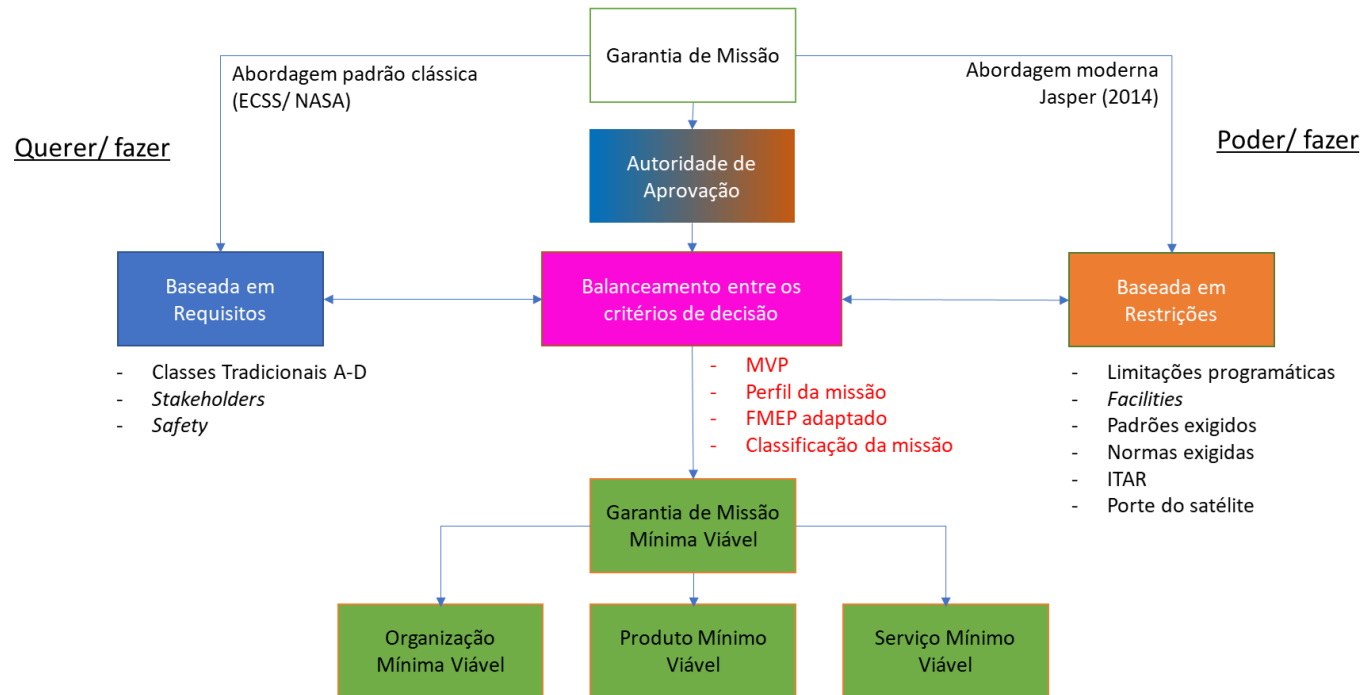


Os itens em vermelho constam apenas na proposta apresentada. Os itens em preto constam nas demais referências de instituições reconhecidas no setor espacial: INPE, AEB, Aerospace Corporation, NASA, DoD, ESA, vistos nos Capítulos 4, 5 e 6. Os itens de “Saída” em preto foram abordados no Capítulo 4, 5 e 6.

Fonte: Autora.

A Figura 8.2 mostra a filosofia da nova proposta, intitulada Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) (“*Minimum Viable Mission Assurance*” - MVMA). Nelas, existe um balanço entre a filosofia “baseada em requisitos” (priorizada na GM Clássica) (detalhada nos Capítulos 4 e 5) e a filosofia “baseada em restrições” (priorizada na GM Moderna) (detalhada no Capítulo 6), com o objetivo de encontrar uma Garantia de Missão Mínima Viável.

Figura 8.2 - Filosofia da Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte.



Os itens em vermelho constam apenas na proposta apresentada. Os itens em preto constam nas demais referências, usadas no levantamento do estado da arte sobre o tema, obtidas de instituições reconhecidas no setor espacial: INPE, AEB, Aerospace Corporation, NASA, DoD, ESA. A caixa azul representa a abordagem de GM clássica (NASA e ESA). As caixas laranjas representam a abordagem de GM Moderna (Jasper, 2014). A caixa magenta representa a GM balanceada (nova proposta). As caixas em verde representam os resultados da aplicação da GM balanceada.

Fonte: Autora.

Como a Figura 8.2 mostra, a proposta é: estender a filosofia MVP (Capítulo 2) aos resultados da GM, como Organização Mínima Viável, Produto Mínimo Viável e Serviço Mínimo Viável, para atender aos objetivos/escopo e às condições/limitações da missão (Capítulo 2), adequar e até aprimorar suas implementações técnica e gerencial. A Figura 8.2 também mostra a Autoridade de Aprovação (AA, vide Seção 8.1.1), com poder de decisão/balanceamento final, até do seu nível de envolvimento.

A Figura 8.3 apresenta as informações essenciais para a Garantia de Missão Mínima Viável, separadas por tipos e seus itens. Para o **balanceamento**, **critérios de decisão** baseados nos padrões e normas existentes consideram alguns itens, a saber: 1) a definição do perfil da missão (será apresentado no Capítulo 9); 2) a classificação da missão (Seção 8.1.2); 3) a definição da prontidão (perfil) da missão; 4) o FMEP adaptado à seleção de **requisitos críticos** e **restrições pétreas**.

Figura 8.3–Informações essenciais para a Garantia de Missão Mínima Viável.



Fonte: Autora.

8.1.1 A figura da autoridade de aprovação na garantia de missão mínima viável

Na abordagem de Garantia de Missão Moderna vista no Capítulo 6, existe a figura da Autoridade de Aprovação, sendo essa de fundamental importância para garantir a missão.

As limitações programáticas costumam ser as mais motivadoras para missões de satélites de pequeno porte, pois se espera que elas sejam relativamente mais rápidas e baratas que as demais. Independentemente das expectativas, a realidade é que programas com cronogramas mais curtos e custos mais baixos muitas vezes reduzem o perfil/envolvimento da Garantia de Missão.

Para Jasper (2014), a Autoridade de Aprovação (AA) de um programa é considerada o órgão responsável por aceitar /rejeitar riscos, e aprovar /reprovar revisões em um programa, etc. Seu envolvimento na estrutura de uma organização pode até aumentar a garantia da missão, mesmo que as práticas e técnicas destas não sejam inovadoras. Concluindo, é essencial para um bom atendimento das expectativas da missão. Para isso, cabe eleger de forma clara a AA e quais os níveis de envolvimento que ela terá na garantia da missão.

As Autoridades de Aprovação terão maior envolvimento no cumprimento dos requisitos da missão, nas aceitações ou aprovações à medida que a missão esteja precisando de um acompanhamento mais próximo. Isso é medido de acordo com o perfil da missão, avaliando a maturidade da organização, dos desafios no desenvolvimento da missão/projeto/produto, experiência das equipes de GM (engenheiros de sistemas que estão à frente da fabricação) e maturidade tecnológica envolvida. Outro fator que é levado em consideração é a relevância dos requisitos, sendo eles de fundamental importância para a missão ou não. Os requisitos críticos para o sucesso da missão precisam ser identificados e a AA os acompanhará com mais cuidado e rigor, porém esse mapeamento precisa existir para que a missão não exija demais de requisitos com menos importância.

A seguir é apresentada uma alternativa de modelo de organização onde a AA é credenciada para comprovar e verificar o cumprimento dos requisitos.

8.1.2 Garantia de missão baseada em requisitos e restrições

Após apresentar a figura da Autoridade de Aprovação, explora-se a garantia de missão baseada em requisitos e restrições. Como já dito, esta proposta foi delineada após revisarem-se as referências existentes relacionadas às Garantias de Missões Espaciais Internacional e Nacional (de instituições

renomadas e referências no setor espacial, como: INPE, AEB, Aerospace Corporation, NASA, DoD, ESA) e realizarem-se as comparações entre elas (Capítulo 7). Dessa forma, foi possível observar as possibilidades de sua adequação e até aprimorar para os satélites de pequeno e médio porte, balanceando-se os requisitos para a missão (oriundos de seus objetivos), com suas restrições (oriundos de suas condições) de forma a viabilizar a missão. Para tal, os requisitos e restrições serão balanceados por critérios de decisão escolhidos de forma a ponderar qual a real necessidade da missão, organização e equipe envolvida. Ao final, haverá a seleção e classificação de requisitos e restrições, juntamente com uma proposta de envolvimento da Autoridade de Aprovação.

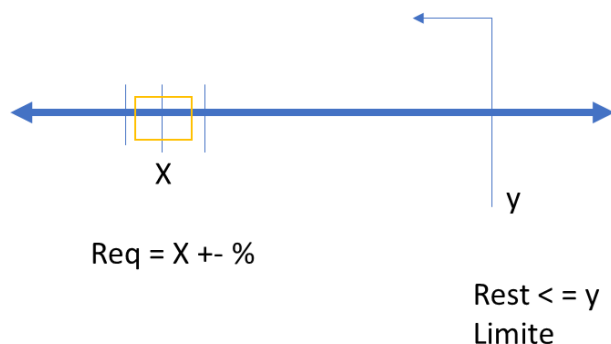
8.1.2.1 Requisitos e restrições gerais, e específicas para satélites de pequeno e médio porte

Os requisitos e as restrições expressam os objetivos e os limites da missão, devendo ser classificados por seus impactos no sucesso/fracasso da missão.

Tipicamente: os requisitos são declarações afirmativas que possuem uma margem para seu atendimento. Já as restrições são declarações negativas que trazem um contexto de limitações. Podem ter acoplamentos/relações entre si.

A Figura 8.4 ilustra faixas típicas de requisitos e de restrições gerais. Se assim for, então eles serão logicamente similares e serão selecionáveis pelo método do Capítulo 9. É fundamental selecioná-los/classificá-los por seus impactos no sucesso/fracasso da missão, e acoplá-los/relacioná-los ou não, para adequar os recursos e o nível de envolvimento da AA.

Figura 8.4 - Faixas típicas de requisitos e de restrições gerais.



Req – requisito; Rest – restrição; x e y – variáveis.

Fonte: Autora.

Requisitos e restrições gerais impactantes para as missões são: as características próprias do ambiente espacial; órbita; desenvolvimento das tecnologias; janela de oportunidade de lançamento; infraestrutura de desenvolvimento, teste, fabricação e montagem; local de lançamento; veículo lançador; fornecedores e suas exigências; equipe treinada e certificada; valores financeiros envolvidos, sua forma de obtenção e execução; políticas estratégicas tanto internas como externas a instituição; parcerias e colaboradores; obtenção de recursos humanos qualificados e disponíveis para atuação na oportunidade necessária, etc. Além destes, **requisitos e restrições específicas** impactantes para satélites de pequeno e médio porte são: massa, volume, potências, orientação, comunicação, armazenamento, etc.

8.1.2.2 Requisitos e restrições programáticas

Avançando mais, tem-se os requisitos e restrições programáticas. Cf. Branco et al. (2016), desde o início da missão cabe definir as informações importantes para a concepção da missão, como: definição do escopo da missão, critérios de aceitação, entregas, restrições, exclusões, premissas, benefícios esperados, metas, riscos de alto nível, Estrutura Analítica da Missão (EAP), (*Work Breakdown Structure-WBS*), dentre outras.

Para poder elaborar requisitos bem aderentes à missão, é importante ter o conhecimento dos aspectos que compõem a missão como um todo e suas definições. Portanto essa etapa inicial, de concepção é de extrema importância e requer dedicação.

Segundo Branco et al. (2016), o primeiro passo para se definir o escopo tem relação com o critério de sucesso da missão, sendo esse o atendimento das demandas/necessidades dos *stakeholders*. Essas demandas/necessidades posteriormente serão desdobradas em requisitos. Isso levará à especificação de uma missão que tenha as características e funcionalidades que atendam a esses requisitos. Esse primeiro momento é de fundamental importância para se poder evoluir para a seleção dos requisitos críticos.

Conforme Branco et al. (2016), outro aspecto importante para a definição do escopo, de acordo com PMI (2017) é, levantar “todo o trabalho necessário e somente o trabalho necessário”, estabelecendo a Missão Mínima (só objetivos críticos) Viável (só restrições pétreas). Para o escopo da missão tem-se como o trabalho que deve ser realizado para entregar os benefícios, com as características específicas. Especialmente, na área espacial tem-se outras restrições com: instalações, normas, ITAR, porte da missão, etc.; e no Brasil, com a escassez de recursos humanos especializados, tratada a seguir.

8.1.2.3 Alternativa para solucionar a restrição de recursos humanos - *Design Organisation Approval*

Uma restrição importante é a escassez de recursos humanos especializados na **Organização Certificadora (OC)** para trabalhar no projeto. Esta seção apresenta uma solução possível para este problema dentro de grandes instituições, principalmente públicas, que colaboraria positivamente com a Garantia de Missão Mínima Viável. Tal solução será apenas esboçada aqui (para futuras pesquisas) via o conceito de Pessoa Jurídica Credenciada/ Credenciamento de Organizações de Projeto que deriva do DOA (*Design Organization Approval*) (Capítulo 2), utilizado pela EASA (*European Union Aviation Safety Agency*). Esse conceito precisa passar por alguns ajustes para se adaptar à realidade da área espacial.

No conceito DOA, há toda uma filosofia que traz um alto nível de qualidade ao processo de desenvolvimento, desde o seu início. A ideia é que a **Organização de Projeto (OP)** deve fazer as atividades de comprovação e verificação, por sua **Autoridade de Aprovação (AA)**, de cumprimento, em vez de ter a **Organização Certificadora (OC)** via sua **Autoridade Certificadora (AC)** verificando, de perto, o cumprimento da linha de base de requisitos. A AA representa a AC num projeto/processo/atividades/níveis específicos/acordados.

A Autoridade de Aprovação (AA) decide o seu **Nível de Envolvimento (NE)**, (*Level of Involvement - Lol*, em Inglês), para cada assunto relativo a um processo de certificação (no caso da aviação), de acordo com as regras da DOA.

A implantação desta filosofia na área espacial ainda é inovadora não apenas no Brasil, mas no mundo, neste formato. A utilização dessa filosofia é ideia da autora desta Tese (em partes ou integralmente), tendo mencionado primeiramente em sua Dissertação de Mestrado, Silva (2017). Sendo o primeiro passo para uma nova atuação do INPE (ou outras instituições) no cenário da Garantia de Missões espaciais e em conjunto com o IFI/DCTA, podendo também, servir de base para o processo de certificação de satélites no Brasil. A filosofia, adaptada à área espacial, será chamada de "**Space DOA (SDOA)**".

De acordo com Silva (2017), a filosofia SDOA, certamente será a resposta futura para as seguintes preocupações: falta de mão-de-obra qualificada; aumento da demanda de trabalho; melhoria da qualidade dos produtos espaciais brasileiros; fortalecimento dos processos de desenvolvimento; avanço de tecnologias; e melhoria na confiabilidade.

A proposta é o SDOA acompanhar de forma diferenciada (mais próxima, ou seja, a AA realizar todo o acompanhamento do cumprimento dos requisitos e restrições que serão itens congelados na linha de base) os requisitos críticos e as restrições pétreas da missão definidos a partir do escopo da missão, restrições programáticas, aspectos técnicos e gerenciais, e os requisitos de confiabilidade (*reliability*) e segurança contra acidentes (*safety*). Já os demais assuntos/ itens da Garantia de Missão, que não impactam os requisitos críticos

nem as restrições pétreas, podem seguir a fluidez do processo, sofrer ajustes a cada marco do desenvolvimento do ciclo de vida da missão, e se adequar à medida que a capacidade real e as restrições do sistema são compreendidas.

Cf. IFI (2022), a delegação de parte das atividades a uma OP precisa ser dentro de um escopo previamente acordado, é de fundamental importância estabelecer um nível de confiança entre a OP/AA e a OC/AC. Também é importante ressaltar que a delegação estará aprovada em um plano específico. Nem todas as organizações podem utilizar essa prática; mas, no mínimo, aquelas que demonstrem ter um **Sistema de Garantia de Projetos (SGP)** implementado. Isso deve estar demonstrado no **Manual de Organização Credenciada (MOC)** da OC. É fundamental seguir um processo de credenciamento passando pela estruturação da empresa, implementação do SGP, e execução do credenciamento.

Como forma de verificar a melhoria propiciada pela implementação dessa parte da proposta, serão contabilizados o número de pessoas envolvidas, a quantidade de barreiras para a comprovação dos requisitos, o número de requisitos envolvidos, a velocidade de resposta às demandas, dentre outros, além de ser apresentado como se estruturar essa filosofia dentro da instituição.

Agora, para selecionar os requisitos críticos e as restrições pétreas, definir e balancear os critérios de decisão (sobretudo, a classificação de risco da missão e o envolvimento da AA) mostrados na Figura 8.2, necessitam-se os seguintes:

8.1.3 Grupos de Ações (GAs) para compor e aplicar a Garantia de Missão baseada em requisitos e restrições

Após apresentarem-se os conceitos de garantia de missão baseada em requisitos e restrições, juntamente com a proposta de aplicação das duas filosofias de forma conjunta e equilibrada, é necessário: apresentar e detalhar aqui os Grupos de Ações (GAs) para compor os blocos da Figura 8.2; e metodizá-los, avaliá-los e aplicá-los à GMMV nos Capítulos 9-11, destacando:

- **GA1:** definição do perfil e classificação de risco da missão (Seções 8.2.1 e 8.2.2.1);

- **GA2:** definição da Autoridade de Aprovação e seu nível de envolvimento (Seção 8.2.2.2);
- **GA3:** seleção de requisitos críticos e restrições pétreas (Seção 8.2.4); e
- **GA4:** análises de acoplamentos e impactos de requisitos X restrições (Seção 8.2.4.1).

Ao final da composição e aplicação dos GAs apresentados acima, é possível realizar um balanceamento entre requisitos e restrições, no nível de envolvimento da Autoridade de Aprovação (AA), e estabelecer a adequação e até a adequação dos esforços envolvidos na garantia de missão, mediante o estudo das demandas envolvidas, compondo assim a Garantia de Missão Mínima Viável. Ressalta-se ainda que apesar do método apresentar os GAs sequencialmente, alguns deles podem necessitar de várias iterações (ou seja, voltar em GAs anteriores para poder realizar uma nova análise) para assim contribuir de forma coerente com as necessidades reais tanto da missão quanto dos requisitos e restrições apresentadas.

8.2 Detalhamento de uma nova abordagem para a Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte

A proposta feita na Seção 8.1 incluirá um método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas. Para detalhá-la, iremos: 1) iniciá-la a seguir no Capítulo 8 (inclusive como preparação para a aplicação de tal método); 2) prosseguí-la no Capítulo 9 (inclusive com a descrição e aplicação de tal método); 3) avaliá-la por 17 especialistas, no Capítulo 10; 4) exercitá-la num estudo de caso, no Capítulo 11. Para compatibilizá-la com as normas ECSS, a proposta adaptará a seguir, os 7 passos da norma ECSS-S-ST-00-02C (ECSS, 2020):

8.2.1 Passo 1 - Identificação das características do projeto

- estabelecer o contexto do projeto, escopo e escala;

- características programáticas: política de risco, aspectos gerais de políticas envolvidas, financeiro, cronograma, aspectos econômicos e contratuais; e
- características técnicas: objetivo da missão (ciclo de vida e ambiente), complexidade técnica, engenharia, qualidade, aspectos do produto e científicos.

8.2.2 Passo 2 - Análise das características do projeto e identificação dos riscos

Após a Identificação das características do projeto com os *stakeholders*, as principais características a serem consideradas são: objetivos da missão, tipo do produto, características da missão em si (tipo de órbita, duração de vida esperada, disponibilidade, etc.), restrições do ambiente (interfaces externas, regulamentações contratuais, etc.), custo até o encerramento, cronograma, nível de compromisso, maturidade das tecnologias, complexidade da organização e maturidade dos fornecedores. De posse dessas informações cabe definir a classificação de risco da missão. É fundamental saber qual é a **Classe de Risco da Missão (CRM)**, pois os demais passos precisarão dessa informação para guiar os processos e atividades fundamentais, lembrando sempre em focar no mínimo necessário para a missão acontecer.

A Tabela 8.1 apresenta uma proposta de Classificação de Risco de Missão (CRM) para satélites de pequeno e médio porte. Nela, foram criadas três classes: **Sat 1 mais rigorosa, Sat 2 moderada e Sat 3 mais branda, com o código de cores vermelho, amarelo, verde, respectivamente**. Essa tabela foi criada tendo como base as comparações realizadas no Capítulo 7 (Seção 7.1.1).

Tabela 8.1 - Proposta de Classificação de Risco de Missão (CRM) para satélites de pequeno e médio porte.

Proposta de classificação de risco de missão para satélites de pequeno ou médio porte			
Características	Classe C (Padrão) e Classe III - Sat 1 (mais rigorosa)	Classe C e Classe III (Negociada)- Sat 2 (rigor médio)	Classe D e Classe IV – Sat 3 (menos rigorosa)
Aceitação do risco	<u>Baixa para*</u> Média	Média	Alta
Significância nacional	<u>Alta para*</u> Média	Média	Baixa - Nenhuma
Custo da aquisição	Médio	Médio	Baixo
Limitações de lançamento	Baixa	Baixa	Baixa - Nenhuma
Alternativas	Algumas	Algumas	Significantes
Sucesso da missão	Padrões de GM reduzidos	Padrões de GM <u>negociados*</u>	Padrões de GM baixos
Complexidade	Média - Baixa	Média - Baixa	Baixa
Tempo de missão	2 a 5 anos	2 a 5 anos	< 2 anos
Manutenção de Voo	Talvez possível	Talvez possível	Talvez possível, se planejado
Custo	Médio - Baixo (<50 M Euro)	Médio - Baixo (<50 M Euro)	Baixo (< 1M Euro)

Os itens pintados em laranja apresentam diferenças nas instituições pesquisadas (americanas e europeias) (abordados no Capítulo 7, Item 7.1.1); os itens com asterisco* sofreram adaptação e foram ajustados para se enquadrarem a satélites de pequeno e médio porte, em um cenário onde essas missões podem ter alta prioridade nacional.

Fonte: Autora.

8.2.2.1 Detalhamento das classes de risco da missão

Classe Sat 1: origem Classes C (USA) e III (ESA) (vide Seção 7.1.1 desta Tese, ECSS (2021b), Aerospace Corporation (2011) e NASA (2018a), mesclando as classificações americana e a europeia. A aceitação de risco para essas missões é de baixa para média. Se a missão falhar ou for gravemente mal executada, gerará impacto alta para médionas metas nacionais. As cargas úteis são geralmente experimentais. Geralmente têm uma vida útil de 2 a 5 anos. O risco baixo ou médio de alcançar o sucesso da missão pode ser

aceitável com requisitos, normas, especificações e processos da GM **reduzidos**. A autora propõe que: 1) os requisitos sejam devidamente rastreados, 2) com suas justificativas, utilizando 3) um método acordado (alinhado e aprovado pela AA) de *tailoring* dos requisitos, além de usar um conjunto personalizado resultante de requisitos necessários, especificações e normas.

Classe Sat 2: origem Classes C (USA) e III (ESA) (vide Seção 7.1.1 desta Tese, ECSS (2021b), Aerospace Corporation (2011) e NASA (2018a), mesclando as classificações americana e a europeia. A aceitação de risco para essas missões é média com o objetivo de manter o custo de aquisição médio-baixo. Se a missão falhar ou for gravemente mal executada, gerará impacto médio nas metas nacionais. As cargas úteis são geralmente experimentais. Geralmente têm uma vida útil de 2 a 5 anos. A autora propõe que: 1) a aceitação de maior risco de alcançar o sucesso da missão seja permitida com 4) um conjunto **negociado** com a AA de requisitos, normas e especificações para GM. Esta classe se diferencia da classe Sat 1 no que se refere aos requisitos de GM. Nesta classe eles podem ser **negociados** com a AA e não precisam passar por todo os processos de 1) rastreabilidade quanto às 2) justificativas e 3) método de *tailoring* acordado. Existe uma maior liberdade na negociação dos requisitos junto a AA.

Classe Sat 3: Origem Classe D (USA) e IV (ESA), (vide Seção 7.1.1 desta Tese), ECSS (2021), Aerospace Corporation (2007a) e NASA (2018), mesclando as classificações americana e a europeia, mas excluindo a Classe V (ESA), dos satélites educacionais por suas massas e custos. A aceitação de risco para essas missões é alta, com o objetivo de manter o custo de aquisição mais baixo. Se a missão falhar ou tiver um desempenho gravemente inferior, haverá baixo-nenhum impacto nas metas nacionais. As cargas úteis são caracterizadas como experimentais. Geralmente têm uma vida útil de 3 meses a 2 anos. A aceitação de risco é mais alta para obter o sucesso da missão. A autora propõe que: seja permitido 4) um conjunto **mínimo negociado** de requisitos, normas, especificações e processos da GM e 2) baixos padrões de

qualidade para a área espacial. Haverá 3) pouco envolvimento com a AA, 1) apenas nos marcos das revisões e nas entregas.

8.2.2.2 Definição da Autoridade de Aprovação e seu nível de envolvimento

A Figura 8.5 mostra uma proposta de **Níveis de Envolvimento (NEs)** da AA versus os tipos de requisitos, restrições e critérios. Assim, dependendo dos fatores elencados acima, a AA terá um nível de envolvimento mais leve no Nível 1, intermediário no Nível 2, e mais rigoroso no Nível 3. Para estes, usa-se o mesmo código de cores das figuras anteriores.

Figura 8.5 - Proposta de Níveis de Envolvimento (NEs) da AA versus os tipos de requisitos, restrições e critérios.



Fonte: Autora.

A Figura 8.6 mostra uma proposta de atividades da AA versus Níveis de Envolvimento da AA.

Figura 8.6 - Proposta de atividades da AA versus os Níveis de Envolvimento da AA.



Fonte: Autora.

8.2.3 Passo 3- Pré-seleção de normas ECSS ou demais que sejam aplicáveis.

Neste momento é realizada a pré-seleção de todas as possíveis normas que sejam aplicáveis à missão, dada as suas características. Após estudar as características da missão, nos passos acima, é possível decidir as normas que poderão ser utilizadas. É recomendável usar a pré-adequação (*pré-tailoring*) cf. a tabela listada na Seção 5.4 do “*Standards Tailoring Baseline*” (ECSS, 2020); e também utilizar o *template* EAT do mesmo documento.

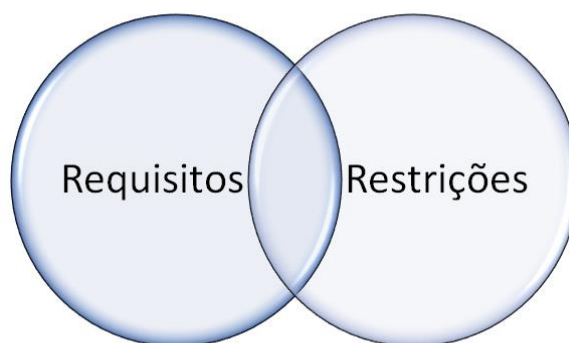
8.2.4 Passo 4- Seleção de requisitos e restrições cf. as normas aplicáveis

Esta seção apresenta de forma sucinta o método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas que será proposto e detalhado no Capítulo 9. Primeiramente, os aspectos técnicos e gerenciais da missão precisam ser estruturados, planejados e respeitados durante toda a missão; e, como resposta a essas preocupações, a presente proposta estabelece um método

que é a seleção de requisitos críticos e restrições pétreas. Por este método, serão selecionados os requisitos e restrições mínimas para o sucesso da missão, cf. seu escopo bem definido, tornando-se seus requisitos críticos e suas restrições pétreas.

A Figura 8.7 mostra o espaço do projeto com as regiões contendo os requisitos, as restrições, e sua intersecção. Nesta, eles coexistem e, após a seleção, são candidatos a se tornarem requisitos críticos e restrições pétreas. Por isso, ambos precisam ser selecionados e acompanhados pela AA de forma mais próxima.

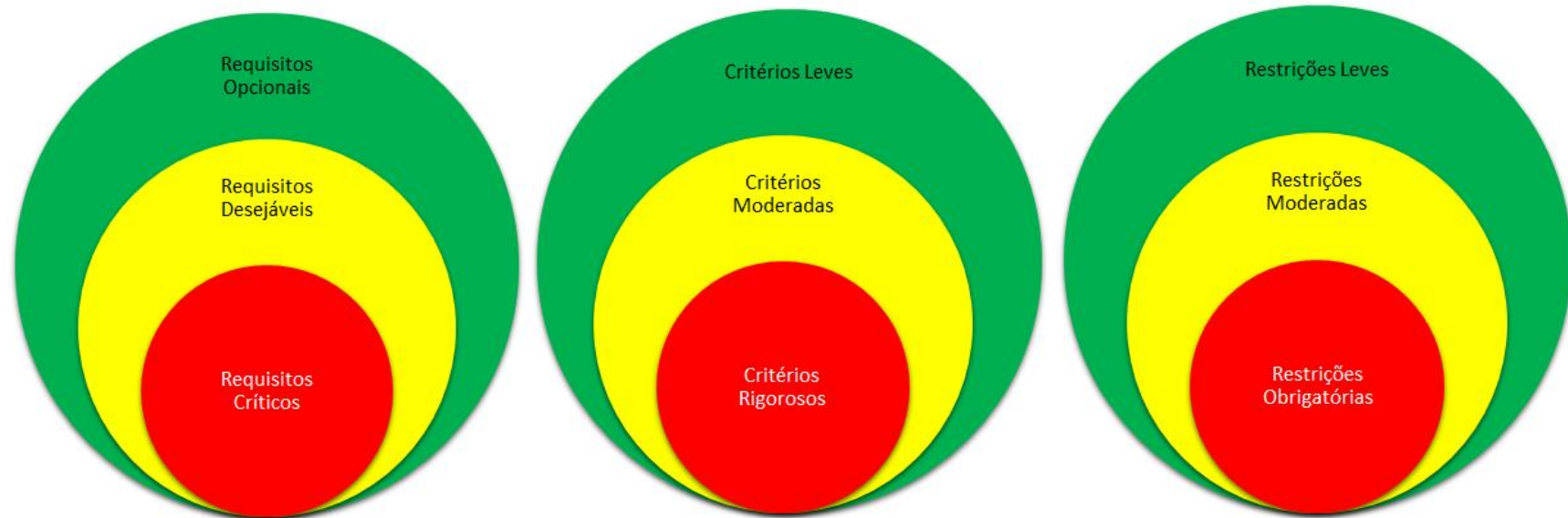
Figura 8.7 - Espaço de projeto com requisitos X restrições.



Fonte: Autora.

A Figura 8.8 mostra o espaço de projeto com os tipos de requisitos, cr terios e restrições adotados para este trabalho, de forma a padronizar e desenvolver o método de seleção de requisitos. Para estes, usa-se o mesmo código de cores das figuras anteriores.

Figura 8.8 - Espaço de projeto com tipos de requisitos, critérios e restrições.



Fonte: Autora.

A Figura 8.8 mostra requisitos críticos, desejáveis e opcionais. Os requisitos críticos compreendem o menor subconjunto necessário para o sucesso da missão. Os requisitos desejáveis e opcionais podem ser desatendidos dentro de certos limites, pois impactam de forma mais branda na missão. Para selecionar os requisitos críticos será utilizada uma ferramenta para verificar seu impacto na missão, vide Capítulo 9.

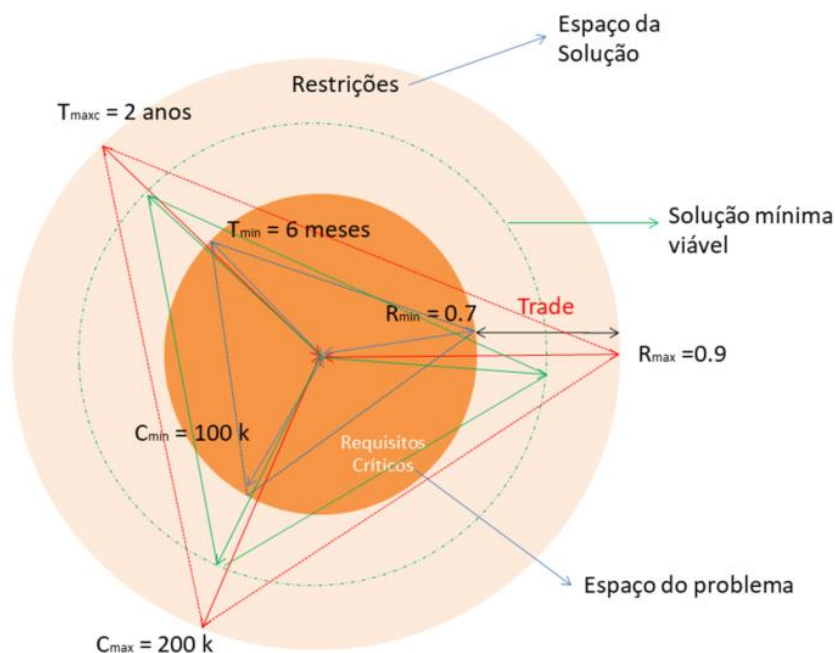
A Figura 8.8 mostra restrições pétreas, moderadas e leves. As restrições pétreas compreendem o menor subconjunto sem o qual haverá o fracasso da missão. As restrições moderadas e leves podem ser violadas dentro de certos limites, pois impactam de forma mais branda na missão. Para selecionar as restrições pétreas será utilizada uma ferramenta para verificar seu impacto na missão, vide Capítulo 9.

A Figura 8.8 mostra critérios rigorosos, moderados e leves. Esses critérios são usados para balancear os requisitos e as restrições. Eles incluem: a maturidade da organização, experiência na área, maturidade da equipe da GM, arquiteturas apresentadas e sua maturidade. Pois esses fatores impactam diretamente na forma de atuação da GM e nível de envolvimento das AA.

8.2.4.1 Análises de acoplamentos e impactos de requisitos versus restrições

Deve-se ressaltar que avaliar: 1) os acoplamentos entre requisitos e restrições, via análise acoplada; e 2) os impactos de mudanças de uns sobre os outros, via análise de impactos; é essencial para se poder classificá-los pela Figura 8.9. Em tese, todos podem ser acoplados com todos e impactar em todos, via dependências multivariáveis, como ilustrado na Figura 8.9, de forma simplificada. Isto poderá ocorrer em qualquer missão e precisará ser considerado na construção das análises de acoplamentos e de impactos no Capítulo 9.

Figura 8.9 - Espaço de projeto com alguns requisitos, restrições, acoplamentos, e impactos multivariáveis.



T – Tempo/Prazos; R – Confiabilidade/Qualidade; C – Custos/Dinheiro.

Fonte: Autora.

Por isso, o método proposto e detalhado no Capítulo 9 busca encontrar uma versão mais enxuta dos requisitos (críticos) e das restrições (pétreas), para estabelecer a Missão Mínima Viável (MMV) e os Níveis de Envolvimento (NE) da AA. O método traz algumas graduações que podem ser estendidas e ampliadas dependendo do tamanho e complexidade da missão que se deseja garantir. Nesse caso o método poderá ser adaptado às necessidades da missão.

8.2.5 Passo 5- Finalização dos requisitos e restrições

Ressalte-se ainda que, apesar do método apresentar os passos sequencialmente, alguns deles podem necessitar de várias iterações (ou seja, voltar a passos anteriores para poder realizar uma nova análise) para assim contribuir de forma coerente com as necessidades reais tanto da missão quanto dos requisitos e restrições apresentadas, e finalizá-las.

8.2.6 Passo 6 - Harmonização dos requisitos e restrições

Espera-se que, durante e após a aplicação de tal método, seja possível realizar um balanceamento entre requisitos e restrições, no nível de envolvimento da Autoridade de Aprovação (AA), e estabelecer a adequação e até a otimização dos esforços envolvidos na garantia de missão, mediante o estudo das demandas envolvidas, e harmonizá-las.

8.2.7 Passo 7 - Documentação da aplicabilidade dos requisitos e restrições

Espera-se que, durante e após a aplicação de tal método, seja possível implementar todo o processo e documentar a aplicabilidade dos requisitos e restrições num ambiente de Engenharia de Requisitos e Sistemas, preservando a memória e compondo assim a Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV).

8.3 Aplicação de CRM e NE da AA à missão EQUARS

A seguir, exercita-se a proposta feita acima pela aplicação de parte (CRM, NE) da Seção 8.2 à missão EQUARS de forma a validar seus atributos e definições. Como parte da proposta é delineada baseando-se nessa seção, é de fundamental importância seu exercício. Em contrapartida, dado ao escopo estabelecido, não avançaremos na seleção dos requisitos críticos nem restrições pétreas neste momento.

Este trabalho utilizou os documentos do INPE disponíveis ao público referentes ao evento de Revisão de Requisitos Preliminar (*Preliminary Requirements Review, PRR*) realizado no INPE em 2019, relacionados à missão EQUARS.

A PRR teve como objetivo apresentar a viabilidade do projeto, avaliar a especificação dos requisitos preliminares e dos planos preliminares de gerenciamento, desenvolvimento e de garantia do produto e seus aspectos programáticos. Essa revisão marcou o final da Fase A e subsidiou a avaliação sobre a prontidão do projeto para avançar à Fase B.

8.3.1 Classificação de Risco da Missão EQUARS

De acordo com o “Plano Preliminar da Garantia de Missão” (INPE, 2019a), para a classificação de risco da missão EQUARS foi adotada a metodologia utilizada pela NASA, de acordo com o documento de referência TOR-2011(8591) - 21 – *Aerospace Report – Mission Assurance Guidelines for A-D Mission Risk Classes* (Aerospace Corporation, 2011). De acordo com a abordagem proposta, o risco foi classificado como Classe C.

Sendo assim, os planos de garantia do produto, incluindo suas disciplinas, como descrito na estrutura organizacional, serão compostos considerando esta classe de risco, podendo ser adequados para situações específicas.

Originalmente, de acordo com INPE (2019a), a Classe C foi escolhida dado ao seu caráter exploratório e experimental (com relação às cargas úteis), tempo da missão menor que 4 anos, custos medianos, complexidade média para a área espacial.

Dessa forma, aplicando a classificação proposta na Tabela 8.1, à missão EQUARS, ela se enquadraria na Classe Sat 1 ou na Classe Sat 2. Assim, ela se manteria na Classe C originalmente estabelecida, mas poderia explorar duas situações diferentes: uma onde o sucesso da missão poderia utilizar de “padrões de GM reduzidos” como a original; ou ainda, na segunda, aderir a “padrões de GM negociados”, como mostra a Tabela 8.2:

Tabela 8.2 - Aplicação da CRM proposta na Tabela 8.1 à missão EQUARS.

Características	Classe C (Padrão) e Classe III - Sat 1	Classe C e Classe III (Negociada) - Sat 2
Aceitação do risco	<u>Baixa para</u> Média	Média
Significância nacional	<u>Alta para</u> Média	Média
Custo da aquisição	Médio	Médio
Limitações de lançamento	Baixa	Baixa
Alternativas	Algumas	Algumas
Sucesso da missão	Padrões de GM reduzidos	Padrões de GM <u>negociados</u>
Complexidade	Média - baixa	Média - baixa
Tempo de missão	2 a 5 anos	2 a 5 anos
Manutenção de Voo	Talvez possível	Talvez possível
Custo	Médio - baixo (<50 M Euro)	Médio - baixo (<50 M Euro)

Fonte: Autora.

Nessas classes, a aceitação de risco para essas missões é moderada. Se a missão falhar ou for gravemente mal executada, gerará impacto nas metas nacionais. As cargas úteis são geralmente experimentais. Geralmente têm uma vida útil de 2 a 5 anos.

8.3.2 Nível de Envolvimento da AA na missão EQUARS

Para definir a classificação de risco da missão faz-se necessário a inserção da figura da Autoridade de Aprovação, pois será de fundamental importância essa figura estabelecer quais são seus interesses mais importantes, inclusive seus recursos e estruturação para prover o acompanhamento.

Na primeira situação, Classe Sat 1, as exigências de qualidade são superiores, pois: os requisitos são mais restritivos e engessados; o risco médio de não alcançar o sucesso da missão pode ser aceitável, com requisitos e processos da GM reduzidos; os requisitos devem ser devidamente rastreados, com suas

justificativas, utilizando um método acordado de *tailoring* dos requisitos, além de um conjunto personalizado resultante de requisitos necessários, especificações e normas.

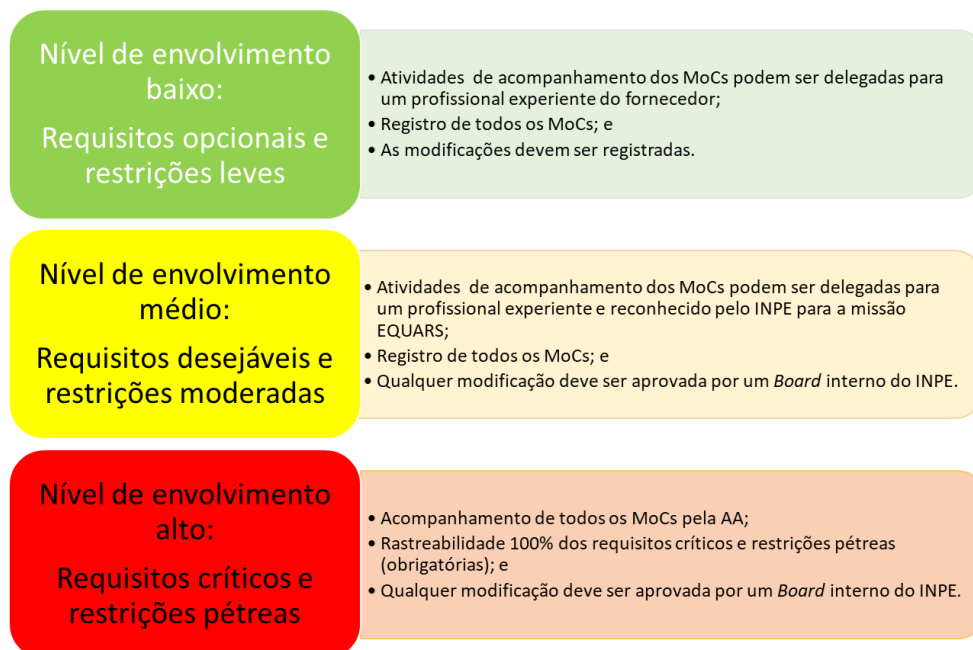
Para isso, se deverá seguir um método de *tailoring* de requisitos aprovado, todos os requisitos terão que ser devidamente rastreados em uma plataforma adequada, onde constarão todas as justificativas de cada requisito e seus casos de afastamento (*waiver*) e desvio (*deviation*). Esses itens impactam em todo o desenvolvimento da missão e, portanto, resultam num conjunto maior de requisitos para serem acompanhados de perto pela AA.

Já na Classe Sat 2, é permitido com um conjunto negociado com a AA de especificações impostas e requisitos de padrões para a GM. Esta classe se diferencia da Classe Sat 1 no que se refere aos requisitos de GM. Nesta classe eles podem ser negociados com a AA e não precisam passar por todo o processo de rastreabilidade quanto aos padrões, justificativas e método de *tailoring* acordado. Existe uma maior liberdade na negociação dos requisitos junto a AA.

Nessa classe: a missão não precisa empregar todos os requisitos dos padrões; apenas os requisitos negociados com a AA serão devidamente rastreados. Como não utilizarão um processo de *tailoring* comprovado, a seleção será mais rápida, porém sem um método validado e conhecido. Isso gerará menos requisitos, podendo trazer mais rapidez e menos custos associados.

Após a classificação de risco da missão é possível partir para a seleção dos requisitos críticos e das restrições pétreas; e estabelecer o nível de envolvimento da AA, proposto nas Figuras 8.5 e 8.6, à missão EQUARS, como mostra a Figura 8.10. Nesse caso, é possível verificar que, com a devida estruturação e organização da instituição e dos envolvidos, os trabalhos acompanhados pela AA se concentrariam nos requisitos de nível 3 por serem mais importantes. Um ponto positivo é que a AA não despenderia esforços com requisitos que não impactam a missão de uma forma significativa. Isso geraria um maior controle para aqueles que são realmente importantes.

Figura 8.10 - Aplicação do NE proposto nas Figuras 8.5 e 8.6 à missão EQUARS.



Fonte: Autora.

Após apresentar a proposta de GMMV e seus GAs e passos, os Capítulos 9, 10 e 11, os detalharão, avaliarão e aplicarão, começando pelo método de seleção de requisitos críticos e restrições péticas.

9 MÉTODO DE SELEÇÃO DE REQUISITOS CRÍTICOS E RESTRIÇÕES PÉTREAS PARA GARANTIA DE MISSÃO

Baseado na proposta e no detalhamento de uma nova abordagem para a GMMV de satélites de pequeno e médio porte feitos no Capítulo 8, este capítulo propõe e detalha um método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas para a GMMV de satélites de pequeno e médio porte.

9.1 Proposta de um método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas

Com a seleção dos requisitos críticos e restrições pétreas, é possível encontrar uma solução para a GMMV para satélites de pequeno e médio porte, como proposto e detalhado no Capítulo 8. O cerne da GMMV são: 1) os requisitos críticos e as restrições pétreas (cf. a Figura 8.8) que irão compor a linha de base; para, assim, 2) poder elencar o nível de envolvimento da Autoridade de Aprovação (cf. a Figura 8.5); e 3) balancear e garantir o cumprimento desses requisitos e restrições (cf. a Figura 8.6).

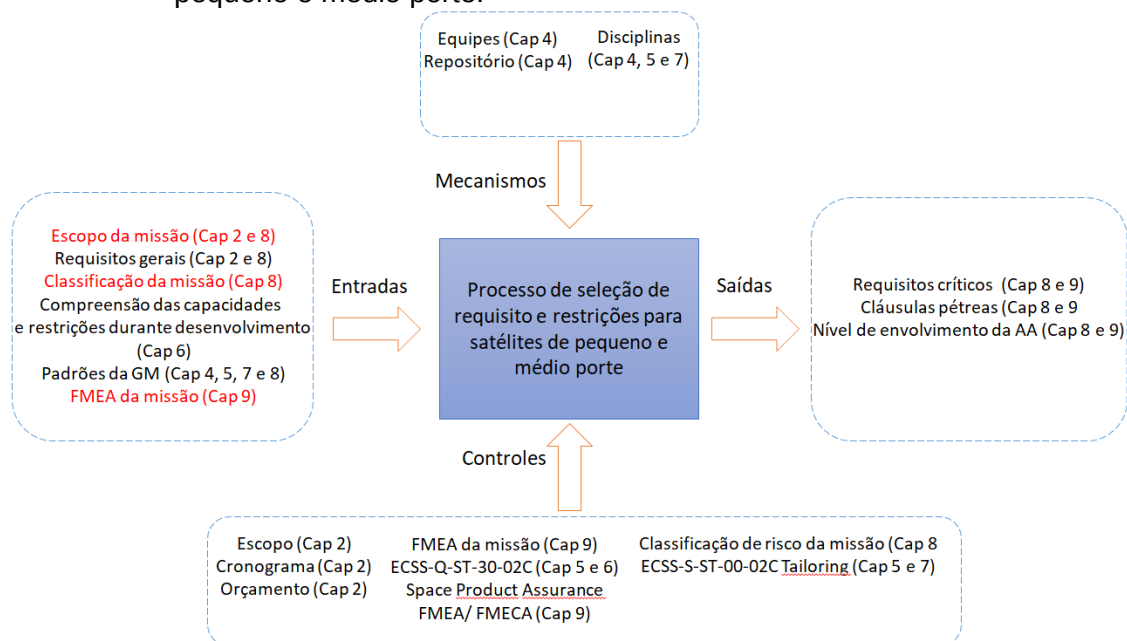
Esses requisitos críticos e as restrições pétreas não poderão ser alterados durante os avanços de fase da missão; os demais podem direcionar de uma maneira diferente a missão, como na filosofia MVP.

Foi possível elaborar uma proposta após o levantamento das referências existentes sobre requisitos/que priorizam sua adequação (*tailoring*) (Capítulos 4, 5 e 7), tendo como base as filosofias adotadas nacionais (Capítulo 4), internacionais (Capítulo 5), idem sobre restrições (Capítulo 6) e ainda as comparações entre elas (Capítulo 7); assim, cabe observar as possibilidades de aprimoramento para os satélites de pequeno e médio porte.

A proposta traz um método que pode auxiliar na garantia de missão, a adequação e até a otimização dos recursos, pois tem como foco principal os requisitos e restrições que são fundamentais para a missão.

A Figura 9.1 apresenta um diagrama IDEF0 de nível superior com o contexto geral do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas. Os itens serão explicados com maiores detalhes durante este capítulo.

Figura 9.1- Diagrama IDEF0 de nível superior com o contexto geral do método de seleção de requisitos críticos e as restrições pétreas para satélites de pequeno e médio porte.



Os itens em vermelho são constantes apenas na proposta apresentada.

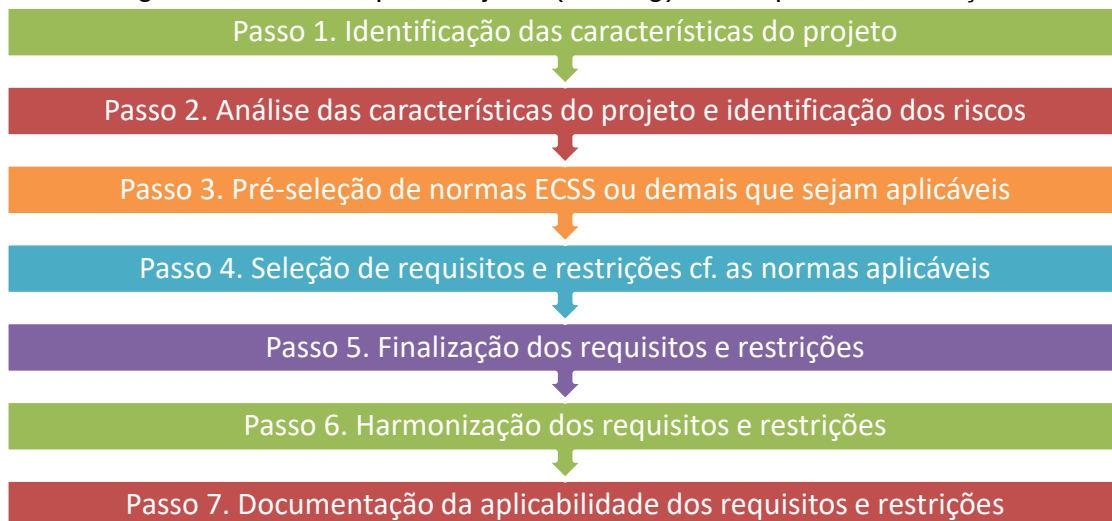
Fonte: Autora.

9.2 Detalhamento do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas

A proposta de método feita na Seção 9.1: 1) baseia-se e foi iniciada no Capítulo 8. Para detalhá-la, iremos: 2) prosseguir-la no Capítulo 9 (com a descrição e aplicação de tal método); 3) avaliá-la por 17 especialistas, no Capítulo 10; 4) exercitá-la num estudo de caso, no Capítulo 11. Para compatibilizá-lo com as normas ECSS, o método: 1) adaptar  os 7 passos da norma ECSS-S-ST-00-02C (ECSS, 2020), como mostrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**2; e 2) os detalhar  a seguir; mas seu maior desenvolvimento é aplicado especificamente no Passo 4 do documento (Figura 9.3). Para isso, então, esta proposta descrever  os passos anteriores para obter as informações necessárias.

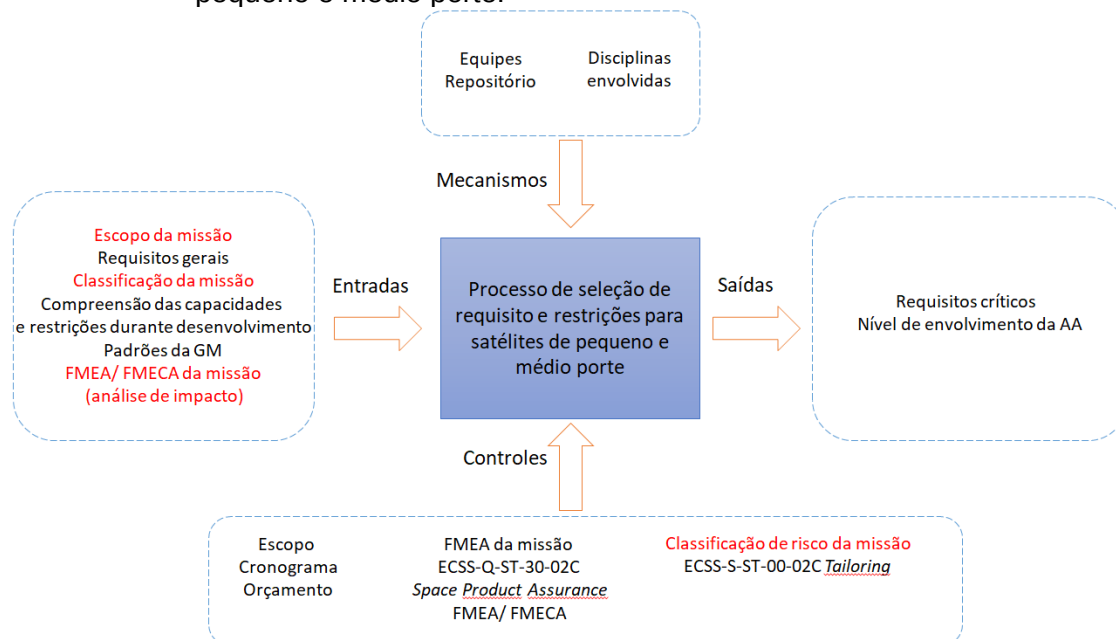
É importante ressaltar que, ao final das etapas de classificação e de balanceamento, os requisitos bem como as restrições da missão se tornarão requisitos e restrições formalizados com suas classificações.

Figura 9.2 - Passos para o ajuste (*tailoring*) dos requisitos e restrições.



Fonte: ECSS (2020), adaptado pela autora.

Figura 9.3 - Diagrama IDEF0 de nível superior referente ao Passo 4 do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas para satélites de pequeno e médio porte.

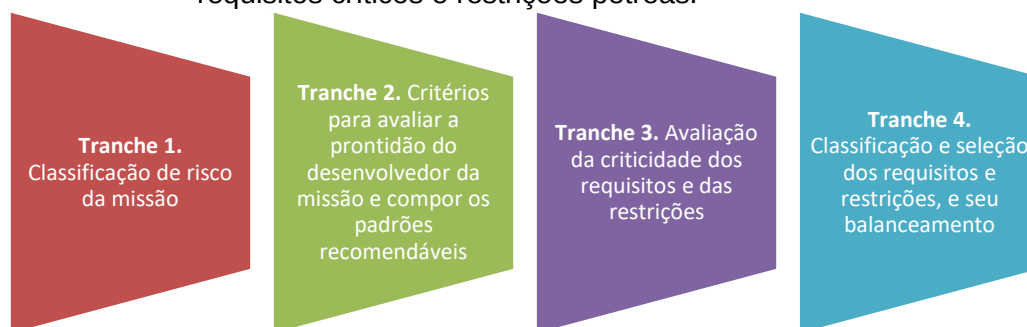


Os itens de vermelho são constantes apenas na proposta apresentada.

Fonte: Autora.

Dentro dos Passos são elencadas *Tranches*, formas de organizar e direcionar as atividades do método. A Figura 9.4 apresenta as *Tranches* que constituem o método para a classificação e seleção dos requisitos críticos e restrições péticas.

Figura 9.4 - Tranches que constituem o método para a classificação e seleção dos requisitos críticos e restrições péticas.



Fonte: Autora.

9.2.1 Preparação para a aplicação do método de seleção de requisitos e restrições

Para a preparação para a aplicação do método, metodizam-se os Passos 1 a 3 da Seção 8.2, sugerindo formas possíveis de realizar as atividades.

É importante ressaltar que a primeira atividade fundamental para este momento é a definição de forma clara da Autoridade de Aprovação (AA) (cf. a Seção 8.2.2.2), existente na missão para, em seguida, realizar os passos abaixo.

Ressalta-se ainda que, apesar do método apresentar passos sequenciais, alguns dos itens elencados abaixo podem necessitar de várias iterações (ou seja, voltar em passos anteriores para poder realizar uma nova análise) para assim contribuir de forma coerente com as necessidades reais tanto da missão quanto dos requisitos e restrições apresentadas.

Passo 1 - Identificação das características do projeto

- estabelecer o contexto do projeto, escopo e escala;
- características programáticas: política de risco, aspectos gerais de políticas envolvidas, financeiro, cronograma, aspectos econômicos e contratuais; e

- características técnicas: objetivo da missão (ciclo de vida e ambiente), complexidade técnica, engenharia, qualidade, aspectos do produto e científicos.

Passo 2 - Análise das características do projeto e identificação dos riscos

As principais características a serem analisadas são: objetivos da missão, tipo do produto, características da missão em si (tipo de órbita, duração de vida esperada, disponibilidade, etc.), restrições do ambiente (interfaces externas, regulamentações contratuais, etc.), custo até o encerramento, cronograma, nível de compromisso, maturidade das tecnologias, complexidade da organização e maturidade dos fornecedores. De posse dessas informações cabe definir a classificação de risco da missão, pela aplicação da **Tranche 1**:

Tranche 1) Classificação de risco da missão

Para se fazer a adequação (*tailoring*) dos requisitos, é de fundamental importância saber qual a classificação de risco da missão pela Tabela 8.1. Essa classificação está de acordo com os padrões internacionais utilizados na área espacial, como citado nos textos abaixo. Essas informações foram reunidas e as aplicáveis para satélites de pequeno e médio porte foram selecionadas.

Passo 3 – Pré-seleção das normas ECSS ou demais que sejam aplicáveis.

Neste momento é realizada a seleção de todos os possíveis padrões que serão aplicados na missão, dada as suas características.

Após estudar as características da missão, nos passos acima, é possível decidir os padrões que serão utilizados.

É recomendável usar o *pré-tailoring* da tabela listada na Seção 5.4 do “*Standards Tailoring Baseline*” (ECSS, 2020). Também utilizar o *template* EAT do mesmo documento. Neste momento, aplica-se a **Tranche 2**:

Tranche 2) Critérios para avaliar a prontidão do desenvolvedor da missão e compor os padrões recomendáveis

Para se poder classificar devidamente os requisitos e restrições, e os níveis de envolvimento da Autoridade de Aprovação (AA), é importante avaliar se o desenvolvedor responsável pela missão apresenta prontidão adequada para tal. Então, foram selecionados condições, critérios e escalas para avaliá-la, e assim poder ser mais exigente na classificação dos requisitos e restrições para os desenvolvedores que apresentarem notas totais baixas. Para isso, tomaram-se como base as tabelas de avaliação de projetos para a área de software (DINIZ; AMBROSIO; LAHOZ, 2019). Assim, foram elaboradas as Tabela 9.1 a Tabela 9.4, com as condições, critérios e escalas adotadas; mas elas poderão ser adaptadas para cada missão.

As notas totais que serão obtidas avaliam o **Nível de Prontidão (NP)** do desenvolvedor para desenvolver projetos espaciais. As notas serão utilizadas de duas formas: a **primeira**, para sugerir quais e quantas normas serão necessárias para compor a linha de base dos requisitos e restrições de garantia de missão para os satélites de pequeno e médio porte; e a **segunda**, para selecionar o nível de envolvimento da Autoridade de Aprovação (AA) na comprovação dos requisitos e restrições, e o rigor na aplicação de tais normas.

As condições avaliadas serão: a experiência do desenvolvedor na área espacial, o sistema de qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial, o histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial, a solução de engenharia adotada pelo desenvolvedor para a missão espacial. Cada uma será desdobrada em critérios na sua tabela. A escala está dividida em três graus diferenciados, exemplificados pelos números **0, 5 e 10**, avaliando tais condições; e inversamente, a necessidade de **critérios: rigorosos, moderados ou leves**, respectivamente. Essas condições, critérios e escalas poderão ser adaptadas para cada missão, caso se queira um maior detalhamento ou estratificação dos valores.

A Tabela 9.1 apresenta os critérios para avaliar a experiência do desenvolvedor na área espacial.

Tabela 9.1- Critérios para avaliar a experiência do desenvolvedor na área espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
1. Experiência do desenvolvedor na área espacial		Min	Med	Max	
1.1. Experiência com o desenvolvimento de projetos/ programas/ produtos espaciais	Escala	0	5	10	
	Experiência	< 2anos	entre 2 e 4	> 4	
1.2. Experiência com o sistema ECSS ou padrões espaciais para a Garantia do Produto.	Escala	0	5	10	
	Experiência	< 2	entre 2 e 4	> 4	
1.3. Experiência com outros padrões de Garantia de Missão	Escala	0	5	10	
	Experiência	< 2	entre 2 e 4	> 4	

Fonte: Autora.

A Tabela 9.2 apresenta os critérios para avaliar o sistema de qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial.

Tabela 9.2 - Critérios para avaliar o sistema da qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
2. Sistema de qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial		Min	Med	Max	
2.1. Avaliação da capacidade de aderência à ISO 9001	Escala	0	5	10	
	Experiência	Baixa	Média	Alta	
2.2. Sistema de qualidade implementado	Escala	0	5	10	
	Implantação	não	em andamento	Sim	
2.3. Sistema da garantia de projeto implementado	Escala	0	5	10	
	Implantação	não	em andamento	Sim	
2.4. Figura do Escritório de Projetos implementado	Escala	0	5	10	
	Implantação	não	em andamento	Sim	
2.5. Equipe de trabalho com experiência em Garantia do Produto ou Garantia da Qualidade ou Garantia de Missão	Escala	0	5	10	
	Experiência	< 2 anos	entre 2 e 4 anos	> 4 anos	

Fonte: Autora.

A Tabela 9.3 apresenta os critérios para avaliar o histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial.

Tabela 9.3 - Critérios para avaliar o histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
3. Avaliação do histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial		Min	Med	Max	
3.1. Entidade com a Garantia do Produto estruturada na área de serviços e operações	Escala	0	5	10	
	Estruturação	Inicial	em andamento	Finalizada	
3.2. Entidade com processos de Gerenciamento da Configuração estruturados na área de serviços e operações	Escala	0	5	10	
	Estruturação	Inicial	em andamento	Finalizada	

Fonte: Autora.

A Tabela 9.4 apresenta os critérios para avaliar a solução de engenharia adotada pelo desenvolvedor para a missão espacial.

Tabela 9.4 - Critérios para avaliar a solução de engenharia adotadas pelo desenvolvedor na missão espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
4. Solução de engenharia adotada pelo desenvolvedor para a missão espacial		Min	Med	Max	
4.1. Complexidade da solução de arquitetura do sistema	Escala	0	5	10	
	Complexidade	Alta	Média	Baixa	
4.2. Tamanho do satélite (de acordo com a Seção 2.11)	Escala	0	5	10	
	Tamanho	Médio	pequeno	-	
4.3. Uso de novas tecnologias	Escala	0	5	10	
	Novidade	Muita	Alguma	Nenhuma	
4.4. Desenvolvimento do produto	Escala	0	5	10	
	Desenvolvimento	Muito	Algum	Nenhum	
4.5. Verificações ambientais	Escala	0	5	10	
	Experiência	Muito	Algum	Nenhum	

Fonte: Autora.

A **nota total** do **Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD)** é a soma das notas nas Tabelas 9.1 a 9.4. Notas totais mais baixas mostram que: o desenvolvedor não possui muita experiência; ou ainda, precisa aprimorar sua

prontidão para o desenvolvimento de projetos espaciais; ou ainda, o projeto possui um maior desafio nas tecnologias envolvidas. Isso acarreta a aplicação de normas adicionais para compor a linha de base, tendo assim, a necessidade de um rigor adicional. Desenvolvedores com notas mais baixas precisarão de maior rigor nos acompanhamentos e de normas adicionais de exigência para conseguir estar em uma prontidão adequada para realização da missão, cf. detalhado a seguir.

Com a nota total do Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD) (cf. as Tabelas 9.1 a 9.4) e com a Classe de Risco da Missão (CRM) (cf. a Tabela 8.1) pode-se entrar na Tabela 9.5. Esta apresenta os critérios de decisão e suas normas associadas em função do Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD) e da Classe de Risco da Missão (CRM). Nela:

1) Usa-se o mesmo código de faixas/cores e intervalos das figuras anteriores; ou seja, valores de 1/3 do máximo (150) da Tabela 9.5, igual à soma dos máximos (30+50+20+50) das Tabelas 9.1 a 9.4.

Tabela 9.5—Critérios de decisão e suas normas associadas em função do Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD) e da Classe de Risco da Missão (CRM).

Prontidão x Classe de risco	Sat 1	Sat 2	Sat 3
Nota < 50 P3 - Menor prontidão	ISO 9001 + ECSS + FMEA da missão	<i>Tailoring</i> ECSS + FMEA da missão	<i>Tailoring</i> ECSS + FMEA da missão
50 < Nota < 100 P2 - Prontidão moderada	ISO 9001 + ECSS + FMEA da missão	<i>Tailoring</i> ECSS + FMEA da missão	Negociação alguns req. ECSS + FMEA da missão
Nota > 100 P1 - Maior prontidão	<i>Tailoring</i> ECSS + FMEA da missão	<i>Tailoring</i> ECSS + FMEA da missão	Negociação alguns req. ECSS + FMEA da missão

As cores (vermelha, amarela, verde) representam as necessidades de exigência (maior, moderada, menor), respectivamente.

Fonte: Autora.

2) Além dos requisitos e restrições programáticas específicos da missão, é importante considerar os requisitos e restrições vindos das normas da área espacial.

3) Foram estabelecidos para todos os casos, no mínimo, a aplicação ou negociação dos requisitos e restrições das normas pré-selecionadas da ECSS e a construção de uma FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM) (proposta e detalhada na Seção 9.2.3) para que seja possível avaliar qual o impacto de cada requisito e restrição, sua Criticidade, e seus acoplamentos.

4) Os guias da Aerospace Corporation, Aerospace Corporation (2007a e 2010), são recomendáveis para auxiliar na seleção das atividades e processos envolvidos.

5) As normas constantes na Tabela 9.5 são as mínimas sugeridas para a missão; porém a AA poderá fazer exigências diferenciadas adicionais.

9.2.2 Aplicação do método de seleção de requisitos e restrições

Para a aplicação do método, metodizam-se os Passos 4 a 7 da Seção 8.2, sugerindo formas possíveis de realizar as atividades.

Passo 4 - Seleção de requisitos e restrições cf. as normas aplicáveis

O método aqui apresentado é, sobretudo, aplicado no passo 4 do padrão ECSS-S-ST-00-02C (ECSS, 2020) que se refere à “Seleção de requisitos dos padrões aplicáveis”. Nesse momento, serão selecionados os requisitos e as restrições que irão compor a linha de base da missão. Para isto, aplicam-se as

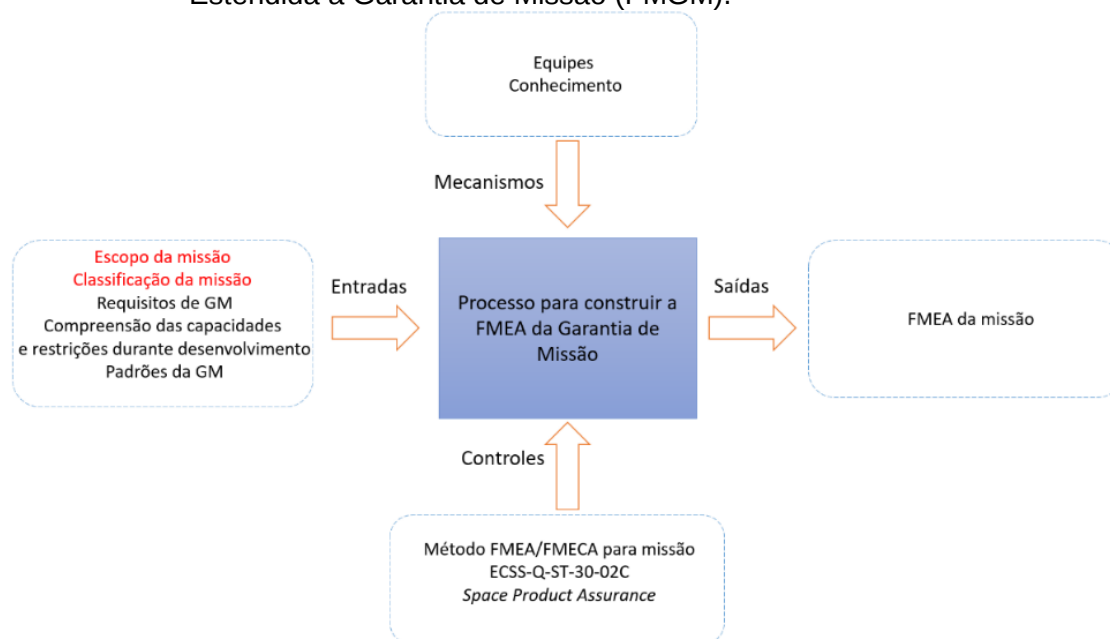
Tranches 3 e 4:

Tranche 3) Avaliação da Criticidade dos requisitos e das restrições

Neste momento, será avaliada a Criticidade dos requisitos e restrições envolvidos na missão. Para isso, é fundamental saber qual é o impacto de cada um na missão. Assim foi escolhido utilizar uma **FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM)**. A Figura 9.5 apresenta um diagrama IDEF0 do processo de construção da FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM).

Os requisitos e restrições que irão compor a garantia de missão são baseados nas especificidades da missão e nas exigências das normas da área espacial.

Figura 9.5 - Diagrama IDEF0 que representa o processo de construção da FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM).



Fonte: Autora.

9.2.3 Análise dos modos de falha, seus efeitos e sua Criticidade (FMECA) estendida à garantia de missão (FMGM)

A FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM) proposta a seguir, é baseada na FMECA Estendida a Projetos (FMEP) de Rabello (2017), a saber:

O objetivo da FMECA estendida a projetos é proporcionar a avaliação das ameaças ("modos de falha") detectadas durante a execução dos processos propostos para as fases de planejamento do projeto, projeto preliminar e projeto detalhado, de forma qualitativa, através da determinação da severidade, probabilidade de ocorrência, detectabilidade, tratabilidade, criticidade e criticidade estendida (HAAPANEN et al., 2002; RELEX, 2008a; RELEX, 2008b; RELEX, 2008c; TOLEDO et al.).

Na FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM), **os "modos de falha" são as ameaças ao não cumprimento dos requisitos ou restrições**. Como a FMEP, a FMGM é composta, no mínimo, pelos seguintes atributos:

- Severidade (S) do efeito do modo de falha, representadas por faixas/cores com exemplos de intervalos de S (Figura 9.6); e

- Probabilidade (P) de ocorrência do modo de falha, representadas por faixas/cores com exemplos de intervalos de P (Figura 9.7).

Figura 9.6 - Código de cores para a Severidade da falha.

Severidade alta	Severidade média	Severidade baixa
		

Fonte: Rabello (2017).

Figura 9.7 - Código para a Probabilidade de ocorrência.

Probabilidade baixa de ocorrência Exemplo: $0 < Probabilidade \leq 1/3$	Probabilidade média de ocorrência Exemplo: $1/3 < Probabilidade \leq 2/3$	Probabilidade alta de ocorrência Exemplo: $2/3 < Probabilidade \leq 1$
Pb	Pm	Pa

Fonte: Rabello (2017).

Para Rabello (2017), a Criticidade de cada modo de falha pode ser obtida através do produto entre a Probabilidade de ocorrência do modo de falha em avaliação e sua Severidade.

Para os intervalos de S, tem-se:

- Severidade alta (impedimento da missão); p. ex., assume: $2/3 < Valornumérico \leq 1$ de um máximo conhecido ou estimado;
- Severidade média (comprometimento da missão); p. ex., assume: $1/3 < Valornumérico \leq 2/3$ de um máximo conhecido ou estimado;
- Severidade baixa (não impacta a missão); p. ex., assume: $0 < Valornumérico \leq 1/3$ de um máximo conhecido ou estimado.

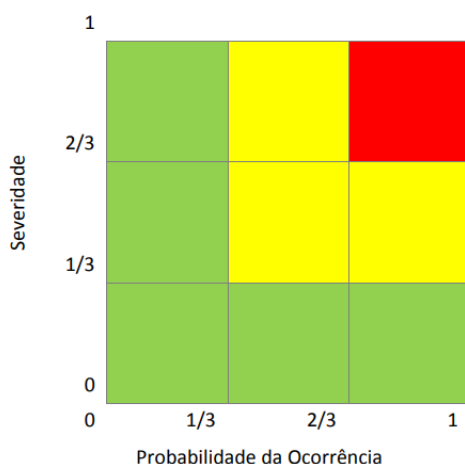
Para os intervalos de P, tem-se:

- Probabilidade alta (impedimento da missão); p.ex., assume: $2/3 < Valornumérico \leq 1$;
- Probabilidade média (comprometimento da missão); p.ex., assume: $1/3 < Valornumérico \leq 2/3$;

- Probabilidade baixa (não impacta a missão); p.ex., assume: $0 < \text{Valornumérico} \leq 1/3$.

, exprimindo o produto cartesiano $C = S \times P$ entre a Severidade da falha (S), cf. a Figura 9.6, e a Probabilidade de ocorrência (P), cf. a Figura 9.7. Nela, usa-se o mesmo código de faixas/cores e exemplos de intervalos das figuras anteriores:

Figura 9.8 - Matriz de Criticidade ($C = P \times S$) do "modo de falha" ($P = \text{Probabilidade de ocorrência} \times S = \text{Severidade da falha}$).



Fonte: Rabello (2017).

A Criticidade de requisitos e restrições ($C = P \times S$), dada pela Figura 9.8, precisa ser balanceada com a Classificação de Risco da Missão (CRM) (cf. a Tabela 8.1) e com o Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD) (cf. as Tabelas 9.1 a 9.4). Aqui, isto será feito com o produto cartesiano destes ($CRM \times NPD$) (cf. a Tabela 9.5). Para isto, as faixas da Tabela 9.5 são reordenadas na Figura 9.10. Nesta, usa-se o mesmo código de faixas/cores e exemplos de intervalos das figuras anteriores, cf. a Figura 9.9, a saber:

Figura 9.9 - Código de cores para as Classes de Risco de Missão (CRM).

Sat 1	Sat 2	Sat 3
●	●	●

Fonte: Autora.

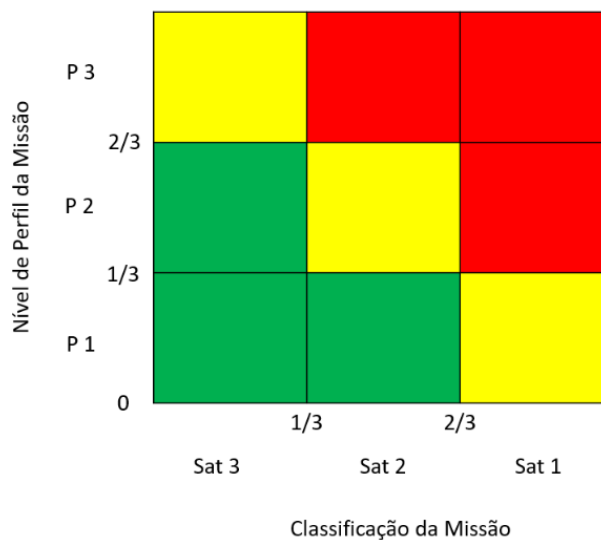
Para os intervalos de CRM, tem-se:

- Sat 1; p.ex., assume: $2/3 < Valornumérico \leq 1$;
- Sat 2; p.ex., assume: $1/3 < Valornumérico \leq 2/3$; e
- Sat 3; p.ex., assume: $0 < Valornumérico \leq 1/3$.

Para os intervalos de NPD tem-se:

- Perfil 1, maior prontidão; p.ex., assume: $0 < Valornumérico \leq 1/3$;
- Perfil 2, prontidão moderada; p.ex., assume: $1/3 < Valornumérico \leq 2/3$;
- Perfil 3, menor prontidão; p.ex., assume: $2/3 < Valornumérico \leq 1$.

Figura 9.10 - Matriz de Classe de Risco da Missão (CRM) x Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD).



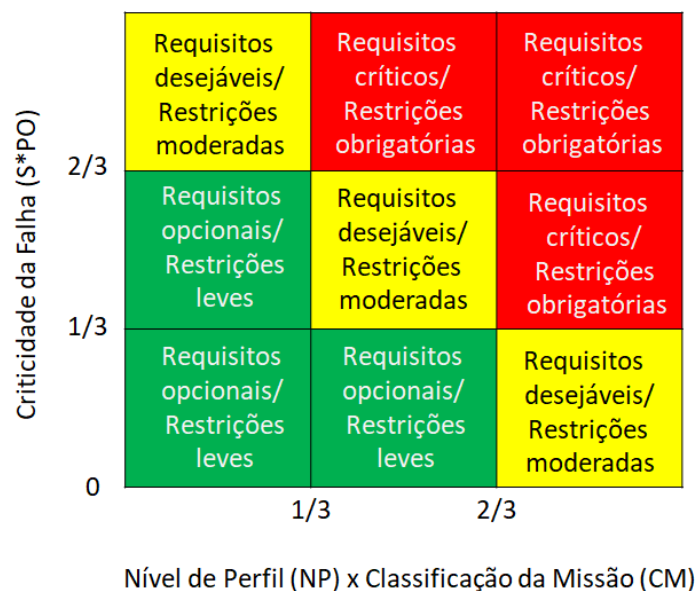
Fonte: Autora.

Por fim, faz-se o produto cartesiano de $(C= P \times S)$, dada pela Figura 9.8, com $(CRM \times NPD)$, dado pela Figura 9.10, para obter a Criticidade Balanceada $(CB= (P \times S) \times (CRM \times NPD))$ de requisitos e restrições, mostrada na Figura 9.11. Nesta, usa-se o mesmo código de faixas/cores e exemplos de intervalos das figuras anteriores, cf. a Figura 9.12:

É importante ressaltar que, ao final da aplicação do método, os requisitos desejáveis ou opcionais que impactarem ou se acoplarem aos requisitos

críticos receberão a classificação de requisitos críticos também. Idem com a restrições.

Figura 9.11 - Criticidade Balanceada ($CB = (P \times S) \times (CRM \times NPD)$) de requisitos e restrições.



Fonte: Autora.

Figura 9.12 - Código de cores para as classes de requisitos e restrições.

Requisitos críticos/ Restrições obrigatórias	Requisitos desejáveis/ Restrições moderadas	Requisitos opcionais/ Restrições leves
		

Fonte: Autora.

Tranche 4) Classificação e seleção dos requisitos e restrições, e seu balanceamento

Agora, pode-se fazer a seleção dos requisitos e restrições para cada Nível de Envolvimento da AA baseada na sua classificação por Criticidade Balanceada, a saber:

A. Seleção dos requisitos e restrições para cada NE baseada na classificação por CB encontrada

O mapeamento do Nível de Envolvimento da AA na missão pode ser obtido considerando a Criticidade Balanceada dos requisitos e restrições. A Figura 9.13 apresenta o código de cores para os Níveis de Envolvimento (NEs) da Autoridade de Aprovação (AA) em função da Criticidade Balanceada dos requisitos e restrições (Figura 9.11). Nela, usa-se o mesmo código de faixas/cores e exemplos de intervalos das figuras anteriores.

Figura 9.13 - Código de cores para os NEs da AA em função da Criticidade Balanceada (CB) dos requisitos e restrições.

Nível de envolvimento 3	Nível de envolvimento 2	Nível de envolvimento 1
Alto = Requisitos críticos/ Restrições obrigatórias	Médio = Requisitos desejáveis/ Restrições moderadas	Baixo = Requisitos Opcionais/ Restrições leves

Fonte: Autora.

Detalhando a proposta de classificação elaborada pela autora:

- **Nível de Envolvimento alto** (vermelho – requisitos críticos e restrições obrigatórias): acompanhamento estreito da AA em todas as fases e marcos da missão. Esses requisitos não podem ser alterados durante as fases da missão (linha de base fixa);
- **Nível de Envolvimento médio** (amarelo – requisitos desejáveis e restrições moderadas): verificação da AA apenas da comprovação do requisito. O acompanhamento pode ser delegado para um profissional experiente da organização executora ou fornecedor. Esses requisitos podem ser alterados durante as fases da missão (linha de base possível de alteração) e devem ser registrados em documentos configurados;
- **Nível de Envolvimento baixo** (verde – requisitos opcionais e restrições leves): verificação apenas da entrega contratual relacionada ao requisito. O acompanhamento será delegado para um profissional experiente da organização executora ou

fornecedor. Esses requisitos podem ser alterados durante as fases da missão (linha de base possível de alteração) e devem ser registrados durante os marcos de passagem de fase da missão.

B. Balanceamento dos requisitos e restrições para cada NE baseado na classificação por CB encontrada e demandas da AA

No Item A, é sugerido um determinado Nível de Envolvimento da AA, de acordo com a Criticidade Balanceada dos requisitos e restrições. Porém, é preponderante que haja uma validação desse Nível de Envolvimento com a AA, baseada nas suas necessidades internas e nas demandas recebidas. Após estar de posse dessas informações, a AA irá estudar as suas demandas internas e utilizar o envolvimento sugerido, fazer os devidos balanços que são necessários para atender às necessidades. Idem, considerando seus impactos/acoplamentos.

Além disso, após analisar vários “modos de falha”, recomenda-se utilizar o nível mais alto de classificação dentro de um mesmo requisito ou restrição.

Com os níveis de envolvimento sugeridos, a AA saberá quais requisitos e restrições são mais importantes de serem acompanhados; e, assim, adequar formas possíveis para seus acompanhamentos.

9.2.4 Passo 5- Finalização dos requisitos e restrições

Ressalte-se ainda que, apesar do método apresentar os passos sequencialmente, alguns deles podem necessitar de várias iterações (ou seja, voltar a passos anteriores para poder realizar uma nova análise) para, assim, contribuir de forma coerente com as necessidades reais tanto da missão quanto dos requisitos e restrições apresentadas; e finalizá-las, especialmente até o item A acima.

9.2.5 Passo 6 - Harmonização dos requisitos e restrições

Espera-se que, durante e após a aplicação de tal método, seja possível realizar um balanceamento entre requisitos e restrições, no nível de envolvimento da Autoridade de Aprovação (AA), e estabelecer a adequação e até a otimização dos esforços envolvidos na garantia de missão, mediante o estudo das demandas envolvidas, e harmonizá-las, especialmente **até o item B acima**.

9.2.6 Passo 7 - Documentação da aplicabilidade dos requisitos e restrições

Espera-se que, durante e após a aplicação de tal método, seja possível implementar todo o processo e documentar a aplicabilidade dos requisitos e restrições num ambiente de Engenharia de Requisitos e Sistemas, preservando a memória e compondo assim a Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV).

10 VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE GARANTIA DE MISSÃO MÍNIMA VIÁVEL

Este capítulo apresenta a validação da proposta de **GMMV**, feita no Capítulo 8.

10.1 O Método de validação e sua aplicação

A validação da proposta de Garantia de Missão Mínima Viável será feita aplicando-se às suas partes (Requisitos Críticos, Restrições Pétreas, e Critérios de Decisão), descritas no Capítulo 8, e para mensurá-las qualitativamente e quantitativamente, o mesmo método de validação adaptado pela autora (SILVA, 2014), usado por ela em sua Dissertação de Mestrado (SILVA, 2017), e publicado em (SILVA, 2023a).

O **método de validação** adapta, combina e usa:

1) A **escala de Lickert** para avaliação da **concordância ou não concordância com** os critérios e afirmações afins. Esta é uma escala psicométrica utilizada para pesquisas de opinião, com respostas a perguntas no formato de questionários. No caso, a escala é utilizada para medir **o nível de concordância ou não concordância** com os critérios e **afirmações** afins. Neste trabalho são usados cinco níveis de respostas, de acordo com a Tabela 10.1.

Tabela 10.1- Escala de avaliação dos critérios e afirmações afins.

ESCALA DE AVALIAÇÃO	
Nível	Concordância ou Não Concordância
1	Não concordo totalmente
2	Não concordo parcialmente
3	Indiferente
4	Concordo parcialmente
5	Concordo totalmente

Fonte: Silva (2014).

2) **Três grupos de critérios** com seus pesos grupais. O método atribuiu **pesos** aos **grupos de critérios** (Figura 10.1) e aos **critérios** (cf. a Figura 10.2 à

Figura 10.4), considerando a importância de cada uma das atividades considerando a importância de cada uma das atividades da Garantia de Missão. Para isto, foi realizada uma análise com a chefia do Serviço de Engenharia da Qualidade (SEQ) do INPE em 2017, para se validarem esses pesos. O **grupo técnico** tem 4 critérios com seus pesos individuais (Figura 10.2) e afirmações afins (Tabela 10.2). O **grupo operacional** tem 4 critérios com seus pesos individuais (Figura 10.3) e afirmações afins (Tabela 10.3). O **grupo tático** tem 3 critérios com seus pesos individuais (Figura 10.4) e afirmações afins (Tabela 10.4).

3). **Um modelo de pontuação e suas planilhas de avaliação**, adaptados das propostas de avaliação de projetos descritos em Nocêra (2009), e Gido e Clement (2013).

O método adotado resumiu-se em um modelo de pontuação, descrito em Nocêra (2009); e baseou-se nas planilhas de avaliação de propostas de projetos do mesmo autor. Essas foram adaptadas às necessidades; porém, o modelo de avaliação foi mantido e os fatores relevantes (técnico, operacional e tático) também.

Primeiramente, foi necessário elencar o conjunto de fatores relevantes para avaliar cada proposta e então foram estabelecidos pesos adequados (os pesos foram atribuídos pela autora e validado pela chefia do Serviço de Engenharia da Qualidade (SEQ) do INPE), pois era necessário saber quais os fatores mais relevantes para o setor espacial.

Os atributos selecionados levaram em consideração os fatores que contribuem positivamente ou negativamente para a seleção de uma proposta, nesse caso. Esses foram de caráter técnico, operacional e tático.

4) **Uma amostra de conveniência**, com dezessete (17) colaboradores com experiência em Garantia do Produto, ou em Verificação e Cumprimento de Requisitos, ou em Gestão de Projetos, atuantes no setor espacial.

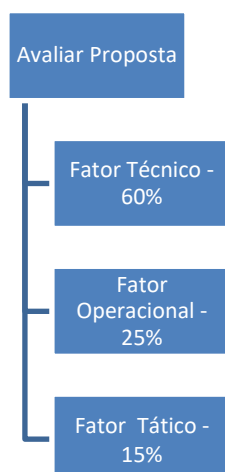
5) **Os Passos** seguintes do método de avaliação:

- selecionar a parte que será avaliada, p.ex.: uma proposta de Garantia de Missão Mínima Viável(GMMV) (vide Capítulos 8 e 9);
- elaborar uma questão para nortear as respostas; p. ex.: você considera que a proposta afeta positivamente os critérios abaixo em qual nível da escala?
- selecionar a escala para avaliação dos critérios e os níveis de avaliação; p. ex.: a da Tabela 10.1;
- elencar os critérios de avaliação de cada grupo, as afirmações afins, atribuir seus pesos, e de acordo com seu grau de importância para o setor espacial; p. ex.: os da Tabela 10.2, Tabela 10.3, Tabela 10.4 e da Figura 10.2, Figura 10.3, Figura 10.4;
- validar com profissionais experientes, os grupos de critérios e seus pesos, os critérios e seus pesos acima elencados e atribuídos; p. ex.: via os Questionários dos Apêndices A e B.
- disponibilizar eletronicamente as planilhas para os colaboradores avaliarem on-line a parte avaliada; p. ex.: as Respostas dos Apêndices A e B.
- calcular as notas ponderadas de cada colaborador; p. ex.: Figura 10.10; e
- calcular as médias dos colaboradores. p. ex.: Figura 10.10.

10.2 Aplicação do método às propostas do Capítulo 9

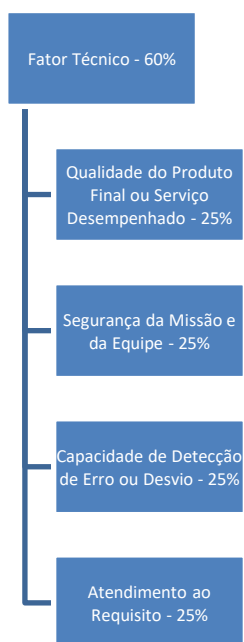
O método atribuiu pesos aos grupos de critérios (**Erro! Autoreferência de indicador não válida.**) e aos critérios (cf. a Figura 10.2 à Figura 10.4), considerando a importância de cada uma das atividades da Garantia de Missão. Para isto, foi realizada a análise com a chefia do Serviço de Engenharia da Qualidade (SEQ) do INPE em 2017, para se validarem esses pesos.

Figura 10.1 - Grupo de critérios seleccionados e seus pesos.



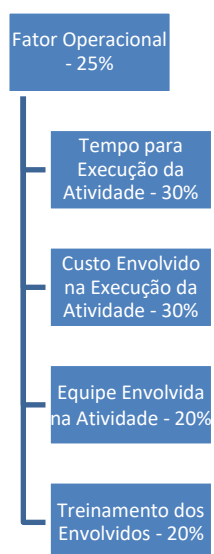
Fonte: Silva (2017).

Figura 10.2 - Critérios técnicos seleccionados e seus pesos.



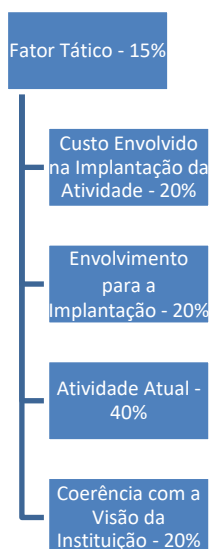
Fonte: Silva (2017).

Figura 10.3 - Critérios operacionais selecionados e seus pesos.



Fonte: Silva (2017).

Figura 10.4 - Critérios táticos selecionados e suas pontuações associadas.



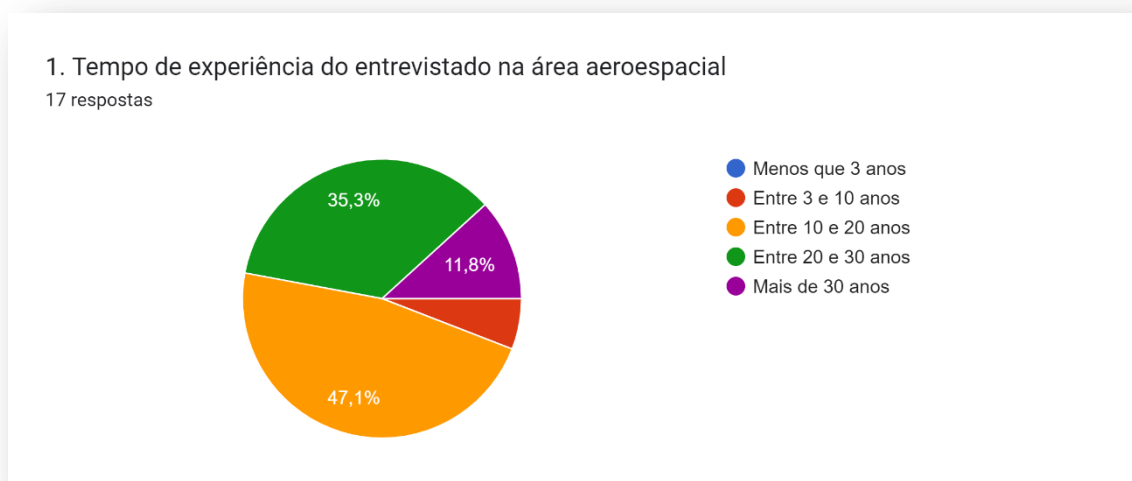
Fonte: Silva (2017).

O questionário foi distribuído para 17 membros de instituições do setor aeroespacial, a fim de coletar a avaliação vinda dos próprios colaboradores. Estes atribuíram níveis (Tabela 10.1) às afirmações afins (Tabela 10.2 a Tabela 10.4).

A amostra selecionada é de conveniência e contou com a contribuição de dezessete (17) colaboradores com experiência em Garantia do Produto ou verificação e cumprimento de requisitos ou gestão de projetos, atuantes na área de aplicação da proposta sugerida.

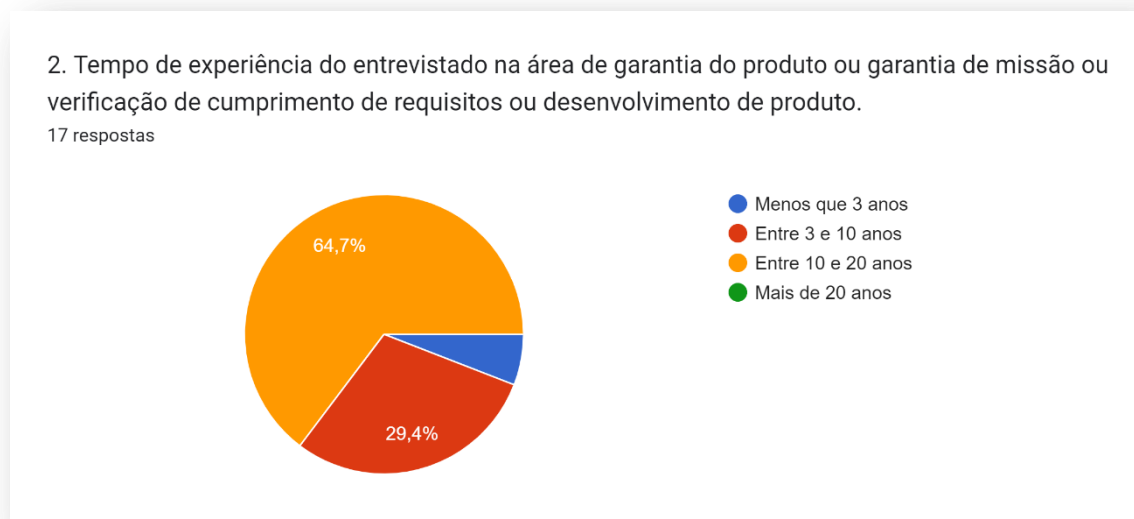
Foram selecionados 17 colaboradores com tempo de experiência diversificados na área de atuação possuindo experiência mínima de três (3) anos na área de atuação; porém, a maioria com mais de 10 anos de atuação (Figura 10.5), nas disciplinas relacionadas anteriormente (Figura 10.6) e na Instituição de atuação (Figura 10.7).

Figura 10.5 - Colaboradores x tempo de experiência no setor aeroespacial.



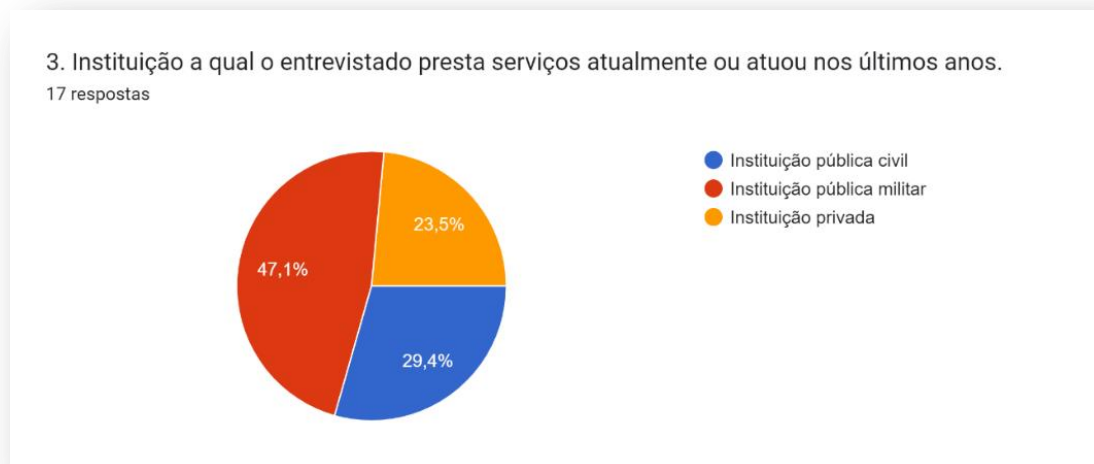
Fonte: Autora.

Figura 10.6 - Colaboradores x tempo de experiência na área de aplicação da proposta.



Fonte: Autora.

Figura 10.7 - Instituição de atuação do entrevistado.



Fonte: Autora.

O questionário tem uma questão para nortear as respostas dos 17 avaliadores, seguindo o modelo para a aplicação da escala de Likert, a saber:

- Você considera que a proposta apresentada afeta positivamente os critérios abaixo em qual nível da escala?

Os 17 avaliadores atribuíram notas (cf. os níveis da Tabela 10.1) às afirmações afins com os critérios selecionados (da Tabela 10.2 à Tabela 10.4).

Tabela 10.2 - Descrição dos critérios técnicos e afirmações afins.

Técnico

1.1. Qualidade do Produto ou Serviço Desempenhado	A proposta contribui positivamente com a garantia da qualidade do produto final ou do serviço prestado.
1.2. Segurança da Missão e da Equipe	A proposta contribui positivamente com a segurança da missão e da equipe, aumentando ou melhorando os controles, melhorando processos.
1.3. Capacidade de Detecção de Erro ou Desvio	A proposta contribui positivamente com a capacidade de detecção de erros ou desvios nas atividades desempenhadas.
1.4. Atendimento ao Requisito	A proposta contribui positivamente com o atendimento ao requisito associado.

Fonte: Silva (2017).

Tabela 10.3 - Descrição dos critérios operacionais e afirmações afins.

Operacional

2.1. Tempo para Execução da Atividade Proposta	A proposta contribui positivamente com o atendimento ao cronograma do projeto ou do serviço, mesmo levando em consideração o tempo previsto para sua execução.
2.2. Custo Envolvido na Execução da Atividade	A proposta contribui positivamente com a redução do custo envolvido na execução do projeto ou serviço, mesmo levando em consideração o custo previsto para sua execução.
2.3. Equipe Envolvida na Atividade	A proposta contribui positivamente com a equipe envolvida, atuando na troca de informações, ou melhorando seus conhecimentos, ou melhorando seus relacionamentos, ou retirando carga de trabalho da equipe (no projeto como um todo).
2.4. Treinamento dos Envolvidos	A proposta contribui positivamente com a geração de treinamentos da equipe, atuando na troca de conhecimentos, ou melhorando suas habilidades, ou aumentando a experiência.

Fonte: Silva (2017).

Tabela 10.4 - Descrição dos critérios táticos e afirmações afins.

Tático

3.1. Custo Envolvido na Implantação da Atividade	A proposta contribui positivamente com a redução do custo envolvido, uma vez que o custo de implantação seja menor comparado ao gasto associado à não implantação.
3.2. Envolvimento para a Implantação	A proposta contribui positivamente com o envolvimento para a implantação, uma vez que os envolvidos (instituições) serão afetados positivamente com o resultado final, sendo esses MCTI, INPE, SEQ ou outras instituições.
3.3. Atividade Atual	A proposta contribui positivamente com a atividade atual, uma vez que aprimora o processo, diminui o tempo gasto ao final do projeto ou serviço, ou ainda insere um controle não existente.
3.4. Coerência com a Visão da Instituição	A proposta contribui positivamente com as atividades desenvolvidas pela instituição, dentro do seu escopo de trabalho.

Fonte: Silva (2017).

A fim de realizar uma avaliação das propostas com caráter mais real possível, foram distribuídas fichas, Figura 10.8 e Figura 10.9, para os colaboradores do setor público e privado, instituições militares e civis, por exemplo: INPE, FAB, AEB, empresas do setor aeroespacial (Orbital, Embraer, Boeing, Azul, dentre outras), a fim de avaliar as propostas, através de uma pesquisa de opinião entre os membros das instituições.

Figura 10.8- Um trecho do questionário para a avaliação das propostas feitas no Capítulo 8.

The image shows a screenshot of a questionnaire form with two distinct sections, each enclosed in a light blue rounded rectangle. Each section contains a title, a descriptive statement, and a five-point Likert scale with radio button options.

Section 1:

Critério Técnico:
1.1. Qualidade do Produto ou Serviço Desempenhado.
A proposta contribui positivamente com a garantia da qualidade do produto final ou do serviço prestado.

☐ 1 - Não concordo totalmente
☐ 2 - Não concordo parcialmente
☐ 3 -Indiferente
☐ 4 - Concordo parcialmente
☐ 5 - Concordo totalmente

Section 2:

Critério Técnico:
1.2. Segurança da Missão e da Equipe
A proposta contribui positivamente com a segurança da missão e da equipe, aumentando ou melhorando os controles, melhorando processos, etc.

☐ 1 - Não concordo totalmente
☐ 2 - Não concordo parcialmente
☐ 3 -Indiferente
☐ 4 - Concordo parcialmente
☐ 5 - Concordo totalmente

Questionário disponibilizado eletronicamente para respostas on-line.

Fonte: Autora.

Figura 10.9 - Questionário para a obtenção dos perfis dos entrevistados.

Perfil do entrevistado

1. Tempo de experiência do entrevistado na área aeroespacial *

☐ Menos que 3 anos

☐ Entre 3 e 10 anos

☐ Entre 10 e 20 anos

☐ Entre 20 e 30 anos

☐ Mais de 30 anos

2. Tempo de experiência do entrevistado na área de garantia do produto ou garantia de missão ou verificação de cumprimento de requisitos ou desenvolvimento de produto. *

☐ Menos que 3 anos

☐ Entre 3 e 10 anos

☐ Entre 10 e 20 anos

☐ Mais de 20 anos

3. Instituição a qual o entrevistado presta serviços atualmente ou atuou nos últimos anos. *

☐ Instituição pública civil

☐ Instituição pública militar

☐ Instituição privada

Questionário disponibilizado eletronicamente para respostas on-line.

Fonte: Autora.

10.3 Resultados da aplicação do método

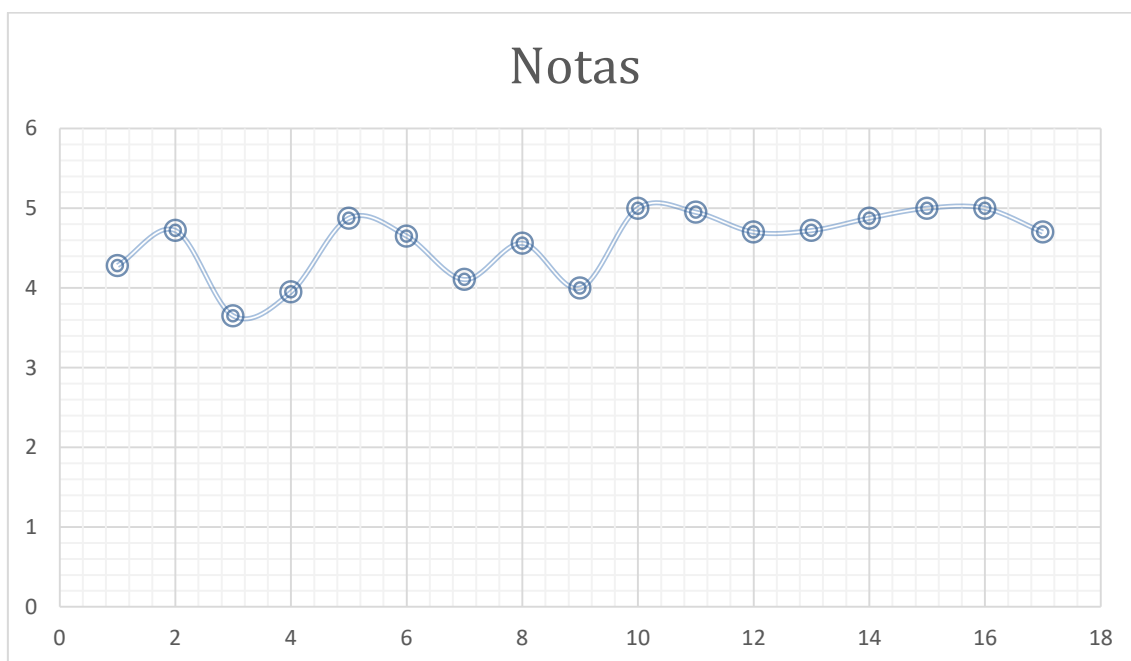
A Figura 10.10 mostra as notas brutas e ponderadas dadas aos 12 itens (em linhas) pelos 17 avaliadores (em colunas); e suas médias finais por avaliador. Estas são mostradas num gráfico na Figura 10.11.

Figura 10.10 - Notas brutas e ponderadas dadas aos 12 itens (em linhas) pelos 17 avaliadores (em colunas); e suas médias finais por avaliador.

PONTUAÇÃO DAS PROPOSTAS																																				
Questão: Você considera que a proposta enumerada afeta positivamente os critérios abaixo em qual nível da escala?																																				
1- Não Concordo Totalmente; 2- Não Concordo Parcialmente; 3- Indiferente; 4 - Concordo Parcialmente; 5 - Concordo Totalmente																																				
Proposta de Garantia de Missão Mínima Viável		PONTUAÇÃO																																		
CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO		1		2		3		4		5		6		7		8		1	9		10		11		12		13		14		15		16		17	
1	Técnico (60%)																	60																		
	1.1. Qualidade do Produto Final ou Serviço Desempenhado	4	0,6	5	0,75	4	0,6	4	0,6	5	0,75	5	0,75	4	0,6	4	0,6	25	4	0,6	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
	1.2. Segurança da Missão e da Equipe	5	0,75	5	0,75	4	0,6	2	0,3	5	0,75	5	0,75	4	0,6	4	0,6	25	4	0,6	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
	1.3. Capacidade de Detecção de Erro ou Desvio	4	0,6	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6	5	0,75	5	0,75	25	4	0,6	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	4	0,6
	1.4. Atendimento ao Requisito	5	0,75	5	0,75	4	0,6	5	0,75	5	0,75	4	0,6	4	0,6	5	0,75	25	4	0,6	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
2	Operacional (25%)																	25																		
	2.1. Tempo para Execução da Atividade	4	0,3	3	0,225	2	0,15	4	0,3	4	0,3	5	0,375	5	0,375	5	0,375	30	4	0,3	5	0,375	5	0,375	4	0,3	5	0,38	5	0,38	5	0,38	5	0,38	4	0,3
	2.2. Custo Envolvido na Execução da Atividade	4	0,3	5	0,375	2	0,15	2	0,15	5	0,375	5	0,375	2	0,15	5	0,375	30	4	0,3	5	0,375	5	0,375	4	0,3	5	0,38	4	0,3	5	0,38	5	0,38	4	0,3
	2.3. Equipe Envolvida na Atividade	5	0,25	4	0,2	5	0,25	5	0,25	4	0,2	5	0,25	4	0,2	5	0,25	20	4	0,2	5	0,25	4	0,2	5	0,25	4	0,2	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
	2.4. Treinamento dos Envolvidos	5	0,25	4	0,2	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,2	4	0,2	4	0,2	20	4	0,2	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,2	4	0,2	5	0,25	5	0,25	5	0,25
3	Tático (15%)																	15																		
	3.1. Custo Envolvido na Implantação da Atividade	2	0,06	5	0,15	2	0,06	4	0,12	5	0,15	5	0,15	5	0,15	2	0,06	20	4	0,12	5	0,15	5	0,15	4	0,12	5	0,15	5	0,15	5	0,15	5	0,15	5	0,15
	3.2. Envolvimento para a Implantação	5	0,15	4	0,12	4	0,12	4	0,12	5	0,15	5	0,15	5	0,15	5	0,15	20	4	0,12	5	0,15	5	0,15	4	0,12	4	0,12	5	0,15	5	0,15	5	0,15	5	0,15
	3.3. Atividade Atual	2	0,12	5	0,3	0	0	4	0,24	5	0,3	5	0,3	4	0,24	5	0,3	40	4	0,24	5	0,3	5	0,3	4	0,24	5	0,3	5	0,3	5	0,3	5	0,3	5	0,3
	3.4. Coerência com a Visão da Instituição	5	0,15	5	0,15	4	0,12	4	0,12	5	0,15	5	0,15	3	0,09	5	0,15	20	4	0,12	5	0,15	5	0,15	4	0,12	5	0,15	5	0,15	5	0,15	5	0,15	5	0,15
Total		4.28		4.72		3.65		3.95		4.875		4.65		4.105		4.56		4		5		4.95		4.7		4.72		4.88		5		5		4.7		

Fonte: Autora.

Figura 10.11 - Médias finais por avaliador.

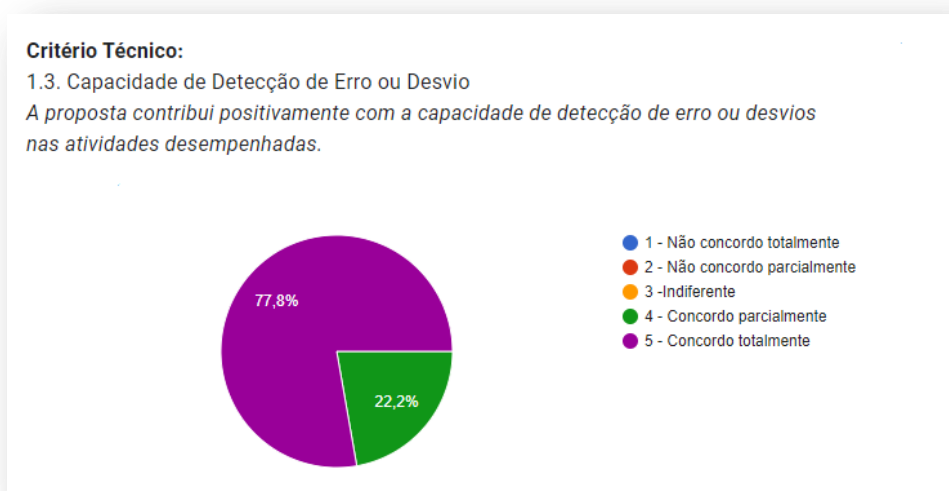


Eixo x – colaboradores; e: eixo y - notas.

Fonte: Autora.

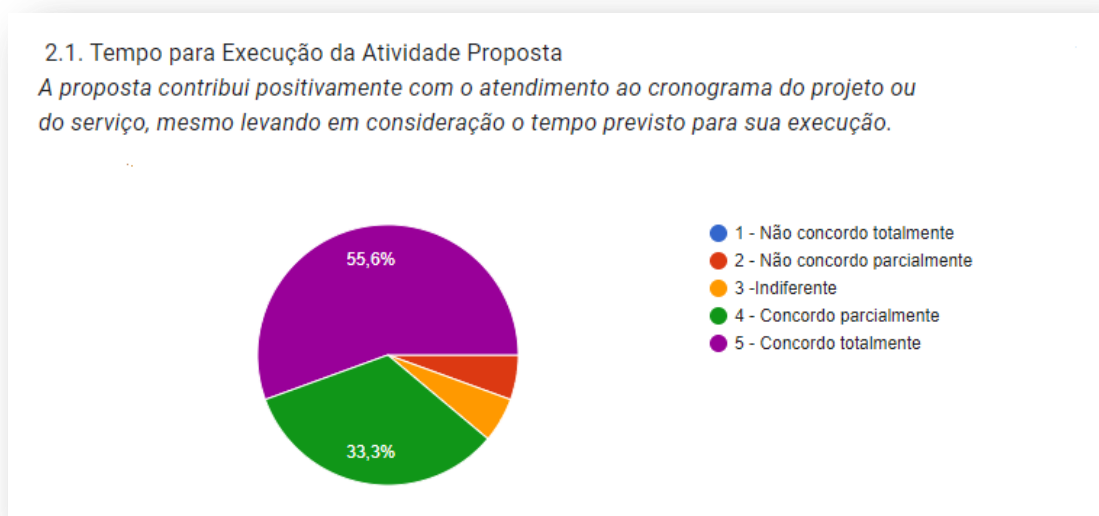
A Figura 10.14 mostram gráficos de algumas avaliações totais.

Figura 10.12 - Avaliação do Item 1.3 (capacidade de detecção de erro ou desvio) da Tabela 10.2 (critério técnico).



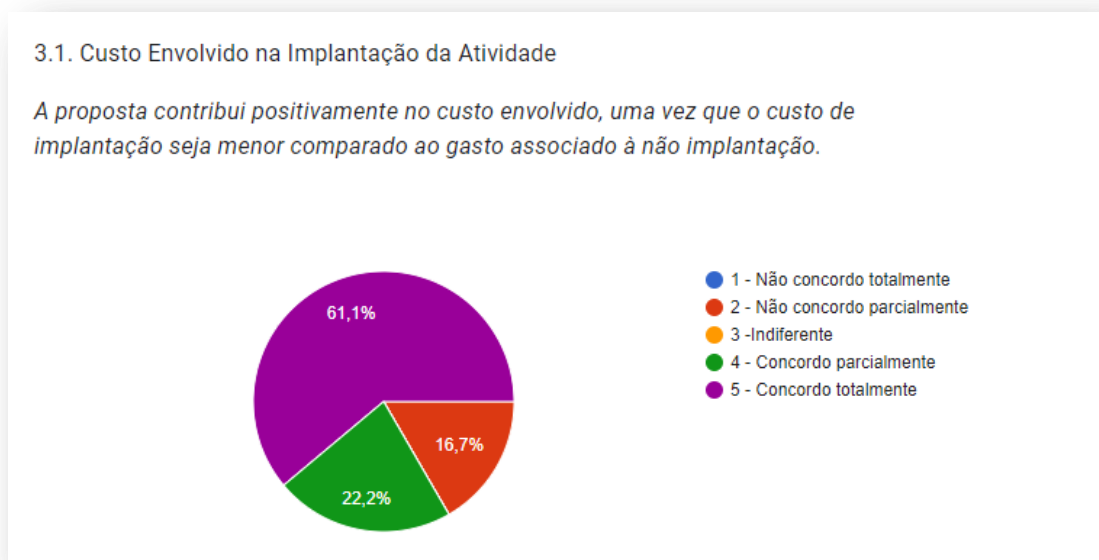
Fonte: Autora.

Figura 10.13 - Avaliação do Item 2.1 (tempo para execução da atividade proposta) da Tabela 10.3 (critério operacional).



Fonte: Autora.

Figura 10.14 - Avaliação do Item 3.1 (custo envolvido na implantação da atividade) da Tabela 10.4 (critério tático).



Fonte: Autora.

10.4 Discussões dos resultados da aplicação do método

A média mínima dada por um entrevistado foi 3,65 de 5. Mesmo essa apresentou significativa concordância (impacto positivo parcial) nos critérios estabelecidos. Essa e as demais concordâncias sugerem que os avaliadores, na média, concordam que a proposta feita nos Capítulos 8 e 9 afetaria positivamente os critérios elencados.

Resumidamente, nesse experimento mental, a proposta apresentada é tida como uma opção interessante e que apresenta certo caráter positivo, dado o contexto sugerido. Esses valores podem também nortear estudos mais aprofundados, das propostas que obtiveram notas mais elevadas.

Os resultados indicam que a adoção de nova proposta pode contribuir positivamente para o processo existente.

É importante ressaltar que as questões que tiveram aspectos relacionados ao tempo de realização e implantação obtiveram notas menores, porém ainda altas; entretanto, essas notas indicam, como era esperado, que, primeiramente o tempo de implantação é um item relevante a ser observado, dado que existe uma nova filosofia de atuação e uma nova cultura a serem implantadas. Isso leva um certo tempo para ser absorvido pela missão de uma forma geral, gerando um investimento de tempo que pode ser apreciável.

Este estudo contou com algumas limitações, que devem ser levadas em consideração:

- a avaliação pelos colaboradores baseou-se em textos contendo as descrições da proposta, sem haver uma apresentação prévia de cada sugestão, podendo ter gerado algumas dúvidas;
- a forma de implantação da proposta não era escopo deste trabalho, mas essa informação é importante para uma avaliação mais aprofundada do impacto de cada sugestão;
- a proposta pode gerar certa resistência cultural, por ser uma área abrangente que se relaciona com diversas outras áreas e apresenta uma nova filosofia de atuação.

Após apresentar uma nova abordagem para Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições péticas e critérios de decisão balanceados (nos Capítulos 8 e 9), e avaliar a proposta (no Capítulo 10), o Capítulo 11 apresentará a aplicação desse a um estudo de caso da área espacial, mais especificamente, à missão EQUARS do INPE, como forma de verificar os resultados de sua aplicação.

11 ESTUDO DE CASO

Baseado na proposta e no detalhamento de uma GMMV e de um seu método feitos nos Capítulos 8 e 9, este capítulo apresenta um estudo de caso para exercitá-los.

A proposta apresenta maior grau de dificuldade quanto à sua implantação, devido à necessidade de envolvimento de outras instituições e culturas organizacionais não praticadas a nível institucional ainda; então, para a utilização do método exercitado neste capítulo será importante contar com o tempo de implantação nas instituições. Outro ponto importante a ser abordado para essa nova atuação/ estruturação da Garantia de Missão é a necessidade da inserção de alguns itens nos contratos com os fornecedores, visando descrever esse novo tipo de atuação, pois a organização precisará se preparar para os treinamentos, elaboração de manuais, estruturação da organização, equipe e o tempo de envolvimento nas novas atividades. Para ilustrá-los, exercita-se a preparação e a aplicação do Método de Seleção de Requisitos Críticos e Restrições Pétreas num estudo de caso a seguir.

O estudo de caso escolhido é uma missão real que consta no Portfólio de Projetos do INPE, denominada de Missão EQUARS. Os critérios de escolha foram: 1) a missão ser representativa das necessidades do INPE; e 2) parte da documentação estar disponível ao público. Ambas são de fundamental importância para um estudo de caso acadêmico, a representatividade e o acesso aos documentos originais.

Para esse estudo de caso, foi necessário escolher uma parte da proposta, dos requisitos e restrições, pois não havia tempo hábil para aplicar a proposta na íntegra, e nem exercitá-la com todos os requisitos e restrições de Garantia de Missão.

11.1 Preparação e aplicação do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas à Missão EQUARS

Esse estudo de caso focará na preparação e aplicação do método, apresentadas na Seção 9.2.

11.1.1 Preparação para a aplicação do método à missão EQUARS

Para a preparação para a aplicação do método à missão EQUARS, exercitam-se os Passos 1 a 3 da Seção 9.2.1, que metodizam os Passos 1 a 3 da Seção 8.2.

O Método de Seleção de Requisitos Críticos e Restrições Pétreas foi escolhido para ser utilizado em um estudo de caso, aplicável às necessidades do INPE. O método consiste na seleção e classificação de requisitos da missão para adequar o grau de envolvimento da Autoridade de Aprovação (AA) no decorrer da missão.

O objeto de estudo, nesse caso, foi a missão satelital EQUARS, já apresentada no Seção 8.2 desta Tese.

Esse estudo focará nas Tranches de 1 a 4 do método apresentado no Capítulo 9.

Passo 1 - Identificação das características do projeto

De acordo com INPE (2019a), a missão EQUARS (*Equatorial Atmosphere Research Satellite*) tem como objetivo ser um satélite científico projetado para obter dados sobre a atmosfera terrestre junto a região equatorial contribuindo com a investigação dos fenômenos físicos que perturbam o comportamento do plasma ionosférico.

Conforme (INPE, 2019a), os objetivos específicos da Missão EQUARS são:

1. Estabelecer as condições eletrodinâmicas da ionosfera responsáveis pela variabilidade da ocorrência e amplitude das bolhas de plasma equatoriais.
2. Determinar os processos eletrodinâmicos responsáveis pela formação e evolução das bolhas de plasma equatoriais.
3. Identificar o espectro das ondas atmosféricas que desempenha um papel relevante em processos eletrodinâmicos da alta atmosfera.
4. Investigar a influência da precipitação de partículas energéticas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA) nos processos de ionização das camadas ionosféricas E e F.

As principais características da missão EQUARS constam na Figura 11.1.

Figura 11.1 - Principais características da missão EQUARS.

Órbita	Órbita circular com 18 graus de inclinação em relação ao plano equatorial, a uma altitude de 635 km.
Apontamento	Plataforma apontada para o Nadir ao longo da órbita, com controle em três eixos.
Duração da Missão	Dois anos (mínimo) em operação no espaço
Operações do satélite	O satélite deve ser rastreado primariamente pela Estação Terrena de Alcântara (MA), a partir do Centro de Controles de Satélite do INPE em São José dos Campos (SP).
Operações Científicas	O programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (EMBRACE) deve executar o processamento, armazenamento e distribuição dos dados de ciência.
Massa	A massa total do satélite está estimada em 200 kg, sendo aproximadamente 30 kg de carga útil.
Potência	Um conjunto de painéis solares provê 470 W de potência em início de vida, com uma área de 2,1 m ² .
Dimensões	Os estudos conceituais do satélite apontam para um envelope de lançamento de 1,3 (m) x 1,6 (m) x 1,1 (m).
Taxa de recepção de dados	A taxa de <i>downlink</i> para comunicação solo-bordo é da ordem de 600 kbit/s, utilizando-se da tecnologia da Banda S para transmissão de dados.

Fonte: INPE (2020b).

Como mencionado com Seção 8.3 desta Tese, este trabalho utilizou os documentos do INPE que estão disponíveis ao público relacionados ao evento da Revisão de Requisitos Preliminar (PRR, *Preliminary Requirements Review*) do EQUARS que foi realizada nas instalações do INPE em 2019.

De acordo com o modelo de ciclo de vida de projeto da ECCS (Item 2.7 desta Tese), essa revisão teve como objetivo apresentar a viabilidade do projeto, avaliar a especificação dos requisitos preliminares e dos planos preliminares de gerenciamento, desenvolvimento e de garantia do produto e seus aspectos programáticos. Essa revisão marcou o final da Fase A e subsidiou a avaliação sobre a prontidão do projeto para avançar à Fase B.

Passo 2 - Análise das características do projeto e identificação dos riscos

Neste Passo 2, Tranche 1, exercita-se a proposta pela aplicação da Seção 8.2.2.1 e da Tabela 8.1; já no Passo 4, Tranche 4, aplica-se a Seção 8.2.2.2 e as Figuras 8.5 e 8.6, de forma a validar seus atributos e definições. Como parte da proposta é delineada baseando-se nelas, é de fundamental importância seu exercício. Então, tem-se as tranches que se seguem:

Tranche 1) Classificação de risco da missão

Originalmente, de acordo com INPE (2019a), a Classe C foi escolhida dado ao seu caráter exploratório e experimental (com relação às cargas úteis), tempo de missão menor de 4 anos, custos medianos, complexidade média para a área espacial.

Dessa forma, utilizando a proposta para a classificação de risco da missão para satélites de pequeno e médio porte, apresentada na Seção 8.2.2.1 e na Tabela 8.1, a missão EQUARS se enquadraria na Classe SAT 1 ou na Classe SAT 2, cf. a Seção 8.3 e a Tabela 8.2. Assim, ela se manteria na Classe C originalmente estabelecida (cf. a Seção 2.3.2, do Plano Preliminar da Garantia de Missão – Missão EQUARS, INPE (2019a)), mas poderia explorar duas situações diferentes, como detalhado na Seção 8.2.2.1 desta Tese: a primeira, onde o sucesso da missão poderia utilizar “requisitos, normas, especificações e processos de GM reduzidos” como a original; ou a segunda, onde aderiria a “requisitos, normas, especificações e processos de GM negociados”.

Para este estudo de caso, adotaremos a hipótese de a AA estabelecer que **a classe de risco da missão EQUARS é a Classe SAT 1**, por se adequar à importância nacional da missão EQUARS.

Na Classe SAT 1, as exigências de qualidade seriam superiores, pois os requisitos, normas, especificações e processos seriam mais restritivos e engessados; o risco médio de alcançar o sucesso da missão poderia ser aceitável, com requisitos, normas, especificações e processos da GM reduzidos; assim, 1) os requisitos deveriam ser devidamente rastreados, 2) com suas justificativas (como a missão EQUARS já se propõe originalmente), utilizando 3) um método acordado de *tailoring* dos requisitos (método utilizado

originalmente na missão EQUARS utilizou os processos estabelecidos pela Aerospace Corporation e ECSS, constantes no Seção 2.2 do Plano de Garantia do Produto (INPE, 2019b), além de usar o 4) resultante conjunto personalizado de requisitos, normas e especificações.

No método de *tailoring* de requisitos acordado com a AA que, neste caso, seria o INPE (alta gestão), todos os requisitos teriam que ser devidamente rastreados (já iniciados nos documentos da missão) em uma plataforma adequada (definida pela missão), onde constariam todas as justificativas de cada requisitos e seus casos de *waiver*. Esses itens impactariam em todo o desenvolvimento da missão e, portanto, resultariam para a AA um conjunto maior de requisitos para serem acompanhados de perto.

Na missão EQUARS, tais processos começaram com os requisitos de missão originais, sem derivação (Requisitos Preliminares de Garantia de Missão - Missão EQUARS) (INPE, 2019b) e passaram pela primeira derivação no Plano Preliminar da Garantia de Missão - Missão EQUARS (INPE, 2019a). Os dois documentos são de alto nível e impactam a missão como um todo. Assim, os requisitos exercitados nesta seção são originados dos Requisitos Preliminares de Garantia de Missão (requisitos originais, sem derivação) e no Plano Preliminar da Garantia de Missão - Missão EQUARS (requisitos com a primeira derivação, já implementados na estrutura da Garantia de Missão estabelecida).

Passo 3 – Pré-seleção das normas ECSS ou demais que sejam aplicáveis

Neste passo serão propostos normas da ECSS e demais que sejam aplicáveis à missão EQUARS.

Tranche 2) Critérios para avaliar a prontidão do desenvolvedor da missão e compor os padrões recomendáveis

As Tabelas 11.1 a 11.4, que exercitam as Tabelas 9.1 a 9.4, apresentam os critérios para avaliar a prontidão do desenvolvedor INPE e compor as normas recomendáveis, avaliados por membros do INPE que trabalharam na missão EQUARS.

Tabela 11.1 - Critérios para avaliar a experiência do desenvolvedor na área espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
1. Experiência do desenvolvedor na área espacial		Min	Med	Max	
1.1. Experiência com o desenvolvimento de projetos/ programas/ produtos espaciais	Escala	0	5	10	10
	Experiência	< 2anos	entre 2 e 4	> 4	
1.2. Experiência com o sistema ECSS ou padrões espaciais para a Garantia do Produto.	Escala	0	5	10	10
	Experiência	< 2	entre 2 e 4	> 4	
1.3. Experiência com outros padrões de Garantia de Missão	Escala	0	5	10	10
	Experiência	< 2	entre 2 e 4	> 4	

Fonte: Autora.

Tabela 11.2 - Critérios para avaliar o sistema da qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
2. Sistema de qualidade e gestão de projetos do desenvolvedor na área espacial		Min	Med	Max	
2.1. Avaliação da capacidade de aderência à ISO 9001	Escala	0	5	10	5
	Experiência	Baixa	Média	Alta	
2.2. Sistema de qualidade implementado	Escala	0	5	10	5
	Implantação	não	em andamento	Sim	
2.3. Sistema da garantia de projeto implementado	Escala	0	5	10	0
	Implantação	não	em andamento	Sim	
2.4. Figura do Escritório de Projetos implementado	Escala	0	5	10	10
	Implantação	não	em andamento	Sim	
2.5. Equipe de trabalho com experiência em Garantia do Produto ou Garantia da Qualidade ou Garantia de Missão	Escala	0	5	10	10
	Experiência	< 2 anos	entre 2 e 4 anos	> 4 anos	

Fonte: Autora

Tabela 11.3 - Critérios para avaliar o histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
		Min	Med	Max	
3. Avaliação do histórico de serviços e/ou operações do desenvolvedor na área espacial					
3.1. Entidade com a Garantia do Produto estruturada na área de serviços e operações	Escala	0	5	10	10
	Estruturação	Inicial	em andamento	Finalizada	
3.2. Entidade com processos de Gerenciamento da Configuração estruturados na área de serviços e operações	Escala	0	5	10	5
	Estruturação	Inicial	em andamento	Finalizada	

Fonte: Autora.

Tabela 11.4 - Critérios para avaliar a solução de engenharia adotadas pelo desenvolvedor na missão espacial.

Critérios	Escala	Grau			Nota
		Min	Med	Max	
4. Solução de engenharia adotada pelo desenvolvedor para a missão espacial					
4.1. Complexidade da solução de arquitetura do sistema	Escala	0	5	10	10
	Complexidade	Alta	Média	Baixa	
4.2. Tamanho do satélite (de acordo com a Seção 2.11)	Escala	0	5	10	5
	Tamanho	Médio	pequeno	-	
4.3. Uso de novas tecnologias	Escala	0	5	10	10
	Novidade	Muita	Alguma	Nenhuma	
4.4. Desenvolvimento do produto	Escala	0	5	10	5
	Desenvolvimento	Muito	Algum	Nenhum	
4.5. Verificações ambientais	Escala	0	5	10	0
	Experiência	Muito	Algum	Nenhum	

Fonte: Autora.

Após somar as notas nas Tabelas 11.1 a 11.4, obteve-se a **nota total 105 para o Nível de Prontidão do Desenvolvedor (NPD) INPE**. A autora aceitou essas notas, pois trabalhou na missão EQUARS como responsável pela Garantia de Missão e Garantia do Produto (como constante nos documentos da missão) e tais notas foram validadas por membros do INPE que participaram da missão, vide Apêndice B.

Com nota total 105 > 100 e cf. a Tabela 9.5, o **NPD do INPE é P1 = maior prontidão**; e cf. a Seção 8.3 e a Tabela 8.2, o **CRM da missão EQUARS é Classe SAT 1**. Pela Tabela 9.5, detalhada na Tabela 11.5, a missão EQUARS deveria adotar e adequar os padrões ECSS e fazer a FMEA da missão.

Tabela 11.5 - Critérios de decisão e suas normas associadas em função do Nível de Prontidão do Desenvolvedor INPE e da Classe de Risco da Missão EQUARS.

Classe de risco x nota	Sat 1
Nota > 100 P1 - Maior prontidão	<i>Tailoring</i> ECSS + FMEA da missão

Fonte: Autora.

11.1.2 Aplicação do método à missão EQUARS

Para a aplicação do método seguem-se os Passos 4 a 7 da Seção 9.2.2, que metodizam os Passos 4 a 7 da Seção 8.2.

Passo 4 – Seleção dos requisitos e restrições cf. as normas aplicáveis

De posse de todas as informações dos passos anteriores é possíveis realizar a aplicação do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas.

Tranche 3) Avaliação da Criticidade dos requisitos e das restrições

Utilizando a FMECA Estendida à Garantia de Missão (FMGM) (proposta e detalhada na Seção 9.2.3), obtém-se a Tabela 11.6, a Tabela 11.7 e a Tabela 11.8. Nessas tabelas, foram utilizados exemplos de requisitos e restrições documentados nas referências da missão EQUARS.

Tabela 11.6 - Análise de impacto dos requisitos de Garantida de Missão de primeiro nível (sem derivação) e sua classificação.

FMEP adaptada para os requisitos de Garantia de Missão											
Num	Requisitos da Missão EQUARS	Modo de falha	Causa da falha	Efeito da Falha	Severidade	Probabilidade de Ocorrência (PO)	Classificação da Missão (CM)	Perfil da Missão (PM)	Criticidade da Falha (SxPO)	PM x CM	Criticidade do Requisito da Missão
Nível de Garantia de Missão (Requisito inicial - origem)											
Requisitos de GM item de Garantia do Produto e Garantia da Qualidade (Requisitos de alto nível)											
2.7.5.3	A missão deve garantir que problemas ou defeitos sistêmicos sejam identificados e ações corretivas e preventivas apropriadas sejam implementadas.	M1 - OAR ocorreu e não foi detectada a tempo para ação necessária	Falta de processo estabelecido para tratamento de OAR	Perder sistema do satélite em voo	ALTA	PA	SAT 1	PERFIL 1	ALTA	MÉDIO	CRÍTICO
		M2 - Recorrência de falha do sistema elétrico no MV	Falta de ações preventivas	Perder sistema elétrico do satélite	ALTA	PA	SAT 1	PERFIL 1	ALTA	MÉDIO	CRÍTICO

OAR – Operations Anomaly Report; MV – Modelo de Voo.

Fonte: Autora.

Tabela 11.7 - Análise de impacto dos requisitos de Garantida de Missão de segundo nível (primeira derivação) e sua classificação.

Nível de Garantia do Produto (primeira derivação do requisito)											
Classificação de NRB (Plano de GM)											
3.4.4.2.2	O NRB interno deve classificar as não conformidades como maiores ou menores, com base na gravidade de suas consequências. No caso de várias não conformidades menores diferentes no mesmo item, o NRB interno avaliará se as não conformidades permanecem menores ou reclassificadas como "maiores". Em caso de dúvida, o NRB interno deve classificar as não conformidades como maiores.	M1 - Não identificação de uma NCR maior de um sistema relevante da missão	Plano de GQ/ GP do fornecedor inexistente	Pode haver a perda de um sistema relevante para a missão ou o não atendimento de um requisito importante da sistema	ALTA	PA	SAT 1	PERFIL 1	ALTA	MÉDIO	CRÍTICO
		M2 - NCR maior de um sistema relevante da missão não tratada	Tempo de execução do tratamento não respeitado	Pode haver a perda de um sistema relevante para a missão ou o não atendimento de um requisito importante da sistema	ALTA	PA	SAT 1	PERFIL 1	ALTA	MÉDIO	CRÍTICO
		M3 - Não identificação de uma NCR menor	Plano de GQ/ GP do fornecedor inexistente	Fazer uma releitura nos documentos do teste	BAIXA	PB	SAT 1	PERFIL 1	BAIXA	MÉDIO	OPCIONAIS
		M4 - NCR menor não tratada	Erro na documentação	Refazer documentação	BAIXA	PB	SAT 1	PERFIL 1	BAIXA	MÉDIO	OPCIONAIS
		M5 - NCR com consequência maior do que as levantadas	Avaliação inadequadas as consequências da NCR por parte do fornecedor (análise de falha minimizada)	Pode haver a perda de um sistema relevante para a missão ou o não atendimento de um requisito importante da sistema	ALTA	PM	SAT 1	PERFIL 1	MÉDIA	MÉDIO	DESEJÁVEL

Fonte: Autora.

Tabela 11.8- Análise de impacto de restrições referentes à Garantida de Missão.

FMEP adaptada para os requisitos de Garantia de Missão											
REF	Restrições da Missão EQUARS	Modo de falha	Causa da falha	Efeito da Falha	Severidade	Probabilidade de Ocorrência (PO)	Classificação da Missão (CM)	Perfil da Missão (PM)	Criticidade da Falha (SxPO)	PM x CM	Criticidade da Restrição da Missão
Nível de Garantia de Missão (Requisito inicial - origem)											
Exemplos de RESTRIÇÕES da missão EQUARS (Requisitos de alto nível)											
Declaração do Escopo da Missão EQUARS (INPE, 2017)	Com o objetivo de investigar os processos da baixa e da alta atmosfera relativos às condições da eletrodinâmica equatorial responsáveis pela geração e evolução das bolhas de plasma, sobre influência da SAMA, a missão EQUARS tem a seu dispor de 5 (cinco) instrumentos, com atributos científicos distintos. RESTRIÇÃO: 5 instrumentos específicos; e atuação na região da SAMA.	M1 - Falta de equipe qualificada para realizar a aquisição dos equipamentos	Planejamento de recursos humanos não adequado	Equipamentos indisponível. Atraso no cronograma. Custo adicional.	ALTA	PB	SAT 1	PERFIL 1	BAIXA	MÉDIO	RESTRIÇÃO LEVE
		M2 - Atraso na liberação de recursos financeiros para a aquisição	Alteração nas políticas e prazos do governo	Equipamentos indisponível. Atraso no cronograma. Custo adicional.	ALTA	PA	SAT 1	PERFIL 1	ALTA	MÉDIO	RESTRIÇÃO OBRIGATÓRIA
		M3 - Atraso na definição dos equipamentos para aquisição	Cronograma não adequado	Equipamentos indisponível. Atraso no cronograma. Custo adicional	ALTA	PM	SAT 1	PERFIL 1	MÉDIA	MÉDIO	RESTRIÇÕES MODERADAS
Portaria Nº 62, de 9 de maio de 2017, (AEB 2017a)	RESTRIÇÃO: Aplicação da Política de Gestão de Risco e Controles Internos da Gestão	M1 - Falha no registro dos riscos da missão.	Não existência de um Plano de Gestão de Riscos.	Perder a missão ou afeta no recebimento de orçamento vindo da AEB.	ALTA	PA	SAT 2	PERFIL 2	ALTA	MÉDIO	RESTRIÇÃO OBRIGATÓRIA

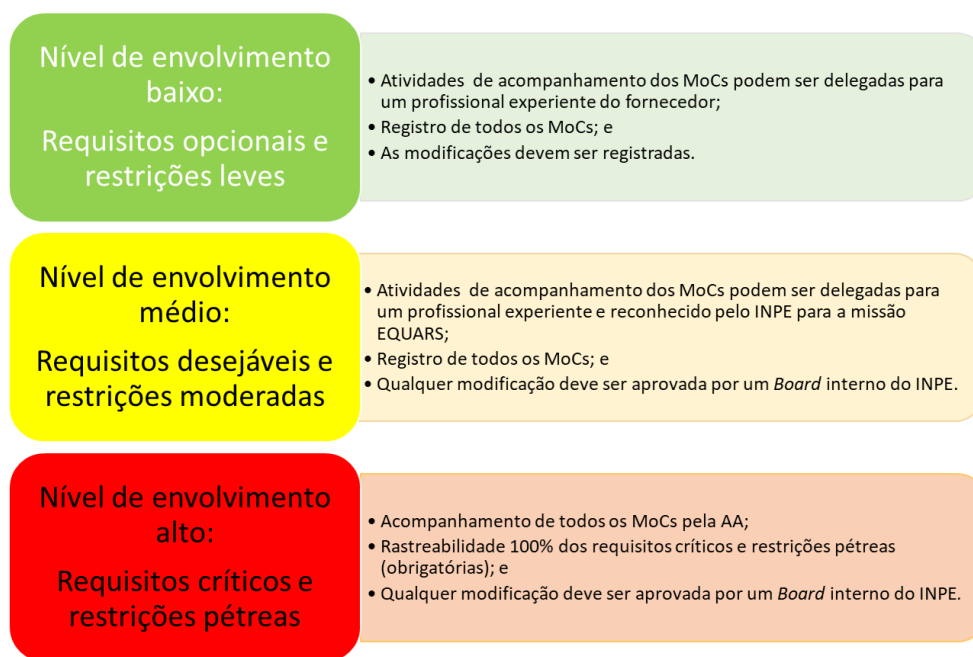
Fonte: Autora.

Neste Passo 4, Tranche 4, aplica-se a Seção 8.2.2.2 e as Figuras 8.5 e 8.6, de forma a validar seus atributos e definições

Tranche 4) Classificação e seleção dos requisitos e restrições, e seu balanceamento

Utilizando a proposta para Níveis de Envolvimento e atividades da AA versus os tipos de requisitos, restrições e critérios para satélites de pequeno e médio porte, apresentada na Seção 8.2.2.2 e nas Figuras 8.5 e 8.6, os requisitos, restrições e critérios da missão EQUARS se enquadrariam nos 3 níveis, cf. a Seção 8.3 e a Figura 8.10, i.e., Figura 11.2, e balanceados na Tabela 11.9:

Figura 11.2–Níveis de envolvimento e atividades da AA versus os tipos de requisitos, restrições e critérios para a missão EQUARS.



Fonte: Autora.

A. Seleção dos requisitos e restrições para cada NE baseada na classificação por CB encontrada

A Tabela 11.9 exemplifica os requisitos da Garantia de Missão da missão EQUARS e os Níveis de Envolvimento da AA, e explica a seleção de cada requisito avaliado.

Tabela 11.9—Exemplo de requisitos da Garantia de Missão da missão EQUARS e os Níveis de Envolvimento da AA.

Requisitos	Classificação	Comentário
2.7.5.3	Crítico	Este requisito a AA acompanhará de perto seu cumprimento, como ele é de alto nível, sem derivação. Porém esse requisito irá ser derivado e suas derivações precisam ser avaliadas e classificadas. A AA acompanha até o momento em que o requisito é derivado, ela acompanha seu cumprimento em alto nível.
3.4.4.2.2	Crítico para NCR MAIOR O ideal que esse requisito fosse dividido em dois, NCR MAIORES e NCR MENORES.	Este requisito a AA acompanhará de perto seu cumprimento, ele é um requisito derivado (primeira derivação). Neste caso, a AA acompanhará as tratativas das NCR MAIORES, montando a estrutura necessária e solicitada nos padrões. Importante ressaltar que as NCR MAIORES já são acompanhadas pelo INPE e existem tratativas já implementadas que estão de acordo com os padrões da ECSS. A tratativa atual está de acordo com a classificação encontrada pelo método.
3.4.4.2.2	Opcional para NCR MENOR O ideal que esse requisito fosse dividido em dois, NCR MAIORES e NCR MENORES.	Este requisito a AA delega um profissional experiente do fornecedor ou do próprio desenvolvedor para acompanhar de perto seu cumprimento, ele é um requisito derivado (primeira derivação). Neste caso, a AA delega as tratativas das NCR MENORES, deixando para o fornecedor montar a estrutura necessária para registro e acordada com o INPE. Importante ressaltar que as NCR MENORES já são acompanhadas pelo fornecedor e existem tratativas já implementadas que estão de acordo com os padrões do INPE. A tratativa atual está de acordo com a classificação encontrada pelo método.
3.4.4.2.2	Classificação Desejável	No caso de requisitos classificados como desejável a AA escolhe se realizará o acompanhamento daquela parte ou se manterá no nível 2.

Fonte: Autora.

É importante ressaltar que os requisitos e restrições analisados possuem muitas informações; e, em outras revisões, passariam por **derivações** e teriam seus conteúdos separados em requisitos diferentes. Neste caso, entende-se que se poderia fazer uma separação em seus conteúdos, ou futuramente aguardar um próximo documento. E que, nos casos de as **classificações** serem diferentes, dependendo do “modo de falha” analisado, é importante a AA analisar se manterá o nível mais exigente ou haverá uma delegação de parte do cumprimento daquele requisito.

Na Tabela 11.6, Tabela 11.7 e Tabela 11.8 foram realizadas as classificações de alguns exemplos de requisitos e restrições da missão EQUARS. Seus textos foram retirados de documentos específicos da missão; e ainda são requisitos ou restrições de alto nível. Em demais revisões, esses itens serão separados e derivados. A escolha desses textos levou em consideração também mostrar a importância de trabalhar bem os textos de requisitos e restrições desde a concepção da missão, pois assim é possível obter e rastrear informações que são equivalentes e aderentes ao solicitado para a missão.

Ainda na Tabela 11.6, Tabela 11.7 e Tabela 11.8, é possível verificar que, de posse das restrições, o método aplicado separa de forma coerente os itens que apresentam maior impacto na missão. Também é importante ressaltar que, dentro de um mesmo item, a clareza de sua importância se faz necessária para a análise de diversos modos de falha.

O resultado obtido da classificação dos requisitos e restrições apresentou coerência quanto ao nível de envolvimento sugerido.

Também de acordo com o recomendado pelo método no Capítulo 9, é importante utilizar o maior grau de classificação encontrado em um mesmo requisito ou restrição, após analisar vários modos de falha. Dada a classificação para cada “modo de falha” da Tabela 11.8, será escolhido o nível mais exigente, então para estes casos todas as restrições são obrigatórias.

B. Balanceamento dos requisitos e restrições para cada NE baseado na classificação por CB encontrada e demandas da AA

Após a obtenção dessas classificações a Autoridade de Aprovação envolvida pode realizar o balanceamento dos esforços necessários, suas demandas internas e necessidade para cada requisito ou restrição. Com isso, é definido para cada item qual será o real grau de envolvimento da AA e quais cuidados serão demandados por cada um.

Toda a validação final da classificação e nível de envolvimento será de decisão da AA, podendo manter a classificação ou adequar a sua necessidade.

Passo 5 – Finalização dos requisitos e restrições

Neste passo, verifica-se a necessidade de repetir o método para os demais requisitos, além de verificar se todos os requisitos foram contemplados.

Passo 6 – Harmonização dos requisitos e restrições

Neste passo, verifica-se com os *stakeholders* (INPE, sociedade científica, especialistas, AEB, etc) a necessidade de alguma alteração nos requisitos (Silva, 2017), além de verificar com a AA o balanceamento do seu envolvimento nos requisitos, Tabela 11.9.

Passo 7 – Documentação da aplicabilidade dos requisitos e restrições

Neste passo todos os requisitos e restrições precisam ser documentados em planilhas apropriadas, mantendo todas as informações dos exercícios realizados, com o objetivo de manter a rastreabilidade.

11.1.3 Discussões e conclusões sobre o estudo de caso

Os resultados obtidos pelo presente trabalho mostraram que a missão EQUARS foi uma escolha consistente para análise, pois possui e publica o material necessário para o levantamento das informações utilizadas para emprego do método proposto.

O método se mostrou eficaz por chegar a um resultado de envolvimento já utilizado na própria instituição e na missão em si. Ainda caberia o exercício de mais requisitos derivados, porém, isto não foi possível devido à fase atual da

missão EQUARS e à documentação disponível. O método poderia ser exercitado com uma quantidade maior de requisitos, porém os que foram apresentados já demonstram que o método traz um ganho para as atividades já realizadas.

Recomenda-se que o trabalho proposto por esta Tese seja implementado no início da missão, pois isso: 1) traria as partes interessadas para uma discussão sobre requisitos, facilitando a compreensão logo no início; 2) proporcionaria uma melhor solução de alto nível; e, conseqüentemente, 3) evitaria surpresas desagradáveis ou ajustes orçamentários desnecessários. Além disso, 4) a compreensão dos requisitos, restrições e envolvimento da AA diminuiria drasticamente as probabilidades de entregar um item diferente da expectativa do cliente.

O método aqui apresentado poderia ser estendido a outras áreas após pequenos ajustes, ex.: aeronáutica, militar para produtos complexos, etc.

12 CONCLUSÃO

Esta Tese teve como objetivo apresentar uma nova abordagem para a Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV) para satélites de pequeno e médio porte considerando requisitos críticos, restrições péticas e critérios de decisão balanceados. Isto é especialmente verdadeiro e útil para: 1) missões de complexidade semelhante (por limitações de massa, volume, potência, testes de novas tecnologias, etc.); e 2) atores mais modestos (por limitações de recursos, acesso a tecnologias, etc.).

Nela, **identificaram-se e compararam-se as GMs nacional e internacional, clássica e moderna**, de instituições renomadas na área. Essas comparações possibilitaram: 3) verificar as semelhanças e diferenças entre as filosofias das instituições estudadas; e 4) identificar as lacunas existentes para se propor uma nova filosofia.

Observou-se que a GM nacional praticada no INPE: 5) apresenta uma estruturação coerente com a GM da ESA; 6) utiliza alguns métodos da GM americana (*Aerospace Corporation*, NASA, DoD); e 7) tem documentos de fácil acesso e com um conteúdo bem estruturado.

A GM americana: 8) possui uma grande preocupação com os seus processos; 9) tem muitos documentos emitidos para suportar suas missões; 10) adota uma estrutura super bem organizada para missões de todo tamanho; 11) traz também filosofias do DoD; e 12) utiliza novas práticas como MBSE aplicada a missões.

A GM da ESA: 12) possui um arcabouço importante de material gratuito, voltado a requisitos da área espacial e seus “braços”; 13) possui uma organização diferenciada da americana; 14) não utiliza o termo GM; porém 15) possui as mesmas procurações; e 16) se atém à Garantia do Produto.

A GM Moderna: 17) enfatiza o custo e cronograma, como principais fatores impulsionadores; 18) busca definir e adequar o nível de qualidade necessário para se garantir a missão; além de 19) compreender quais práticas e processos técnicos devem ter níveis mais elevados de exigências

A nova abordagem para a **Garantia de Missão Mínima Viável (GMMV)** apresenta uma visão voltada aos requisitos críticos, às restrições pétreas da missão, reunindo-as e balanceando práticas das Garantias de Missão Clássica e Moderna. Essa filosofia permite que a missão respeite as características da missão e exercite bem a etapa conceitual, pois isso será fundamental para o entendimento e construção da Garantia de Missão Mínima Viável.

A Garantia de Missão Mínima Viável contempla **um método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas**, como forma de: 1) classificá-los e mante-los intactos; 2) poder modificar os demais com a necessidade da missão; 3) direcionar recursos, esforços, o envolvimento da AA, etc.; e 4) respeitar a filosofia MVP.

Com essa nova filosofia, foi necessária a introdução da figura da **Autoridade de Aprovação** e de seus Níveis de Envolvimento para medir o quão a AA estará inserida no cumprimento dos requisitos. Com isso pretendeu-se estabelecer, de forma clara e formal, o grau de atuação da AA com as atividades da Garantia de Missão. Pontos importantes considerados foram a adequação de recursos humanos dentro da AA e das instituições, juntamente com suas responsabilidades. A atuação da AA se dá mediante a aplicação do método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas pois, dependendo do nível de seus acoplamentos e impactos, a AA se envolverá mais na missão ou não.

Para validar e poder medir os impactos dessa nova filosofia, se implementada, foram distribuídos **questionários** para colaboradores experientes da área, tanto do setor público quanto privado. Para que se fosse possível mensurar a percepção de o quanto essa filosofia traria ganhos consideráveis, foi realizada uma pesquisa com 17 profissionais da área. Desta, infere-se que **a percepção deles é positiva quanto à implantação e execução** dessa nova filosofia; porém, também foi observado que existe uma preocupação quanto ao tempo envolvido para a sua implantação e execução, devido a essa nova abordagem trazer uma nova cultura para área. Esse exercício mental para simular a GMMV é importante visto que sua implantação e execução foge ao escopo desta Tese.

O trabalho contou com **um estudo de caso na área espacial**, em um cenário do INPE, a missão EQUARS, para a aplicação do método de seleção de requisitos críticos e restrições péticas. Para isso, foram selecionados exemplos destes, incluindo um requisito de alto nível e sua primeira derivação. Esse requisito apresenta uma tratativa diferenciada com relação aos demais, pois possui uma diferença relacionada ao nível de envolvimento da instituição em seus MoCs, pois NCRs maiores são tratadas internamente/pelo INPE e NCRs menores são tratadas externamente/pelo próprio fornecedor.

Os resultados obtidos possibilitaram verificar que, após aplicar o método proposto, **as classificações dos requisitos e restrições estão coerentes** com o nível de envolvimento já estabelecido. Este um resultado coerente com o nível de envolvimento já utilizado na área. Ele indica que a aplicação do método atende à proposta inicial de encontrar a classificação pertinente dos requisitos, das restrições, e o nível de envolvimento adequado.

O trabalho contou também com **a avaliação de 17 profissionais** das áreas de conhecimento estudadas nos processos. Eles contribuíram na leitura dos textos, conseqüentemente, gerando um impacto positivo na qualidade do conteúdo, e maior robustez nas informações. Essas avaliações estão contidas nos Apêndices A e B desse documento.

Resumindo, o presente trabalho realizou tudo a que se propôs, revisando as filosofias de GM, traçando um comparativo entre elas, identificando suas lacunas, propondo uma nova filosofia balanceada para preenche-las, desenvolvendo-a num método, e aplicando-o a um estudo de caso do INPE.

Com a utilização da filosofia de Garantia de Missão Mínima Viável para satélites de pequeno e médio porte, espera-se que o tema desenvolvido proporcione auxílio aos desenvolvedores e gerentes da Garantia de Missão no planejamento, implementação e execução das atividades relacionadas, juntamente com a adequação e até otimização dos recursos, além de garantir que o sistema tenha a robustez necessária.

Como o conteúdo apresentado, explicado e aplicado, pretende-se possibilitar **um alicerce de conhecimento** cujo tema central seja adequar e até otimizar

recursos voltados a área de Garantia de Missão para satélites de pequeno e médio porte. E possibilitar também o estabelecimento de **alternativas de métodos e práticas** para a execução e implementação da Garantia de Missão. É um arcabouço teórico significativo para futuras pesquisas sobre o tema.

Por fim, a proposta deve ser vista como: 1) **um reforço adicional** ao controle do atendimento às exigências e **garantia da missão**, visto que essa garantia pode ser uma vantagem competitiva, dado que as missões espaciais são caracterizadas por elevados prazos, custos, e complexidades, e requererem uma integração de alto nível das suas partes; 2) **um fomento às empresas do setor espacial** pois, elevando os níveis da garantia das missões do INPE, elevam-se também a garantia e qualidade daquelas, como ocorre em outros países.

12.1 Recomendações e sugestões para trabalhos futuros

Algumas sugestões são feitas abaixo, para continuar os estudos apresentados nesta Tese:

- avaliar a proposta com métodos que auxiliem à tomada de decisões complexas;
- especificar detalhadamente a implantação da proposta nas empresas do setor espacial;
- dividir em mais graduações o método de seleção de requisitos críticos e restrições péticas;
- aplicar o método para uma quantidade maior de requisitos e restrições; e fazer os ajustes necessários;
- avançar nas comparações entre as Garantias de Missão apresentadas por este trabalho;
- estruturar a organização para a filosofia de DOA e montar a estratégia adequada para sua implantação, juntamente com o Manual da Pessoa Jurídica Credenciada;

- estabelecer uma relação de hierarquia entre as normas e demais documentos de forma a esclarecer o tema para a área espacial e aeronáutica;
- estender a comparação entre a certificação aeronáutica e as das demais áreas; e
- realizar a comparação com a Garantia de Missões Militares para projetos complexos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROSPACE CORPORATION. **TOR-2007(8546)-618: Mission assurance guide: technical operating report.** [S.l.]: AC, 2007a.

AEROSPACE CORPORATION. Mission assurance - a back-to basics approach to success: crosslink. **The Aerospace Corporation Magazine of Advances in Aerospace Technology**, v. 8, n.2, 2007b.

AEROSPACE CORPORATION. **TOR-2010(8591)-18: mission assurance program framework.** [S.l.]: AC, 2010.

AEROSPACE CORPORATION. **TOR-2011(8591)-21: mission assurance guidelines for A-D mission risk classes.** [S.l.]: AC, 2011a.

AEROSPACE CORPORATION. **TOR-2011(8591)-5: mission risk planning and acquisition tailoring guidelines for national security space vehicles.** [S.l.]: AC, 2011b.

AEROSPACE CORPORATION. **Historyaerospace.** Disponível em: <https://aerospace.org/article/history-aerospace>. Acesso em: 15 out. 2020.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Portaria nº 62, de 9 de maio de 2017: Política de Gestão de Risco e Controles Internos da Gestão.** Brasília: AEB, 2017.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Agência Espacial Brasileira.** Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/composicao/rede-mcti/agencia-espacial-brasileira>. Acesso em: 29 set. 2020.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Regulamento Espacial Brasileiro – REB: parte 1> licença de operador de lançamento.** Brasília: AEB, 2021a.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB), **Regulamento Espacial Brasileiro - REB – Parte 2 – Autorização de Lançamento**, DIEN-REB-02, 2021b.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Portaria nº 756, de 29 de dezembro de 2021: Programa Nacional de Atividades Espaciais - PNAE - 2022-2031.** Brasília: AEB, 2021c.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Portaria nº 857, de 25 de maio de 2022: procedimento para seleção e adoção de missões espaciais no âmbito da Agência Espacial Brasileira.** Brasília: AEB, 2022a.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Observatório.** Disponível em: <https://observatorio.aeb.gov.br/>. Acesso em: 2022b.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Certificação**. Brasília, 2016c. Disponível em: http://www.anac.gov.br/A_Anac/o-que-fazemos/certificacao. Acesso em: 09 mar.2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Legislação**. Brasília, 2017b. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao>. Acesso em: 09 mar.2017.

ALBUQUERQUE, I. S. **Proposta de método de seleção e de adaptação de requisitos de garantia de produto para diferentes classes de missão**. 2021. 289 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologias Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2021. Disponível em: <http://mtc-m21d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21d/2021/12.02.20.51/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 10 jul. 2021.

AXELROD, C. W. **Creation and certification od software cybersecurity standards**. New York: The Wall Street Journal, 2016.

BARRETO, A. B.; COSTA, C. G.. Cyber-Argus: a mission assurance framework. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 133, p.86-108, 2019.

BOTELHO, R. C.; XAVIER JUNIOR, A. L. A unified satellite taxonomy proposal based on mass and size. **Advances in Aerospace Science and Technology**, v. 4, p. 57-73, 2019.

BRANCO, R. H. F.; VINHA JUNIOR, R.; LEITE, D. E. S. **Gestão colaborativa de projetos: combinação de *design thinking* e ferramentas práticas para gerenciar seus projetos**. São Paulo: Saraiva, 2016.

BRANCO, R. H. F.; SILVA, C. M. Z.; NERI, J. A. C. F.; DENARDINI, C. M. Implantação do escritório de projetos do INPE: bases e desafios futuros. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 12., 2021, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGPDW34R/45QL4BS>. Acesso em: 10 jul 2021.

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA (COMAER). **DCA 400-6: logística: ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica**. Brasília: COMAER, 2007.

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA (COMAER). **Garantia da qualidade e da segurança de sistemas e produtos no COMAER**. São José dos Campos: COMAER, 2014a.

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA (COMAER). **Regulamento de aeronavegabilidade militar: procedimentos para certificação de produtos aeronáuticos**. São José dos Campos: COMAER, 2014b.

CATHCART, T. Systems engineering in military projects. In: FOWLER, K. (ed.). **Mission assured, mission critical and safety critical systems handbook**. [S.l.]: Elsevier, 2010. Chapter 6.

CORNFORD, S. L.; FEATHER, M. S. **NASA/CR-2016-219272: model based mission assurance in a model based systems engineering (MBSE) framework: state-of-the-art assessment**. Washington: NASA, 2016.

CAROLI, P. **Lean inception: como alinhar pessoas e construir o produto certo**. [S.l.]: Caroli, 2018.

DINIZ, G. H.; AMBROSIO, A. M.; LAHOZ, C. H. N. Critical software processes tailoring and very small entities (VSE): a literature review. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, p. 276-285, 2019.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-Q-ST-10C: space product assurance: product assurance management**. Noordwijk: ESA, 2008.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-M-ST-10C: space project management – project planning and implementation**. Noordwijk: ESA, 2009a.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-Q-ST-30-02C: space product assurance: Failure Modes, Effects (and Criticality) Analysis (FMEA/FMECA)**. Noordwijk: ESA 2009b.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-S-ST-00-10C: glossary of terms**. Noordwijk: ESA, 2012.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-S-ST-00-20C: system tailoring**. Noordwijk: ESA, 2020.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS**. Disponível em: <https://ecss.nl/>. Acesso em: 10 nov.2021a.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-Q-ST-10 and Q-ST-20 - ECSS-Q10-Q20: product and quality assurance**. Disponível em: <https://ecss.nl/ecss-training/>. Acesso em: 05 fev. 2023.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **ESA**. Disponível em: <https://www.esa.int/>. Acesso em: 10 nov.2021.

EVANS, J. W.; CORNFORD, S. L.; FEATHER, M. S. Model based mission assurance (MBMA): NASA's assurance future. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM (RAMS), 2016. **Proceedings...ACM**, 2016. Disponível em: <https://sma.nasa.gov/sma-disciplines/model-based-mission-assurance>. Acesso em: 10 jul. 2021.

EVANS, J. W., GROEN, F. WANG, I.; AUSTIN, R.; WITULSKI, A.; MAHADEVAN, N.; CORNFORD, S. L.; FEATHER, M. S.; LINDSEY, N. Towards a framework for reliability and safety analysis of complex space missions. In: AIAA NON-DETERMINISTIC APPROACHES CONFERENCE, 19., 2017. **Proceedings...**AIAA, 2017. Disponível em: <https://sma.nasa.gov/sma-disciplines/model-based-mission-assurance>. Acesso em: 10 jul. 2021.

FLORIO, D. **Airworthiness**: an introduction to aircraft certification and operations. 3. ed. [S.l.]: Elsevier, 2016.

FREITAS, M.A.; COLOSIMO, E.A. **Confiabilidade**: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1997.

GRADY, J. O. **Systems validation and verification**. San Diego: CRC Press, 1997.

GIDO, J.; CLEMENT, J. P. **Gestão de projetos**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

GIL, A. C. **Dados técnicos de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HALLIGAN, R. Requirements metrics: the basis of informed requirements engineering management. In: COMPLEX SYSTEMS ENGINEERING AND ASSESSMENT TECHNOLOGY WORKSHOP, 1993. **Proceedings...** Silver Spring: NSWC, 1993.

HALLIGAN, R. J. **Requirements quality metrics**: the basis of informed requirements engineering management. [S.l.]: Project Performance International, 2014.

HOYLE, D. **ISO 9000 quality systems handbook**. 4. ed. Oxford: BH, 2001.

INCOSE. **Systems engineering handbook**: a guide for system life cycle processes and activities. San Diego: John Wiley and Sons, 2011.

INSTITUTO DE FOMENTO E COORDENAÇÃO INDUSTRIAL (IFI). **Revista Fomento Aeroespacial**. São José dos Campos: FAB, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **CBERS RB-MNG-0002 Rev 03:CBERS 3&4: satellite development and test plan**. São José dos Campos: INPE, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **EQUARS-0000-MS-001-A: declaração de escopo da missão EQUARS**. São José dos Campos: INPE, 2017a.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **SESEQ-Q-DDD-00009 (PRE): procedimento e registro de ensaio**. São José dos Campos: INPE, 2017b.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **SESEQ-Q-DDD-00008 (PRF): procedimento e registro de fabricação**. São José dos Campos: INPE, 2017c.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **SESEQ-E-PRC-00005:Procedimento dos processos do grupo da engenharia do produto**. São José dos Campos: INPE, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **EQUARS-3000-PLN-002-A: plano preliminar da garantia de missão**. São José dos Campos: INPE, 2019a.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **EQUARS-3000-TS-001-A: mission assurance preliminary requirements**. São José dos Campos: INPE, 2019b.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS(INPE). **EQUARS-4900-TS-001-A: product assurance preliminary requirements: space segment**. São José dos Campos: INPE, 2019c.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **EQUARS-3100-PLN-001-A: quality assurance preliminary plan: EQUARS mission**. São José dos Campos: INPE, 2019d.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **SESEQ-E-PRC-00199: product engineering procedure for INPE's mission – space segment**. São José dos Campos: INPE, 2019e.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **EQUARS-4432-PLN-001- A: product assurance plan for scientific instruments**. São José dos Campos: INPE, 2020a.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Missão satelital EQUARS: documentação do Evento PRR**. 2020b. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34R/42SAJRB>. Acesso em: 10 dez. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Missão do satélite EQUARS é avaliada por especialistas do INPE e AEB**. 2022. Disponível em: http://www.cea.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5269. Acesso em: 10 dez. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Portfólio do INPE: catálogo de programas e projetos**. São José dos Campos: INPE, 2023.

JACKSON, C. Slow and steady won't win this race: beyond compliance-based mission for small satellites. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2014. **Proceedings...** IEEE, 2014.

JASPER, L. Defining a new mission assurance philosophy for small satellites. In: ANNUAL AIAA/USU, CONFERENCE ON SMALL SATELLITES, 32., 2014. **Proceedings...** 2014.

KEELING, R.; BRANCO, R. H. F. **Gestão de projetos: uma abordagem global**. 4.ed. São Paulo: Saraiva, 2019.

FOWLER, K. Best practices in mission assured, mission critical and safety critical systems. In: FOWLER, K. (ed.). **Mission-critical and safety critical systems handbook**. [S.l.]: Newnes, 2010. Chapter 1.

LUZWICK, P. **Mission assurance: is your foundation strong enough to assure it?** Washington, D.C.: Information Warfare, Computer Fraud & Security, 2020.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA-STD-8709.20: management of Safety and Mission Assurance Technical Authority (SMATA) requirements**. Washington, D.C.: NASA, 2010.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA/SP-2014-3705: NASA space flight program and project management handbook**. Washington, D.C.: NASA, 2014.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NPR 8705.4: risk classification for NASA payloads**. Washington, D.C.: NASA, 2018a.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA/TP-2018-220027: state of the art small spacecraft technology**. Washington, D.C.: NASA, 2018b.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **HOW 8700-GE000035C: management of the Safety and Mission Success Review (SMSR) process**. Washington, D.C.: NASA, 2019.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA**. Disponível em: <https://standards.nasa.gov/standard/osma/nasa-gb-871913>. Acesso em: 20 out. 2020a.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Office of Safety and Mission Assurance (OSMA)**. Disponível em: <https://sma.nasa.gov/about>. Acesso em: 20 out. 2020b.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Mission Assurance Standards and Capabilities Division (MASCD)**. Disponível em: <https://sma.nasa.gov/masc> . Acesso em: 20 out. 2020c.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NPD.8700.1F: policy for safety mission success**. Washington, D.C.: NASA, 2022a.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NPR.8000.4B: agency risk management procedural requirements**. Washington, D.C.: NASA, 2022b.

NOCÊRA, R. J. **Gerenciamento de projetos teoria e prática**. Santo André: RJN, 2009.

OFFICE OF SAFETY AND MISSION ASSURANCE (OSMA). **Model based mission assurance**. Disponível em: <https://sma.nasa.gov/sma-disciplines/model-based-mission-assurance>. Acesso em: 15 out. 2020.

OFFICE OF SAFETY AND MISSION ASSURANCE (OSMA). **OSMA creates MBMA program to improve integration of assurance considerations in MBSE**. Disponível em: <https://sma.nasa.gov/news/articles/newsitem/2018/06/27/osma-creates-mbma-program-to-improve-integration-of-assurance-considerations-in-mbse>. Acesso em: 10 jul. 2021.

OLIVEIRA J. N. D. **Modelagem de processos e a metodologia IDEF: proposta de um ambiente colaborativo na produção de biodiesel**. 2010. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

OLIVEIRA, J. C. **Método de avaliação de custos da não qualidade em projetos espaciais – caso do programa CBERS**. 2011. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3AD3278>. Acesso em: 05 abr. 2016.

OSTERWALDER, A. **Business model generation – inovação em modelos de negócios: um manual para visionários, inovadores e revolucionários**. [S.l.]: Alta Books, 2011.

PAL, P.; ROHLOFF, K.; ATIGHETCHI, M.; SCHANTZ, R. Managed mission assurance. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL COMPUTING / IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRIVACY, SECURITY, RISK AND TRUST, 2010. **Proceedings...**IEEE, 2010. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5591913>. Acesso em: 10 jul. 2021.

PESSOTTA, F. **Uma estratégia para tratamento de falhas sistêmicas (FDIR) em ACDHs de satélites de pequeno e médio porte**. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

PLEFFKEN, D. R. **Atualização de um processo da garantia do produto espacial (INPE) e proposição de seu aperfeiçoamento baseada na sumarização de um correspondente processo aeronáutico (IFI).**

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2021.

PELTON, J. N.; JAKHU, R. S. **Space safety regulations and standards.** [S.l.]: Elsevier, 2010.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI), **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (guia PMOK).** 5. ed. Newton Square: PMI, 2013.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (guia PMOK).** 6. ed. Newton Square: PMI, 2017.

RABELLO, A. P. S. S. **Um novo processo para melhorar a dependabilidade de sistemas espaciais entre as fases de planejamento e projeto detalhado, incluindo extensões do Diagrama de Markov (DMEP) e da FMECA (FMEP) a Projetos.** Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas) Espaciais– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MP6RNL>. Acesso em: 16 fev. 2017.

SILVA JUNIOR, S. D. Mensuração e escalas de verificação: uma análise comparativa das escalas de Likert e *Phrase Completion*. **PMKT Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia**, v. 15, p. 1-16, 2014.

SILVA, C. M. Z. **Identificação de um processo da garantia do produto espacial (INPE) e proposição de seu aperfeiçoamento baseada na sumarização de um correspondente processo aeronáutico (ANAC).** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

SILVA, C. M. Z.; SOUZA, G. M.; SOUZA, M. L. O. Proposal for a space product assurance process improvement based on an aeronautical process. In: AEROSPACE CONFERENCE, 2018. **Proceedings...** IEEE, 2018. DOI: 10.1109/AERO.2018. 83966376.

SILVA, C. M. Z.; MOREIRA, G. M. B.; SOUZA, M. L. O. Um método para a avaliação de uma proposta de aperfeiçoamento de processos de garantia do produto espacial. In: SIMPÓSIO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SAEPRO) DA EEL – USP, 2023. **Anais...** Lorena: USP, 2023a.

SILVA, C. M. Z.; SOUZA, M. L. O. Garantia de missão espacial moderna em cenário de recursos escassos (new space). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA INDUSTRIAL (CONEMI), 2023. Vitória, ES. **Anais...** 2023b.

SILVA, C. M. Z., SOUZA, M. L. O. Uma breve comparação entre as garantias de missões espaciais clássica e moderna. In: WORKSHOP DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS, 13., 2022, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2022.

UNITED STATES.DEPARTMENT OF DEFENSE. **Design, construction, and testing requirements for one of a kind space equipment (DoD-HDBK-343)**. Washington, D.C.: DoD, 1986.

UNITED STATES.DEPARTMENT OF DEFENSE. **Mission assurance strategy**. Washington, D.C.: DoD, 2012.

WIKIPEDIA. **The Aerospace Corporation**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/The_Aerospace_Corporation. Acesso em: 15 out. 2020.

WILLIAMS, C.; IBBOTSON, J.; LOCKERBIE, J.; ATTWOOD, K. Mission assurance through requirements traceability. In: IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 2014. **Proceedings...**IEEE, 2014.Doi: 10.1109/MILCOM.2014.270.

YOUNG, R. R. **The requirements engineering handbook**. [S.l.]: Artech House, 2004.

YU, J.; DING, F.; ZHAO X.; WANG, Y. An resilient cloud architecture for mission assurance. In: INFORMATION TECHNOLOGY AND MECHATRONICS ENGINEERING CONFERENCE, 4., 2018. **Proceedings...**IEEE, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8740382>. Acesso em: 10 jul. 2021.

ZANINOTTO, J. M. R. **Adaptação dos requisitos de garantia da qualidade para pequenos satélites utilizando análise de risco**. 2023. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologias Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2023.

ZANINOTTO, J. M. R.; MAY, J. E.; DINIZ, G. H.; FERREIRA, M. G. V. Quality assurance requirements tailoring approach for small satellite projects. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 9, n.8, p.566-578, 2022.

GLOSSÁRIO

aeronavegabilidade: a capacidade comprovada de um sistema ou produto aeronáutico realizar sua função de modo seguro em solo e em voo, em toda configuração aprovada, quando usado e mantido dentro dos limites operacionais aprovados, COMAER (2014a).

atividade: uma parte distinta e programada do trabalho executado no decorrer do projeto, PMI (2013).

atividades de verificação: atividades de investigação especial, teste, inspeção, demonstração, análise ou comparação de dados para verificar se um produto ou serviço cumpre com as exigências estabelecidas, Hoyle (2001).

baseline (linha de base): 1.) uma declaração específica sobre como as normas devem ser atendidas para tecnologias específicas; neste caso, a *baseline* é obrigatória, Axelrod (2016); e 2.) versão aprovada de um produto de trabalho que só pode ser alterada através de procedimentos formais de controle de mudança e é usada como uma base de comparação, PMI (2013).

certificação: é atestar que o produto (aeronáutico) cumpre com os requisitos, estabelecidos pela autoridade competente, por meio de um processo pelo qual uma organização certificadora reconhece o seu projeto, após verificação técnica adequada, da conformidade com as especificações e então, emite um certificado formal para o requerente da certificação, adaptado de ANAC (2017) e COMAER (2014a).

conformidade: atendimento às especificações.

critério: normas, regras ou testes pelos quais uma opinião ou decisão pode basear-se, ou pelos quais um produto, serviço, resultado ou processo pode ser avaliado, Hoyle (2001).

critério de decisão: Fatores levados em consideração para realizar as tomadas de decisão e balanceamento das escolhas.

cumprimento: obediência obrigatória às leis e regulamentações ou aderência completa aos requisitos exigidos, Axelrod (2016).

elicitação (*elicitation*): processo de informar-se e entender as necessidades dos consumidores ou usuários para o sistema planejado.

especificação: documento que especifica, de maneira completa, precisa e verificável, os requisitos, projeto, comportamento ou outras características de um sistema, componente, produto, resultado ou serviço e os procedimentos para determinar se essas cláusulas foram satisfeitas. Exemplos: especificação de requisitos, especificação de projeto, especificação de produto e especificação de testes, Hoyle (2001).

garantia: evidência que mostra de forma confiável que algo vai ocorrer ou ainda, já ocorreu, Hoyle (2001).

garantia da qualidade: parte da gestão da qualidade focada em fornecer confiança que os requisitos da qualidade serão cumpridos, Hoyle (2001).

garantia do produto: disciplina dedicada ao estudo, planejamento e implementação de atividades destinadas a garantir as especificações, controles, métodos e técnicas de um projeto que resultam em um grau satisfatório de qualidade no produto, ECSS (2012).

Garantia do Produto ou GP: grupo pertencente ao Serviço de Engenharia da Qualidade da Coordenadoria da ETE do INPE (SEQ/ETE/INPE).

marco (*milestone*): um ponto ou evento significativo de um projeto, programa, ou portfólio, PMI (2013).

prática: é uma técnica ou metodologia que, através da experiência e da pesquisa, provou ser confiável para conduzir a um resultado desejado, Axelrod (2016).

processo: uma série de tarefas de nível mais alto que foi projetada para permitir que aqueles dentro da organização cumpram a política. Processos são vistos como gerenciamento de atividades, Axelrod (2016).

procedimento: uma lista detalhada das tarefas que devem ser executadas para cumprir os padrões e a *baseline*. Os procedimentos são específicos para aqueles que executam as tarefas e se aplicam a tecnologias e ambientes específicos, Axelrod (2016).

produto: artefato produzido, quantificável e que pode ser um item final ou um item componente. Produtos também são chamados de materiais ou bens, PMI (2013).

projeto: é um conjunto coordenado e controlado de atividades com uma data de início e fim, empreendido com objetivo de alcançar conformidade com requisitos específicos, incluindo limitações de tempo, custo e recursos, ECSS (2012).

qualidade: atendimento aos requisitos das partes interessadas, Souza (2016).

qualificação: determinação por uma série de testes, análise de documentos e de processos que evidencia a capacidade de um produto atender ao desempenho especificado, Hoyle (2001).

rastreabilidade: a capacidade de rastrear o histórico, a aplicação, o uso de um artigo individual ou suas características por meio de identificação devidamente registrada, Hoyle (2001).

validação: processo para determinar se um item cumpre com a finalidade para qual foi selecionado ou projetado, Hoyle (2001).

verificação: é o ato de estabelecer a verdade ou exatidão de um fato, teoria, declaração ou condição. Já as atividades de verificação são investigação especial, teste, inspeção, demonstração, análise ou comparação de dados para verificar se um produto ou serviço cumpre com os requisitos estabelecidos, Hoyle (2001).

requisito: de forma geral, para este trabalho, requisito pode ser entendido como um atributo necessário de um sistema, uma afirmação que identifica uma capacidade, característica ou fator de qualidade de um sistema para que ele tenha valor de utilidade para um consumidor ou usuário, baseado em Young (2004). Ou seja, requisitos são as necessidades declaradas das partes interessadas.

requisito crítico: são os requisitos mínimos e essenciais para compor a missão.

restrição pétrea: são restrições obrigatórias, as quais não podem ser violadas.

APÊNDICE A – MEIOS USADOS PARA VALIDAR A PROPOSTA DE GMMV

Este Apêndice apresenta os meios usados para validar (cf. o Capítulo 10) a proposta de GMMV (cf. o Capítulo 8).

A.1 Questionário

Nesta seção são apresentadas algumas partes do formulário utilizado na pesquisa. Para tal, foi utilizada a ferramenta “Form” do Google disponibilizada on-line. A pesquisa foi distribuída para 30 pessoas; porém, apenas 17 responderam as questões até o prazo estabelecido.

Figura A. 1 - Formato do formulário disponibilizado para a pesquisa.



The image shows a Google Form interface. At the top, there is a header bar with a blue background and a white box containing the text 'Seção 1 de 4'. Below this, the main title of the form is 'Avaliação da Proposta de Garantia de Missão Mínima Viável para Satélites de Pequeno e Médio Porte.' in a large, bold, black font. To the right of the title are two small icons: a close button (X) and a menu button (three vertical dots). Below the title, there is a paragraph of text: 'A proposta de Garantia de Missão Mínima Viável para Satélites de Pequeno e Médio Porte é apresentada na Tese de Doutorado de Cristiane M. Z. Silva do INPE.' followed by another paragraph: 'A avaliação consiste em verificar a aderência da proposta apresentada às necessidades da instituições e de seus colaboradores. Os critérios são avaliados usando a escala de Likert, SILVA (2014), que consiste em uma escala utilizada para pesquisa de opinião, com respostas psicométricas a pergunta no formato de questionários. No caso, a escala é utilizada para medir o nível de concordância ou não concordância à afirmação. Neste trabalho são usados cinco níveis de respostas. A questão elaborada é a seguinte: Você considera que a proposta apresentada afeta positivamente os critérios abaixo em qual nível da escala?'. Below this text is a horizontal line for the user to enter their response.

Fonte: Autora.

Figura A. 2 -Questões do formulário – parte 1.

1. **Critério Técnico:**

1.1. Qualidade do Produto ou Serviço Desempenhado.

A proposta contribui positivamente com a garantia da qualidade do produto final ou do serviço prestado.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 -Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

2. **Critério Técnico:**

1.2. Segurança da Missão e da Equipe

A proposta contribui positivamente com a segurança da missão e da equipe, aumentando ou melhorando os controles, melhorando processos, etc.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 -Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

3. **Critério Técnico:**

1.3. Capacidade de Detecção de Erro ou Desvio

A proposta contribui positivamente com a capacidade de detecção de erro ou desvios nas atividades desempenhadas.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 -Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

Fonte: Autora.

Figura A. 3 - Questões do formulário - parte 2.

4. **Critério Técnico:**

Critério 1.4. Atendimento ao Requisito

A proposta contribui positivamente com o atendimento ao requisito associado

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

Critérios Operacionais

5. 2.1. Tempo para Execução da Atividade Proposta

A proposta contribui positivamente com o atendimento ao cronograma do projeto ou do serviço, mesmo levando em consideração o tempo previsto para sua execução.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

6. 2.2. Custo Envolvido na Execução da Atividade

A proposta contribui positivamente com o custo envolvido na execução do projeto ou serviço, mesmo levando em consideração o custo previsto para sua execução da proposta.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

Fonte: Autora.

Figura A. 4 - Questões do formulário - parte 3.

7. 2.3. Equipe Envolvida na Atividade

A proposta contribui positivamente com a equipe envolvida, atuando na troca de informação, ou melhorando seus conhecimentos, ou melhorando seus relacionamentos, ou retirando carga de trabalho da equipe (no projeto como um todo).

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

8. 2.4. Treinamento dos Envolvidos

A proposta contribui positivamente com a geração de treinamento da equipe, atuando na troca de conhecimento, ou melhorando suas habilidades, ou aumentando a experiência, etc.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

Critérios Táticos

9. 3.1. Custo Envolvido na Implantação da Atividade

A proposta contribui positivamente no custo envolvido, uma vez que o custo de implantação seja menor comparado ao gasto associado à não implantação.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

Fonte: Autora.

Figura A. 5 - Questões do formulário - parte 4.

10. 3.2. Envolvimento para a Implantação
A proposta contribui positivamente com o envolvimento para a implantação, uma vez que os envolvidos (instituições) serão afetados positivamente com o resultado final, sendo esses MCTI, INPE ou Qualidade.
- Marcar apenas uma oval.*
- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente
11. 3.3. Atividade Atual
A proposta contribui positivamente com a atividade atual, uma vez que aprimora o processo, diminui o tempo gasto ao final do projeto ou serviço, ou ainda insere um controle não existente.
- Marcar apenas uma oval.*
- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente
12. 3.4. Coerência com a Visão da Instituição
A proposta contribui positivamente com as atividades desenvolvidas pela instituição, dentro do seu escopo de trabalho.
- Marcar apenas uma oval.*
- ☐ 1 - Não concordo totalmente
- ☐ 2 - Não concordo parcialmente
- ☐ 3 - Indiferente
- ☐ 4 - Concordo parcialmente
- ☐ 5 - Concordo totalmente

Fonte: Autora.

Figura A. 6 - Questões do formulário - parte 5.

15. 3. Instituição a qual o entrevistado presta serviços atualmente ou atuou nos últimos anos. *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Instituição pública civil
☐ Instituição pública militar
☐ Instituição privada

13. 1. Tempo de experiência do entrevistado na área aeroespacial *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Menos que 3 anos
☐ Entre 3 e 10 anos
☐ Entre 10 e 20 anos
☐ Entre 20 e 30 anos
☐ Mais de 30 anos

14. 2. Tempo de experiência do entrevistado na área de garantia do produto ou garantia de missão ou verificação de cumprimento de requisitos ou desenvolvimento de produto.

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Menos que 3 anos
☐ Entre 3 e 10 anos
☐ Entre 10 e 20 anos
☐ Mais de 20 anos

Fonte: Autora.

Tabela A.1–Tabela com todas as questões e respostas obtidas na pesquisa.

Carimbo de data/hora	Critério Técnico: 1.1. Qualidade do Produto ou Serviço Desempenhado. A proposta contribui positivamente com a garantia da qualidade do produto final ou do serviço prestado.	Critério Técnico: 1.2. Segurança da Missão e da Equipe A proposta contribui positivamente com a segurança da missão e da equipe, aumentando ou melhorando os controles, melhorando processos, etc.	Critério Técnico: 1.3. Capacidade de Detecção de Erro ou Desvio A proposta contribui positivamente com a capacidade de detecção de erro ou desvios nas atividades desempenhadas.	Critério Técnico: 1.4. Atendimento ao Requisito A proposta contribui positivamente com o atendimento ao requisito associado	2.1. Tempo para Execução da Atividade A proposta contribui positivamente com o atendimento ao cronograma do projeto ou do serviço, mesmo levando em consideração o tempo previsto para sua execução.	2.2. Custo Envolvido na Execução da Atividade A proposta contribui positivamente com o custo envolvido na execução do projeto ou serviço, mesmo levando em consideração o custo previsto para sua execução da proposta.	2.3. Equipe Envolvida na Atividade A proposta contribui positivamente com a equipe envolvida, atuando na troca de informação, ou melhorando seus conhecimentos, ou melhorando seus relacionamentos, ou retirando	2.4. Treinamento dos Envolvidos A proposta contribui positivamente com a geração de treinamento da equipe, atuando na troca de conhecimento, ou melhorando suas habilidades, ou aumentando a experiência, etc.	3.1. Custo Envolvido na Implantação da Atividade A proposta contribui positivamente com o custo envolvido, uma vez que o custo de implantação seja menor comparado ao gasto associado à não implantação.	3.2. Envolvimento para a Implantação A proposta contribui positivamente com o envolvimento para a implantação, uma vez que os envolvidos (instituições) serão afetados positivamente com o resultado final, sendo esses MCTI, INPE ou	3.3. Atividade Atual A proposta contribui positivamente com a atividade atual, uma vez que aprimora o processo, diminui o tempo gasto ao final do projeto ou serviço, ou ainda insere um controle	3.4. Coerência com a Visão da Instituição A proposta contribui positivamente com as atividades desenvolvidas pela instituição, dentro do seu escopo de trabalho.	1. Tempo de experiência do entrevistado na área aeroespacial	2. Tempo de experiência do entrevistado na área de garantia do produto ou garantia de missão ou verificação de cumprimento de requisitos ou desenvolvimento de produto.	3. Instituição a qual o entrevistado presta serviços atualmente ou atuou nos últimos anos.
6/7/2023 12:24:25	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	2 - Não concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	2 - Não concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública civil
5/31/2023 10:33:00	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	3 - Indiferente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Mais de 30 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública civil
5/31/2023 10:53:54	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	2 - Não concordo parcialmente	2 - Não concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	2 - Não concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 3 e 10 anos	Instituição pública militar
5/31/2023 11:32:31	4 - Concordo parcialmente	2 - Não concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	2 - Não concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 3 e 10 anos	Instituição pública militar
5/31/2023 13:43:39	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 3 e 10 anos	Entre 3 e 10 anos	Instituição pública militar
6/1/2023 17:48:20	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição privada
6/1/2023 21:49:50	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	2 - Não concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	2 - Não concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	3 - Indiferente	Entre 20 e 30 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública militar
6/1/2023 23:40:27	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública militar
6/2/2023 8:12:12	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública militar
6/2/2023 14:14:56	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública civil
6/4/2023 2:15:02	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Mais de 30 anos	Menos que 3 anos	Instituição pública militar
6/5/2023 8:14:42	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	Entre 20 e 30 anos	Entre 3 e 10 anos	Instituição pública civil
6/5/2023 8:54:07	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 20 e 30 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública civil
6/5/2023 11:44:48	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 10 e 20 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição privada
6/5/2023 18:06:27	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 20 e 30 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição privada
6/6/2023 9:38:59	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 20 e 30 anos	Entre 10 e 20 anos	Instituição pública militar
6/6/2023 21:07:19	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	4 - Concordo parcialmente	4 - Concordo parcialmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	5 - Concordo totalmente	Entre 20 e 30 anos	Entre 3 e 10 anos	Instituição privada

Fonte: Autora.

APÊNDICE B – VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE MÉTODO DE SELEÇÃO DE REQUISITOS CRÍTICOS E RESTRIÇÕES PÉTREAS, DO ESTUDO DE CASO E DE SUA PONTUAÇÃO

Este Apêndice apresenta a validação da proposta de método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas, feita no Capítulo 9; seu exercício no estudo de caso e sua pontuação, feitas no Capítulo 11.

B.1 O Método de validação

A validação da proposta de método de seleção de requisitos críticos e restrições pétreas, feita no Capítulo 9; seu exercício no estudo de caso e sua pontuação, feitas no Capítulo 11, foi feita aplicando-se à sua forma e conteúdo, descritas nos Capítulos 9 e 11, uma versão simplificada e qualitativa do método aplicado no Capítulo 10 e detalhado no Apêndice A.

O **método de validação** adapta, combina e usa:

- 1) **4 classes** para as informações, de completas a insatisfatórias;
- 2) **2 critérios**, de fidelidade e de visão global da forma e conteúdo, descritas nos Capítulos 9 e 11, sob a ótica da Garantia de Missão, conforme os documentos, processos, atividades e demais conteúdos referentes aos projetos/ programas e subsistemas de satélite de pequeno e médio porte do INPE, especialmente da Missão EQUARS.
- 3) **Observações adicionais**, para completarem/corrigirem as informações;
- 4) **Uma amostra de conveniência**, com cinco (5) colaboradores com experiência em Garantia do Produto, ou em Verificação e Cumprimento de Requisitos, ou em Gestão de Projetos, e participação na Missão EQUARS.
- 5) **Os Passos** seguintes do método de avaliação:
 - 1º. Apresentar a motivação para validar a proposta do método e seu exercício no estudo de caso, feitos nos Capítulos 9 e 11;
 - 2º. Entregar os Capítulos 9 e 11 aos membros do INPE com experiência em gestão de riscos, análise de impacto e conhecimento em requisitos; e

3º. Entregar os questionários (Tabelas B1 e B6) para que fossem preenchidos ao final da avaliação.

B.2 Aplicação do método e resultados da avaliação da proposta e sua aplicação, feitas nos Capítulos 9 e 11

Tabela B.1–Avaliação do texto e conteúdo dos Capítulos 9 e 11, sob a ótica dos especialistas da área aeroespacial, dos processos referentes aos subsistemas e sistemas de satélites de pequeno e médio porte do INPE.

Cargo:	
Função desempenhada em missões espaciais:	
Tempo de experiência na área:	
1. Fidelidade	Em relação à fidelidade das necessidades apresentadas, coerência do método (Capítulo 9) e sua aplicação (Capítulo 11), na referida área de atuação (caso missão EQUARS), as informações podem ser consideradas: (...) completas (...) satisfatórias (...) pouco satisfatórias (...) insatisfatórias
2. Visão global	Em relação a uma visão global do processo, figuras e método apresentados (Capítulo 9), dentro do escopo deste trabalho, estes podem ser considerados: (...) completos (...) satisfatórios (...) pouco satisfatórios (...) insatisfatórios
3. Observações adicionais	(...) Não tenho observações adicionais. (...) Tenho observações adicionais: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____

Assinatura: _____ / Data: _____

Tabela B.2–Avaliação dos Capítulos – Colaborador 1

Cargo: <i>Tecnologista</i>	
Função desempenhada em missões espaciais: <i>Gerente de Garantia do Produto</i>	
Tempo de experiência na área: 10 anos	
1. Fidelidade	Em relação à fidelidade das necessidades apresentadas, coerência do método (Capítulo 9) e sua aplicação (Capítulo 11), na referida área de atuação (caso missão EQUARS), as informações podem ser consideradas: () completas (X) satisfatórias () pouco satisfatórias () insatisfatórias
2. Visão global	Em relação a uma visão global do processo, figuras e método apresentados (Capítulo 9), dentro do escopo deste trabalho, estes podem ser considerados: () completos (X) satisfatórios () pouco satisfatórios () insatisfatórios
3. Observações adicionais	(...) Não tenho observações adicionais. (X) Tenho observações adicionais: <i>Os capítulos alinham-se bem com o método proposto e sua aplicação prática, satisfazendo os requisitos da Garantia de Missão de satélites. A estrutura e clareza do conteúdo destacam-se, e o trabalho poderia ganhar ainda mais valor com um reforço nas conexões entre os capítulos e um detalhamento mais rico do contexto. Integrar mais profundamente com os capítulos que exploram as lacunas na literatura, realizar uma análise mais detalhada dos resultados e correlacionar as referências bibliográficas são passos que prometem enriquecer o trabalho. O trabalho apresenta completude adequada, a adoção de melhorias tem o potencial de aprimorar a qualidade geral da obra.</i>

Assinatura:  / Data: 22/09/2023

Tabela B.3 – Avaliação dos Capítulos – Colaborador 2

Cargo: Tecnologista	
Função desempenhada em missões espaciais: Engenharia do Produto	
Tempo de experiência na área: 10 anos	
1. Fidelidade	Em relação à fidelidade das necessidades apresentadas, coerência do método (Capítulo 9) e sua aplicação (Capítulo 11), na referida área de atuação (caso missão EQUARS), as informações podem ser consideradas: (X) completas () satisfatórias () pouco satisfatórias () insatisfatórias
2. Visão global	Em relação a uma visão global do processo, figuras e método apresentados (Capítulo 9), dentro do escopo deste trabalho, estes podem ser considerados: (X) completos () satisfatórios () pouco satisfatórios () insatisfatórios
3. Observações adicionais	(...) Não tenho observações adicionais. (.X.) Tenho observações adicionais: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____



Assinatura: _____ / Data: 11/09/2023

Tabela B.4 – Avaliação dos Capítulos – Colaborador 3

Cargo: <i>Tenente-Coronel</i>	
Função desempenhada em missões espaciais: <i>Chefe da Subdivisão de Processos de Certificação de Produtos Aeroespaciais.</i>	
Tempo de experiência na área: 13 anos	
1. Fidelidade	Em relação à fidelidade das necessidades apresentadas, coerência do método (Capítulo 9) e sua aplicação (Capítulo 11), na referida área de atuação (caso missão EQUARS), as informações podem ser consideradas: ☒ (X) completas ☐ (...) satisfatórias ☐ (...) pouco satisfatórias ☐ (...) insatisfatórias
2. Visão global	Em relação a uma visão global do processo, figuras e método apresentados (Capítulo 9), dentro do escopo deste trabalho, estes podem ser considerados: ☒ (X) completos ☐ (...) satisfatórios ☐ (...) pouco satisfatórios ☐ (...) insatisfatórios
3. Observações adicionais	(...) Não tenho observações adicionais. (X) Tenho observações adicionais: <u>O método proposto é inovador e apresenta uma abordagem com potencial de revolucionar a garantia de missões espaciais, especialmente para projetos com recursos muito limitados, prometendo eficiência e segurança sem precedentes.</u>

Assinatura:  / Data: 08/11/2023

Tabela B.5 – Avaliação dos Capítulos – Colaborador 4

Cargo: Pesquisadora	
Função desempenhada em missões espaciais: Não participo diretamente	
Tempo de experiência na área: N/A	
1. Fidelidade	Em relação à fidelidade das necessidades apresentadas, coerência do método (Capítulo 9) e sua aplicação (Capítulo 11), na referida área de atuação (caso missão EQUARS), as informações podem ser consideradas: (X) completas () satisfatórias () pouco satisfatórias () insatisfatórias
2. Visão global	Em relação a uma visão global do processo, figuras e método apresentados (Capítulo 9), dentro do escopo deste trabalho, estes podem ser considerados: (X) completos () satisfatórios () pouco satisfatórios () insatisfatórios
3. Observações adicionais	(...) Não tenho observações adicionais. (...) Tenho observações adicionais: Espero que o processo seja aplicado em breve. _____ _____ _____ _____ _____ _____


Documento assinado digitalmente
EVELINE DE ROBERTIS
Data: 06/11/2023 08:33:01 -0500
Verifique em: https://validar.ri.gov.br/

Assinatura: _____ / Data: 09/11/2023

B.3 Aplicação do método e resultados da avaliação da pontuação da missão EQUARS feita no Capítulo 11

Para validar a pontuação da missão EQUARS feita no Capítulo 11 sob a ótica da Garantia de Missão, seguiram-se as seguintes etapas:

- 1º. Apresentação das tabelas para a realização da validação da pontuação apresentada para o INPE no Capítulo 11;
- 2º. Entrega do Capítulo 11 para os membros do INPE com experiência em garantia do produto e garantia de missão; e
- 3º. Entrega do questionário (Tabela B.6) para que fosse preenchido ao final da avaliação.

Tabela B.6– Questionário para avaliação de pontuação feita no Capítulo 11.

Cargo:	
Função desempenhada em missões espaciais:	
Função desempenhada na missão EQUARS:	
1. Pontuação selecionada para cada tabela (Capítulo 11)	Quanto a pontuação estabelecida para o INPE no estudo de caso, da Tabela 11.1 a 11.4. (Capítulo 11) referente a missão EQUARS: ☐ concordo completamente ☐ concordo parcialmente ☐ discordo em grande parte ☐ discordo totalmente
2. Observações adicionais	☐ Não tenho observações adicionais. ☐ Tenho observações adicionais: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____

Assinatura: _____ / Data: _____

Tabela B.7 – Avaliação de pontuação - Colaborador 1

Cargo: Tecnologista	
Função desempenhada em missões espaciais: Garantia e Eng. do Produto	
Função desempenhada na missão EQUARS: Engenharia do Produto	
1. Pontuação selecionada para cada tabela (Capítulo 11)	Quanto a pontuação estabelecida para o INPE no estudo de caso, da Tabela 11.1 a 11.4. (Capítulo 11) referente a missão EQUARS: (X) concordo completamente () concordo parcialmente () discordo em grande parte () discordo totalmente
2. Observações adicionais	(.X.) Não tenho observações adicionais. (...) Tenho observações adicionais: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____

Assinatura: pe Eduardo Jay / Data: 29/11/2023

Tabela B.8 – Avaliação de pontuação - Colaborador 2.

Cargo: <i>TECNOLOGISTA</i>	
Função desempenhada em missões espaciais: <i>Gerente de Garantia do Produto</i>	
Função desempenhada na missão EQUARS: <i>Gerente de Garantia do Produto</i>	
1. Pontuação selecionada para cada tabela (Capítulo 11)	Quanto a pontuação estabelecida para o INPE no estudo de caso, da Tabela 11.1 a 11.4. (Capítulo 11) referente a missão EQUARS: ☒ concordo completamente ☐ concordo parcialmente ☐ discordo em grande parte ☐ discordo totalmente
2. Observações adicionais	☒ Não tenho observações adicionais. ☐ Tenho observações adicionais: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____

Assinatura:

Adson H. Diniz

Data:

29/11/2023