



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/01.07.12.27-TDI

## UMA PROPOSTA PARA O CICLO DE VIDA DE MISSÕES DE FOGUETES DE SONDAGEM

Felipe da Motta Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Leonel Fernando Perondi, aprovada em 06 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HN7RE2>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

## **COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

### **Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **Membros:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas  
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
(CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação  
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/01.07.12.27-TDI

## UMA PROPOSTA PARA O CICLO DE VIDA DE MISSÕES DE FOGUETES DE SONDAGEM

Felipe da Motta Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Leonel Fernando Perondi, aprovada em 06 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HN7RE2>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Silva, Felipe da Motta.

Si38p Uma proposta para o ciclo de vida de missões de foguetes de sondagem / Felipe da Motta Silva. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxii + 106 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/01.07.12.27-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientador : Dr. Leonel Fernando Perondi.

1. Foguetes de sondagem. 2. Ciclo de vida. 3. Programa microgravidade. 4. Gerenciamento de projetos. I.Título.

CDU 629.765-043.82

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Mestre** em

**Engenharia e Tecnologia  
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas  
Espaciais**

Dr. Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira



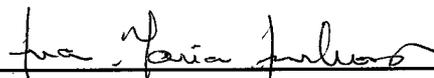
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Leonel Fernando Perondi



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Ana Maria Ambrosio



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. José Bezerra Pessoa Filho



Convidado(a) / IAE/DCTA / São José dos Campos - SP

**Este trabalho foi aprovado por:**

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Felipe da Motta Silva**

**São José dos Campos, 06 de Fevereiro de 2015**



*“Nós somos o que fazemos repetidamente. A excelência, portanto, não é um ato, mas um hábito”.*

*Aristóteles*



## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria, antes de tudo, agradecer a Deus pela conclusão de mais esta etapa em minha vida profissional.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Dr. Leonel Perondi, pelo apoio indispensável para que os objetivos deste trabalho fossem atingidos.

Agradeço também a todos os professores do CSE, com os quais tive o prazer de conviver, e que pude adquirir uma parte de seus conhecimentos.

Sou grato também à Edleusa Ferreira, secretária deste curso, por todo o apoio durante o tempo que venho estudando no INPE. Da mesma forma, gostaria de agradecer à Patrícia Marciano Leite, secretária do Gabinete do Diretor do INPE, por sempre encontrar espaços na agenda do Dr. Perondi para que eu pudesse receber as orientações necessárias.

Agradeço também ao Instituto de Aeronáutica e Espaço, onde trabalho, pela oportunidade de poder cursar este Mestrado.

Agradeço a minha família, e aos meus amigos, em especial ao Alison, que sempre foi o grande incentivador desta empreitada.



## RESUMO

O Brasil vem envidando esforços para o acesso independente ao espaço, tanto para a colocação de satélites em órbita, por meio de veículos lançadores, quanto para a realização de experimentos técnicos e científicos, através de foguetes de sondagem. A organização responsável pelo desenvolvimento de foguetes de sondagem no Brasil é o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), quem tem desenvolvido uma série bem sucedida desses veículos, os quais vêm sendo amplamente utilizados pelo Programa Espacial Brasileiro, bem como por programas internacionais, como os da Agência Espacial Europeia (ESA). Além do objetivo central de desenvolver foguetes de sondagem, o Programa de Foguetes de Sondagem do IAE objetiva, secundariamente, apoiar os clientes no desenvolvimento de cargas úteis que atendam objetivos científicos e técnicos, específicos de cada missão. O suporte provido inclui o gerenciamento da missão, o projeto da carga útil e a especificação de seus testes e avaliações, a definição do veículo lançador, dos sistemas de recuperação e das operações no campo de lançamento, bem como o rastreamento, a aquisição e o processamento de dados, entre outras atividades e ações. No desenvolvimento das cargas úteis, de modo a atender os requisitos funcionais, ambientais e de confiabilidade, há a necessidade de que a equipe de projeto faça uso dos processos e das técnicas gerenciais normalmente utilizados em projetos espaciais de maior porte, como satélites, missões tripuladas, e outros. O alto custo e a grande complexidade destes processos de gerenciamento, bem como a alta recorrência existente nos processos gerenciais associados ao desenvolvimento das cargas úteis relativas a missões com foguetes de sondagem, sugerem o desenvolvimento de um ciclo de vida reduzido para estas missões. O presente trabalho objetiva propor e apresentar um ciclo de vida com estas características e objetivos. Embora menos formais, os processos de gerenciamento de projeto propostos continuam baseados em técnicas suficientemente robustas, aumentando as chances de sucesso da missão. Esta abordagem ajudará a troca de informações entre o cliente e a equipe de desenvolvimento do projeto da missão, garantindo que se chegue a um projeto de carga útil otimizado e confiável, que atenda totalmente aos requisitos dos experimentos que serão embarcados.



# **A PROPOSAL OF A LIFE CYCLE FOR SOUNDING ROCKET MISSIONS**

## **ABSTRACT**

Long standing efforts have been implemented by the Brazilian Government in the development of space vehicles, mainly sounding rockets, for independent access to scientific and technological experiments in outer space. The organization responsible for the development of sounding rockets in Brazil is the Institute of Aeronautics and Space (IAE), which has developed a very much successful series of sounding rockets. They have been extensively used by both Brazilian and international programs, ESA programs being an example of the latter. One of the primary objectives of the Sounding Rockets Program of IAE is to assist customers in the development of payloads that meet specified scientific and technological objectives. The support given includes mission management, payload design, tests and evaluation, launch vehicles, recovery systems, launch range operations, tracking, data acquisition and processing, among others. To evaluate the feasibility of each mission, a specially tailored, cost-effective, life cycle, capable of meeting mission objectives, was devised and carefully analyzed. In the payload development, the design team has to resort management processes and techniques regularly used in large space projects, such as satellites, manned missions, and others, despite the high complexity and cost of such management processes. For each mission, a specially tailored management process was developed, with a reduced life cycle. Although less formal, the adopted management process was still based on sufficiently robust techniques, guaranteeing the effectiveness of the whole enterprise. This approach helps the exchange of information between the customer and the IAE team, assuring that the payload team will reach an optimized and reliable payload design totally compliant with the experiments' requirements.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2. 1 - Perfis de Missões.....	3
Figura 2. 2 - Configuração de um Foguete de Sondagem .....	4
Figura 2. 3 - Foguetes de Sondagem Brasileiros em Atividade .....	4
Figura 2. 4 - VS-30 .....	5
Figura 2. 5 - VS-30/Orion .....	6
Figura 2. 6 - VSB-30.....	7
Figura 2. 7 - VS-40 .....	8
Figura 3. 1 - Ciclo de Vida do PMI.....	17
Figura 3. 2 - Influência das Partes Interessadas e Custo das Mudanças.....	18
Figura 3. 3 - Hierarquia do Sistema Espacial .....	19
Figura 3. 4 - Exemplo de EAP para sistema espacial .....	22
Figura 3. 5 - Ciclo de Vida da ECSS .....	24
Figura 3. 6 - Ciclo de Vida de Projetos da NASA .....	35
Figura 5. 1 - Estrutura Organizacional de um Lançamento .....	72
Figura 5. 2 - Ferramentas para o desenvolvimento do Trabalho.....	77
Figura 5. 3 - Unificação dos Segmentos Espacial e Lançador .....	77
Figura 5. 4 - Lançamento e Resgate da Carga Útil .....	80
Figura 5. 5 – Diagrama de Atividades .....	96



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Lançamentos dos Foguetes Brasileiros em atividade .....	9
Tabela 5. 2 - Construção do Ciclo de Vida de Foguetes de Sondagem.....	81
Tabela 5. 3 - Inserção das Atividades Atuais no Ciclo de Vida Proposto .....	97
Tabela 5. 4 - Adequação ao Ciclo de Vida Proposto.....	98



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABC	Academia Brasileira de Ciências
AEB	Agência Espacial Brasileira
AR	Acceptance Review
CDR	Critical Design Review
CERR	Critical Events Readiness Review
CLA	Centro de Lançamento de Alcântara
CLBI	Centro de Lançamento da Barreira do Inferno
CRR	Commissioning Result Review
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DR	Decommissioning Review
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
ELR	End-of-life Review
ESA	European Space Agency
FRR	Flight Readiness Review
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KDP	Key Decision Points
LRR	Launch Readiness Review
MCR	Mission Concept Review (NASA)
MCR	Mission Closeout Review (ESA)
MDR	Mission Definition Review
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ORR	Operational Readiness Review
PDR	Preliminary Design Review
PFAR	Post-Flight Assessment Review
PLAR	Post-Launch Review

PMI	Project Management Institute
PRR	Preliminary Requirements Review
PRR	Production Readiness Review (NASA)
QR	Qualification Review
SIR	System Integration Review
SRR	System Requirements Review
TRR	Test Readiness Review
VLS	Veículo Lançador de Satélites

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 FOGUETES DE SONDAGEM .....	3
2.1. Foguetes de sondagem Brasileiros .....	4
2.1.1. VS-30.....	5
2.1.2. VS-30/ORION .....	6
2.1.3. VSB-30 .....	7
2.1.4. VS-40.....	8
3 GESTÃO DE PROJETOS.....	11
3.1. HISTÓRICO DO GERENCIAMENTO DE PROJETOS.....	13
3.1.1. 1945-1960.....	14
3.1.2. 1960-1985.....	15
3.1.3. 1985-PRESENTE .....	15
3.2. Ciclo de Vida de Projetos.....	17
3.3. Gerenciamento de Projetos Espaciais.....	18
3.3.1. Ciclo de Vida da ECSS .....	23
3.3.1.1. FASE 0 – Análise de Missão / Identificação de necessidades.....	25
3.3.1.2. FASE A – Viabilidade do Projeto .....	25
3.3.1.3. FASE B – Definição Preliminar .....	27
3.3.1.4. FASE C – Definição Detalhada.....	29
3.3.1.5. FASE D – Qualificação e Produção .....	30
3.3.1.6. FASE E – Operações.....	31
3.3.1.7. FASE F – Descarte .....	33

3.3.1.8.	Revisões específicas de cada projeto.....	33
3.3.2.	Ciclo de Vida da NASA.....	34
3.3.2.1.	PRÉ-FASE A – Estudos de Conceitos.....	36
3.3.2.2.	FASE A – Desenvolvimento de Conceitos e Tecnologias.....	38
3.3.2.3.	FASE B – Projeto Preliminar e Finalização do Desenvolvimento de Tecnologias .....	40
3.3.2.4.	FASE C – Projeto Definitivo e Fabricação .....	43
3.3.2.5.	FASE D – Montagem, Integração e Testes.....	47
3.3.2.6.	FASE E – Operações e Manutenção do Sistema Ativo .....	51
3.3.2.7.	FASE F – Fechamento.....	53
4	HISTÓRICO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO.....	57
5	CICLO DE VIDA DA MISSÃO DE UM FOGUETE DE SONDAGEM.....	63
5.1.	Execução de Missões de Foguetes de Sondagem no Brasil.....	65
5.1.1.	Comissão de Coordenação .....	66
5.1.2.	Gerência do Programa.....	67
5.1.3.	Instituições Executoras .....	68
5.1.3.1.	Serviços de suporte oferecidos pela Instituição Executora.....	68
5.1.4.	Processo de seleção do Programa Microgravidade .....	69
5.1.4.1.	Acompanhamento do desenvolvimento e supervisão.....	69
5.1.5.	O papel do DCTA nas missões de Foguetes de Sondagem.....	71
5.1.6.	Instituições Participantes .....	74
5.2.	Formação da Equipe.....	74
5.3.	Ciclo de Vida Proposto .....	76
5.3.1.	FASE 0 – Análise de Missão .....	82
5.3.2.	FASE A – Viabilidade.....	84

5.3.3. FASE B/C – Projeto .....	86
5.3.4. FASE D – Fabricação, Montagem, Integração e Testes.....	89
5.3.5. FASE E/F – Lançamento e Fechamento da Missão .....	93
5.3.6. Comparação: Ciclo de Vida Proposto x Procedimentos atuais.....	95
6 CONCLUSÃO .....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105



## 1 INTRODUÇÃO

O Governo brasileiro tem se empenhado no desenvolvimento de veículos espaciais, principalmente foguetes de sondagem, a fim de prover a centros de pesquisa, universidades e escolas o acesso ao espaço. A organização responsável pelo desenvolvimento de foguetes de sondagem no Brasil é o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), que vem desenvolvendo uma série bem-sucedida destes veículos, os quais vêm sendo utilizados tanto pelo Programa Espacial Brasileiro, quanto por programas internacionais, como por exemplo, os da Agência Espacial Europeia (ESA).

Um dos principais objetivos do Programa de Veículos de Sondagem do IAE, além de prover o próprio veículo, é auxiliar os usuários destes veículos no desenvolvimento de cargas úteis que sejam capazes de atingir os objetivos específicos de cada missão. As atividades de suporte oferecidas incluem o gerenciamento da missão, projeto da carga útil, avaliações e testes, motores, sistemas de recuperação, operações no campo de lançamento, rastreamento, aquisição e processamento de dados, eventual recuperação da carga útil, entre outros.

O Programa Microgravidade, gerido pela Agência Espacial Brasileira (AEB), tem como objetivo viabilizar experimentos científicos e tecnológicos nacionais em ambiente de microgravidade, fornecendo o acesso e o suporte técnico necessários. Este programa é desenvolvido em parceria com o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e Instituições de Ensino Superior. Atualmente, os ambientes de microgravidade disponíveis são providos por voos em foguetes de sondagem brasileiros do modelo VSB-30. Os experimentos são selecionados entre propostas apresentadas por universidades e institutos de pesquisas interessados, de acordo com os Anúncios de Oportunidades publicados regularmente (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013).

Devido à complexidade e aos estritos requisitos ambientais e de confiabilidade, associados a todos os desenvolvimentos de artefatos espaciais, existem conjuntos de recomendações para a organização e gestão de missões espaciais, que emergem da experiência dos principais programas espaciais com o projeto, fabricação, integração, colocação em órbita e operação de sistemas espaciais. Tais conjuntos de recomendações aplicam-se a todas as fases de uma missão, desde o nascimento de uma necessidade e/ou o reconhecimento de uma oportunidade, até o fechamento da missão, e são organizados em padrões, como aqueles preconizados pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pela European Cooperation for Space Standardization (ECSS).

No desenvolvimento das cargas úteis associadas a missões com foguetes de sondagem, de modo a atender os requisitos funcionais, ambientais e de confiabilidade, há a necessidade de que a equipe de projeto faça uso dos processos e das técnicas gerenciais normalmente utilizados em projetos espaciais de maior porte, como aqueles preconizados pelos padrões NASA e ECSS, acima referidos.

O presente trabalho objetiva caracterizar uma missão de foguete de sondagem como projeto e, então, propor e apresentar um ciclo de vida adaptado para a realização destas missões.

Os processos de gerenciamento de projeto propostos, que integram o ciclo de vida em referência, continuarão baseados em técnicas suficientemente robustas, de modo a maximizar a chance de sucesso da missão. O ciclo de vida proposto contribuirá para a padronização da troca de informações entre o cliente e a equipe de desenvolvimento do projeto da missão, buscando garantir que se chegue a um projeto de carga útil otimizado e confiável, e que atenda totalmente aos requisitos dos experimentos que serão embarcados.

## 2 FOGUETES DE SONDAGEM

Foguetes de sondagem têm sido utilizados para pesquisas científicas desde o final dos anos 1950; realizam voos suborbitais, ou seja, apesar de atingirem altitudes até mesmo superiores das que atingem veículos lançadores de satélites, não chegam a estas altitudes com energia suficiente para colocar objetos em órbita, realizando um voo parabólico, conforme mostrado na figura 2.1.

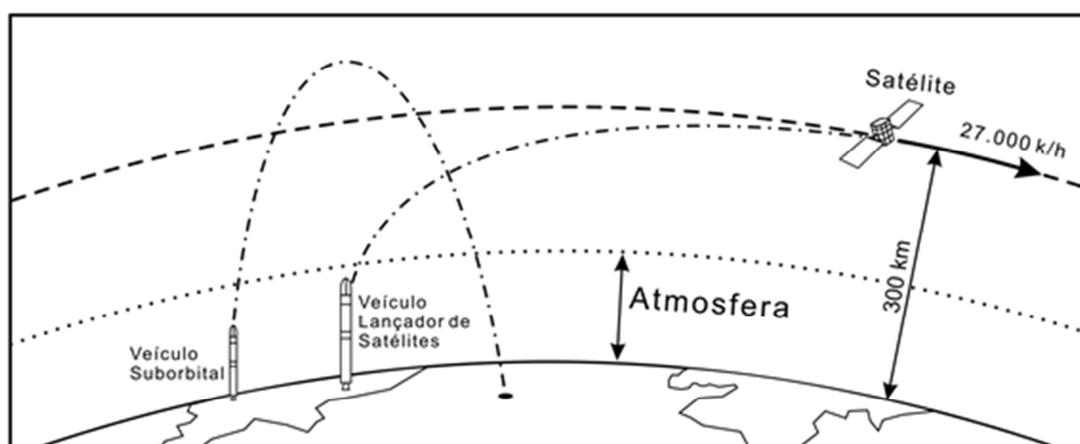


Figura 2. 1 - Perfis de Missões

Entre as aplicações de foguetes de sondagem destacam-se a sua utilização em missões científicas e tecnológicas, tais como as projetadas para realizar medições na atmosfera terrestre e para testar novos materiais e dispositivos, que no futuro, podem ser utilizados em foguetes orbitais e satélites. Os foguetes de sondagem são também utilizados para realizar experimentos em ambiente de microgravidade, que permitem o desenvolvimento de novos materiais e medicamentos. Microgravidade é um ambiente no qual os efeitos da atração gravitacional terrestre são reduzidos, em função do movimento de queda livre. Nos voos suborbitais, essa condição é observada em altitudes superiores a 100 km, desde que a gravidade seja a única força atuante sobre o foguete (PESSOA FILHO, et al., 2009).

Os Foguetes de Sondagem são constituídos de três partes principais (figura 2.2): motor ou motores (dependendo da configuração), sistema de serviço (controle, telemetria, recuperação, etc) e carga útil (onde os experimentos são instalados).

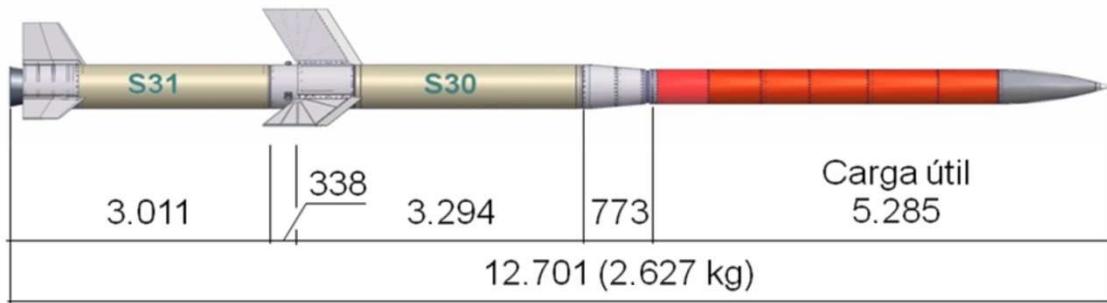


Figura 2.2 - Configuração de um Foguete de Sondagem

Fonte: IAE (2013)

## 2.1. Foguetes de sondagem Brasileiros

A figura 2.3 mostra os veículos de sondagem atualmente em atividade: VS-30, VS-30/Orion, VSB-30 e VS-40.



Figura 2. 3 - Foguetes de Sondagem Brasileiros em Atividade

Fonte: IAE (2013)

### 2.1.1. VS-30



Figura 2. 4 - VS-30

Fonte: IAE (2013)

O VS-30 (figura 2.4) é um veículo suborbital monoestágio, à propulsão sólida com capacidade de efetuar missões com cargas-úteis na faixa de 260 a 330kg para um apogeu de 120 a 160 km (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

O veículo, cujo projeto teve início em 1996, possui cerca de oito metros de comprimento e seu voo de qualificação ocorreu em 1997, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

### 2.1.2. VS-30/ORION



Figura 2. 5 - VS-30/Orion

Fonte: IAE (2013)

O VS-30/Orion (figura 2.5) é um veículo suborbital de dois estágios, à propulsão sólida com capacidade de efetuar missões com cargas úteis de 160 kg para um apogeu de 350 km. O primeiro estágio é constituído por um propulsor S30, de fabricação brasileira e o segundo estágio por um propulsor Improved Orion, de fabricação norte-americana. O veículo possui cerca de nove metros de comprimento e seu primeiro voo ocorreu em 2000, a partir do CLA (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

### 2.1.3. VSB-30



Figura 2. 6 - VSB-30

Fonte: IAE (2013)

O VSB-30 (figura 2.6) é um veículo suborbital com dois estágios, à propulsão sólida, com capacidade de transportar cargas úteis científicas e tecnológicas de 400 kg, a uma altitude de, aproximadamente, 270 km. Este veículo provê um ambiente de microgravidade de, aproximadamente, seis minutos (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Nasceu de uma consulta do Centro Espacial Alemão (DLR) ao IAE sobre a possibilidade de se desenvolver um propulsor a ser utilizado como booster para o veículo de sondagem VS-30, como forma de incrementar sua performance para que pudesse ser empregado no Programa Europeu de Microgravidade e também no Programa de Microgravidade na Agência Espacial Brasileira (AEB). Teve seu desenvolvimento iniciado em 2001 e seu primeiro voo ocorreu em 2004, a partir do CLA (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

O primeiro lançamento em solo europeu ocorreu em dezembro de 2005, transportando a carga útil TEXUS EML 1, a partir do Centro de Lançamento de

ESRANGE, em Kiruna, Suécia (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Até outubro de 2013, foram lançados quatorze VSB-30, três a partir do CLA e onze a partir de ESRANGE (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

#### **2.1.4. VS-40**



Figura 2. 7 - VS-40

Fonte: IAE (2013)

O VS-40 (figura 2.7) é um veículo suborbital de dois estágios à propulsão sólida, com capacidade de efetuar missões com cargas úteis de até 500kg em trajetórias de 650km de apogeu. O primeiro estágio é constituído pelo propulsor S40 e o segundo pelo propulsor S44, ambos de fabricação brasileira.

O projeto teve início na década de 1990, como fase intermediária no desenvolvimento do projeto VLS, no qual objetivava-se realizar um único lançamento experimental para qualificar seu quarto estágio em condições de voo. Os estudos realizados após o voo mostraram que o veículo era um promissor foguete de sondagem, tanto do ponto de vista de desempenho (tempo de voo no vácuo) como de volume de carga útil (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Tabela 2. 1 - Lançamentos dos Foguetes Brasileiros em atividade

Veículo	Local	Quantidade
VS-30	Alcântara – Brasil	4
	Natal – Brasil	2
	Andoya - Noruega	2
	<b>Total</b>	<b>8</b>
VS-30/Orion	Alcântara – Brasil	3
	Andoya - Noruega	5
	Svalbard - Noruega	2
	<b>Total</b>	<b>10</b>
VSB-30	Alcântara – Brasil	3
	Kiruna - Suécia	11
	<b>Total</b>	<b>14</b>
VS-40	Alcântara – Brasil	2
	Andoya - Noruega	1
	<b>Total</b>	<b>3</b>



### 3 GESTÃO DE PROJETOS

De acordo com Gido e Clements (2007), um projeto pode ser definido como sendo um esforço para se atingir determinado objetivo através de um conjunto único de tarefas inter-relacionadas e da utilização eficaz de recursos. Projetos “nascem” quando uma necessidade é identificada por uma pessoa ou organização que deseja prover fundos para ter sua necessidade satisfeita.

O *Project Management Institute* (PMI) diz em seu PMBoK (2004) que a organização ou os gerentes de projetos podem dividir projetos em fases para oferecer maior controle gerencial, com ligações adequadas com operações em andamento da organização executora. Coletivamente, essas fases são conhecidas como ciclo de vida do projeto, e existem padrões fornecidos pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pela Cooperação Europeia para a Padronização Espacial (ECSS), com foco nas necessidades exclusivas e peculiares no desenvolvimento de sistemas espaciais.

Segundo o PMI (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004), um projeto pode ser definido como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo.

As organizações realizam trabalhos para atingir um conjunto de objetivos. Em geral, os trabalhos são categorizados em projetos e operações, com objetivos fundamentalmente diferentes. A finalidade de um projeto é atingir seu objetivo e, em seguida, terminar. Por outro lado, o objetivo de uma operação contínua é manter o negócio (Project Management Institute, 2004).

Também de acordo com o PMI (2004), o gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos. O gerenciamento de projetos é realizado através da aplicação e da integração dos seguintes processos de gerenciamento de projetos: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, e encerramento, que interagem entre si e estão contidos nas áreas

de gerenciamento da integração, escopo, tempo, custos, qualidade, recursos humanos, comunicações, riscos e aquisições.

Os gerentes de projeto frequentemente falam de uma restrição tripla – escopo, tempo e custo do projeto – no gerenciamento das necessidades conflitantes do projeto. O desempenho de um projeto depende fundamentalmente do balanceamento desses três fatores. Projetos entregam o produto, serviço ou resultado solicitado dentro do escopo, no prazo e dentro do orçamento (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004). Segundo Turner (2006), para se gerenciar um projeto de maneira eficaz, o gerente de projetos deve definir com precisão quais são seus objetivos, as maneiras de atingi-los, e como monitorar o progresso.

Também segundo (Turner, 2006) e o PMI (2004), para o sucesso de um projeto as seguintes funções de gerenciamento de projetos devem ser observadas e implementadas: gerenciamento do escopo; gerenciamento da organização do projeto; gerenciamento da qualidade; e gerenciamento de prazos.

No planejamento do projeto, todos os seus aspectos devem ser identificados e organizados, visando atingir os objetivos dentro dos custos e no prazo. O sucesso de um projeto depende do esforço, cuidados e habilidades aplicadas desde seu início (Larson, et al., 2009).

O primeiro passo para o desenvolvimento de um projeto de sucesso é entender seus requisitos e identificar todas as partes interessadas. O segundo passo, é identificar os recursos disponíveis (orçamento, datas de entrega, e habilidades existentes na organização) (Chesley, et al., 2008).

No entanto, mudanças no escopo são inevitáveis e podem destruir todo o projeto; desta forma, devem ser as menores possíveis e antes de serem implementadas devem ser acordadas e aprovadas pelo gerente do projeto e pelo cliente (KERZNER, 2009).

Porém, a aplicação dos conhecimentos, processos, ferramentas e técnicas convencionais de gestão de projetos não são suficientes para o gerenciamento

adequado de projetos de alta complexidade. Podemos definir projetos de alta complexidade como sendo aqueles que possuem um alto custo, foco intenso em engenharia e tecnologia da informação, e produtos feitos sob encomenda, aplicados a subsistemas e componentes. Outras características de projetos complexos são (Chesley, et al., 2008):

- Vários sistemas únicos;
- Coisas que nunca foram feitas antes;
- Várias interfaces sofisticadas e desafios de Engenharia de Sistemas;
- Uso intensivo de software;
- Necessidade de equipamentos e instalações de teste únicas;
- Não ter possibilidade de se efetuar ajustes, correções, reparos, ou melhorias depois de entregue;
- Ambientes de operação inóspitos;
- Requisitos de alto desempenho.

Assim sendo, o projeto de artefatos espaciais, além de adotar as recomendações de gestão de projetos do PMI, deve também adotar processos mais robustos, típicos do desenvolvimento de sistemas complexos.

### **3.1. HISTÓRICO DO GERENCIAMENTO DE PROJETOS**

Mesmo sem uma organização formal, projetos vêm sendo desenvolvidos desde os primórdios da humanidade. Porém, métodos formais para o gerenciamento de projetos, começaram a surgir com Frederick Winslow Taylor (1856 – 1915), chamado pai da administração científica, demonstrando que o trabalho pode ser analisado e aperfeiçoado. Em 1911, Taylor publicou o livro *“The Principles of Scientific Management”*.

Henry Gantt (1861 – 1919), parceiro de Taylor, estudou de forma detalhada a ordem das operações no trabalho. Seus estudos resultaram em uma ferramenta fundamental para o Gerenciamento de Projetos, os gráficos de Gantt, que representam as tarefas e os marcos sequencialmente, contendo inclusive a duração de cada tarefa.

A seguir, é apresentada de forma resumida uma cronologia dos acontecimentos e a evolução do gerenciamento de projetos, como conhecemos hoje.

### **3.1.1. 1945-1960**

Durante os anos 1940, os gerentes funcionais utilizavam o conceito de gerenciamento “por cima da cerca” para gerenciar seus projetos. Cada gerente funcional vestia o chapéu de gerente de projeto, realizava o trabalho necessário por sua organização funcional e, quando finalizava, “jogava a bola” por cima da cerca para o próximo gerente funcional. Uma vez que a bola houvesse sido jogada, os gerentes funcionais não eram mais responsáveis pelo projeto, porque a bola já não estaria mais no campo deles.

Após a Segunda Guerra Mundial, os Estados Unidos entraram na Guerra Fria. O Departamento de Defesa Americano precisava de técnicas robustas para gerenciar seus projetos, como o do bombardeiro B52, do míssil intercontinental Minuteman e do submarino Polaris. O Governo americano queria um ponto único de contato, nomeado como gerente do projeto o qual teria responsabilidade sobre todas as suas fases; a NASA aproveitou dessas diretivas e também fez uso dos gerentes de projeto em seu programa espacial (KERZNER, 2009).

Ao final dos anos 1950 e começo dos anos 1960, as indústrias aeroespaciais e de defesa estavam utilizando o gerenciamento de projetos em praticamente todos seus projetos, pois devido ao grande número de fornecedores, o governo precisava padronizar especialmente os processos de planejamento e de divulgação da informação. Foi então estabelecido um modelo de ciclo de vida

para o planejamento e controle, e um sistema de monitoramento dos custos. Criou-se um grupo de auditores de gerenciamento de projetos para certificar-se de que o dinheiro estava sendo gasto conforme planejado. A indústria privada acreditava que estas práticas aumentavam muito o custo do gerenciamento e não viu benefícios em aplicá-las naquele momento (KERZNER, 2009).

### **3.1.2. 1960-1985**

O crescimento do gerenciamento de projetos se deu muito mais por necessidade do que por vontade das empresas. Com exceção das indústrias aeroespaciais, de defesa e de construção civil, a maioria das empresas nos anos 1960 mantinham maneiras informais de gerenciar projetos. Muitos projetos eram gerenciados pelos gerentes funcionais, restritos a uma ou duas áreas, e a comunicação muitas vezes era informal devido ao bom relacionamento dos envolvidos (KERZNER, 2009).

A partir dos anos 1970 e começo dos anos 1980, mais empresas partiram para a formalização da gestão de seus projetos, devido ao crescimento e ao aumento da complexidade de suas atividades. Um dos fatores que contribuíram para o desenvolvimento do gerenciamento de projetos foi o reconhecimento que havia a necessidade do papel do gerente de projetos, que seria o ponto focal e concentraria a responsabilidade (KERZNER, 2009).

### **3.1.3. 1985-PRESENTE**

Ao final dos anos 1980 e nos anos 1990, as empresas perceberam que a implementação da gestão de projetos era uma necessidade e não uma escolha. Porém o reconhecimento que a organização poderia se beneficiar do gerenciamento de projetos é somente o ponto de partida. No começo da implementação do processo de gerenciamento de projetos, despesas são geradas para se desenvolver uma metodologia de gerenciamento de projetos, bem como para implementar sistemas de suporte para o planejamento, criação de cronogramas e controle, sendo que o tempo que levará para implementar as

mudanças e diminuir os custos pode ser reduzido através de treinamento e educação dos envolvidos (KERZNER, 2009).

Entre 1985 e 1990, as empresas reconheceram que deviam competir tanto em qualidade quanto em custo. Começaram então a utilizar princípios da gestão de projetos para implementar a Gestão Total da Qualidade (da sigla em inglês, TQM). Também nesta época, devido ao reconhecimento da importância de se cumprir cronogramas, os defensores da Engenharia Simultânea começaram a promover o Gerenciamento de Projetos para se obter melhores técnicas de implementação de cronogramas.

Entre 1991 e 1995, executivos perceberam que o gerenciamento de projetos funcionaria melhor se as tomadas de decisão fossem descentralizadas, porém ainda poderiam manter o controle sobre os projetos realizando o papel de financiadores. Nesta época as empresas reconheceram que apenas alguns de seus projetos eram realizados dentro dos objetivos originais, sem mudanças no escopo e, conseqüentemente, nos custos promovendo o surgimento de métodos e técnicas para melhor gerenciar mudanças, como o controle de configuração, realizando também um maior e melhor controle nos custos reais no desenvolvimento dos projetos.

No período compreendido entre 1996 e 2000, a gestão de riscos começa a ser incluída nos planos do projeto, e o reconhecimento da gestão de projetos como carreira profissional começa a demandar a criação de centros de excelência em gestão de projetos. As fusões e as aquisições que criaram mais empresas multinacionais trouxeram desafios adicionais para se gerenciar projetos globais.

A partir dos anos 2000 foi iniciada a era dos relatórios de *status* na Intranet, que agilizavam a troca de informações, o que era particularmente importante para as empresas multinacionais. Técnicas do Seis Sigma, bem como de Lean Manufacturing começaram a ser aplicadas no gerenciamento de projetos, principalmente na melhoria contínua de suas metodologias e processos.

### 3.2. Ciclo de Vida de Projetos

O ciclo de vida de um projeto define as fases que conectam seu início ao seu final. Enquanto algumas organizações estabelecem políticas que padronizam todos os projetos com um único ciclo de vida, outras permitem que a equipe de gerenciamento escolha um ciclo de vida mais adequado para seu próprio projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).

A transição de uma fase para a outra dentro do ciclo de vida de um projeto, em geral, envolve e normalmente é definida por alguma forma de transferência técnica ou entrega. As entregas de uma fase geralmente são revisadas para garantir que estejam completas exatas e aprovadas antes que o trabalho seja iniciado na próxima fase. No entanto, não é incomum que uma fase seja iniciada antes da aprovação das entregas da fase anterior, quando os riscos envolvidos são considerados aceitáveis. A figura 3.1 mostra o ciclo de vida de projetos definido no PMBOK (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004).

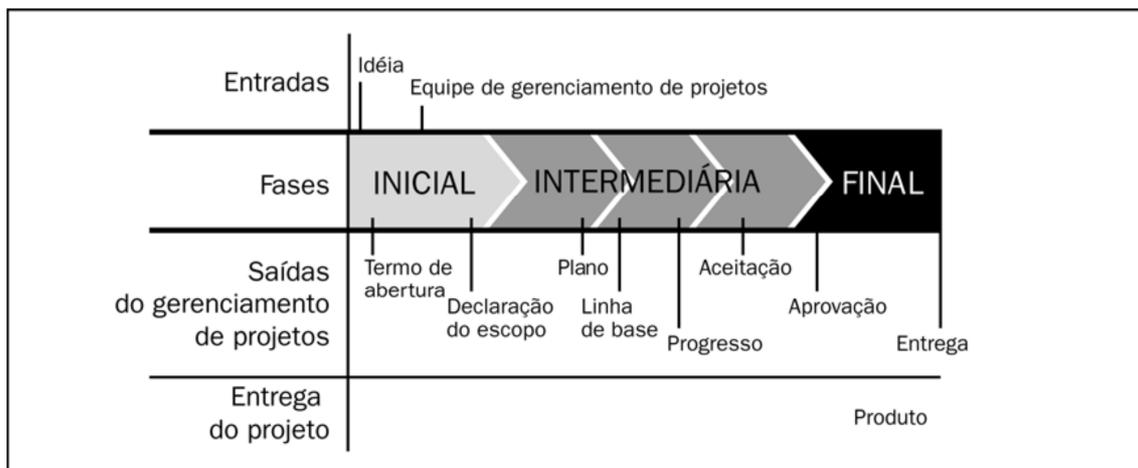


Figura 3. 1 - Ciclo de Vida do PMI

Fonte: PMBOK (2004)

O ciclo de vida de um projeto geralmente define (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004):

- O trabalho técnico que deve ser realizado em cada fase;

- Quando as entregas devem ser feitas e como serão revisadas;
- Os envolvidos em cada fase.

Essa abordagem da divisão do projeto em fases auxilia a identificar e gerenciar riscos durante o desenvolvimento; problemas vêm à tona cedo, permitindo que o gerente, a organização e outras partes interessadas cheguem a um consenso sobre as soluções a serem adotadas (CHESLEY, et al., 2008).

A capacidade das partes interessadas influenciarem as características finais do produto do projeto é mais alta no início do ciclo de vida, diminuindo ao longo do tempo, ao passo que o custo de mudanças cresce à medida que o projeto se desenvolve e se consolida, conforme mostrado na figura 2.2.

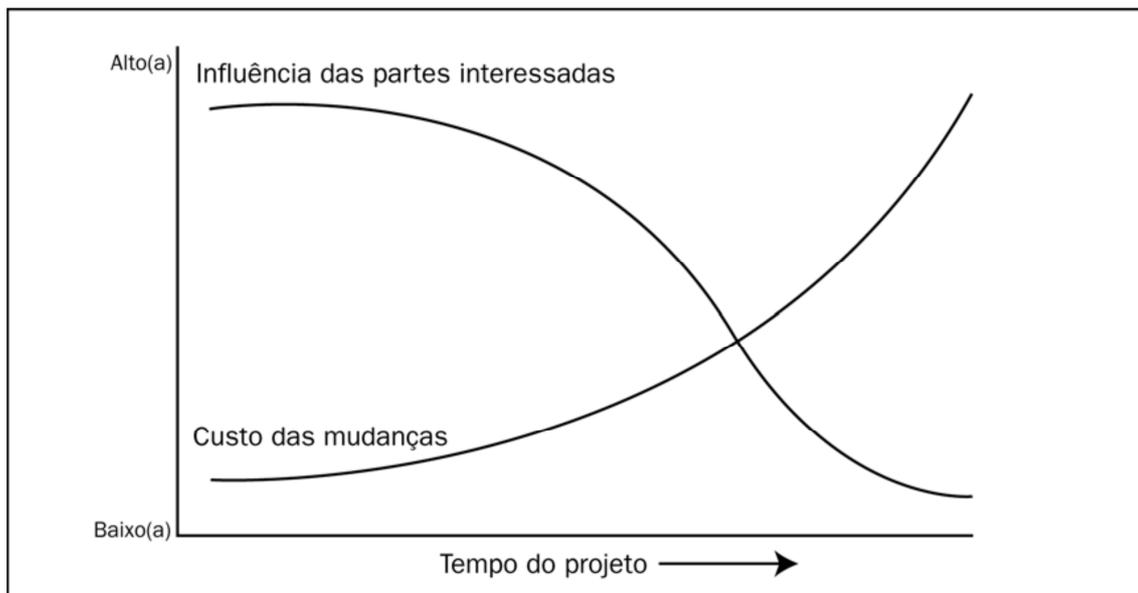


Figura 3. 2 - Influência das Partes Interessadas e Custo das Mudanças

Fonte: PMBOK (2004)

### 3.3. Gerenciamento de Projetos Espaciais

Segundo a NASA (NASA, 2007), um sistema pode ser definido como sendo “um conjunto de diferentes elementos que produzem resultados que não seriam obtidos por eles separadamente”.

O planejamento e a implementação de um projeto abrangem todos os processos executados para planejar e desenvolver um projeto espacial desde a identificação da necessidade até seu fechamento em todos os níveis da cadeia cliente-fornecedor, de maneira coordenada, eficiente e estruturada (ECSS, 2009).

O projeto de um sistema espacial tipicamente abrange os segmentos espacial, solo e lançador (figura 3.3), e seu desenvolvimento se inicia do reconhecimento de uma necessidade ou do surgimento de uma oportunidade, atravessando todos os estágios de desenvolvimento, operações, até seu descarte.

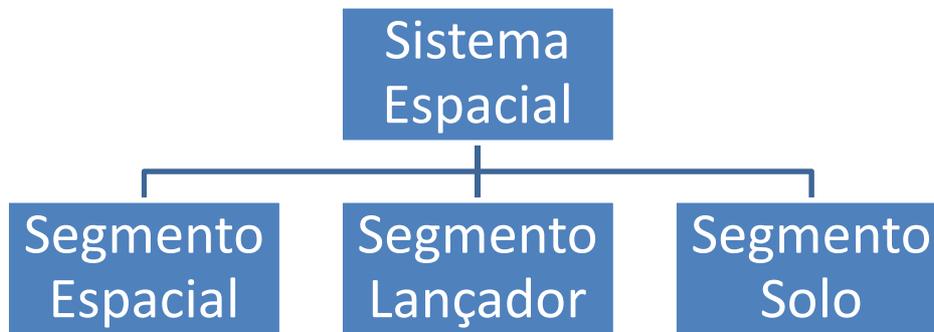


Figura 3. 3 - Hierarquia do Sistema Espacial

A organização ou os gerentes de projetos podem dividi-los em fases, para oferecer um melhor controle gerencial com ligações adequadas com as operações em andamento na organização executora. Coletivamente, essas fases são conhecidas como o ciclo de vida do projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2004). A NASA faz uso deste recurso, categorizando tudo o que deve ser feito para se atingir os objetivos do projeto.

É essencial que a estrutura organizacional do projeto seja feita de maneira a incluir todas as disciplinas essenciais para implementá-lo com funções bem definidas, bem como seus processos de comunicação, e o relacionamento e a interface entre elas. A estrutura organizacional deve prover uma clara definição dos papéis e responsabilidades de todas as áreas envolvidas no projeto (ECSS, 2009). Casos como o da perda do Mars Climate Orbiter, devido a um processo inadequado de verificação e validação do *software* de solo, citado por

(SAUSER, et al., 2009), nos mostram a importância de termos um projeto bem estruturado e com um processo de gerenciamento robusto.

A abordagem e metodologia de gerenciamento de projetos a serem utilizadas durante todo o ciclo de vida do projeto são definidas no Plano de Gerenciamento do Projeto, que contém uma visão geral de todas as disciplinas envolvidas; nele são incluídas as definições de Engenharia de Sistemas e as abordagens utilizadas para a garantia do produto (ECSS, 2009), devendo ser identificados os produtos finais, as infraestruturas gerenciais e técnicas necessárias para o desenvolvimento. Neste plano devem conter também as decisões de se comprar ou desenvolver algum item, bem como o plano de maturidade tecnológica.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas também aborda o Gerenciamento de Projetos Espaciais nas normas 14857-1 e 14857-2, porém de forma um pouco resumida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2002).

Para o prosseguimento deste trabalho, foram adotadas as definições a seguir.

### **Abordagem de Verificação**

Verificação é, segundo a ECSS, demonstrar através de um processo dedicado, que o produto entregue atende aos requisitos especificados (ECSS, 2009).

A NASA diz que é o processo de provar ou demonstrar que o produto atende aos requisitos de projeto (NASA, 2007).

A verificação pode ser feita através de testes, análises, demonstrações ou inspeções.

### **Árvore Funcional**

É a decomposição do desempenho do sistema em funções. Cada função é decomposta em subfunções independentemente dos tipos de produtos envolvidos (ECSS, 2009).

### **Árvore do Produto**

É a decomposição do projeto em níveis sucessivos de produtos de hardware e software, organizados de maneira a executar as funções identificadas na árvore do produto. Porém, a árvore funcional e a árvore do produto não necessariamente são um espelho uma da outra (ECSS, 2009).

Segundo a NASA, é a decomposição hierárquica de hardware e software nos produtos do projeto (NASA, 2007).

### **Engenharia de Sistemas**

Segundo a ECSS, é a “abordagem interdisciplinar que rege todo o trabalho técnico para transformar requisitos em uma solução de sistema” (ECSS, 2009).

A NASA define como sendo “uma abordagem metódica e disciplinada para o projeto, concepção, gerenciamento técnico, operações e descarte de um sistema” (NASA, 2007).

### **Estrutura Analítica do Projeto (EAP)**

Segundo a ECSS, a EAP é a principal estrutura utilizada para gerenciar um projeto. Ela divide o projeto em pacotes de trabalho, organizados de acordo com a natureza do trabalho, decompondo o escopo total em níveis maiores de detalhes, e pode ser derivada da árvore do produto (ECSS, 2009).

Já a NASA define a EAP como sendo uma divisão hierárquica orientada ao produto, de hardware e software, necessários para a realização do produto final, estruturada de acordo com a maneira que o trabalho será executado (NASA, 2007).

A seguir temos o exemplo de uma EAP (Figura 3.4) para a área espacial:

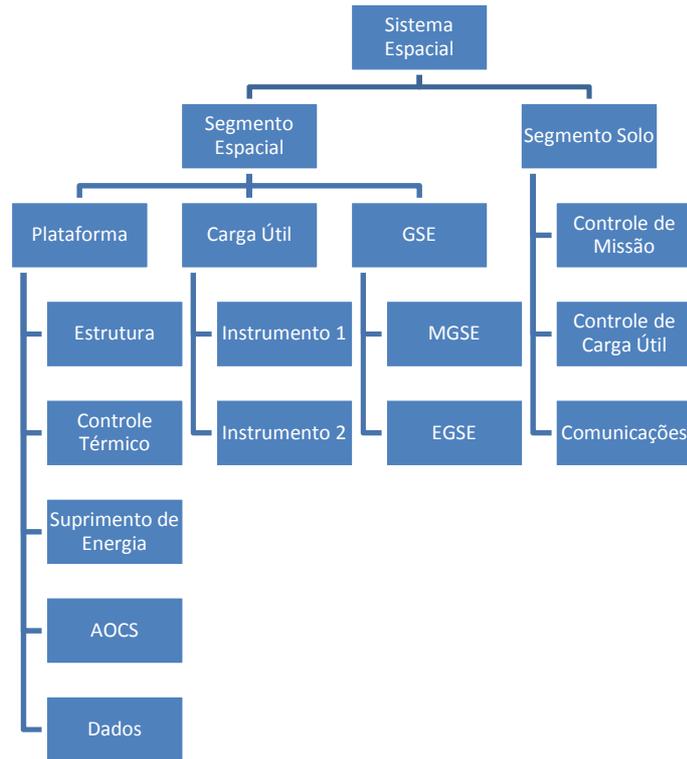


Figura 3. 4 - Exemplo de EAP para sistema espacial

### Garantia do Produto

Garantir que os produtos espaciais atinjam seus objetivos de missão de maneira segura, útil e confiável (ECSS, 2008).

### **3.3.1. Ciclo de Vida da ECSS**

A abordagem a ser utilizada para o desenvolvimento de um determinado projeto é definida em conjunto pelo fornecedor e pelo cliente, tendo este a responsabilidade em definir quais são as entregas para que os objetivos da missão sejam atingidos (ECSS, 2008).

Assim como recomendado pelo PMI, a ECSS também defende que para ter um maior controle gerencial do projeto, estes devem ser divididos em fases, tendo cada uma delas seus objetivos e entregas muito bem definidos. O ciclo de vida proposto pela ECSS (figura 3.5) para projetos espaciais é tipicamente dividido da seguinte maneira:

- Fase 0 – Análise de Missão / Identificação de uma necessidade;
- Fase A – Viabilidade do Projeto;
- Fase B – Definição Preliminar;
- Fase C – Definição Detalhada;
- Fase D – Qualificação e Produção;
- Fase E – Operações;
- Fase F – Descarte.

Ao término de uma fase, são conduzidas reuniões de avaliação das atividades desenvolvidas, onde seus produtos são entregues e, quando se conclui que a entrega foi satisfatória, então é autorizado o início da fase seguinte. Porém, dependendo das circunstâncias e da aceitação de alguns riscos envolvidos, algumas atividades podem ser conduzidas durante mais de uma fase, e também uma nova fase pode ser iniciada sem que se tenha feito a aceitação de algum item, necessitando para tanto que os riscos sejam muito bem conhecidos, avaliados e aceitos pela equipe de gerenciamento de projetos.

Com exceção da MDR, que normalmente envolve apenas o iniciador (quem identifica a necessidade/oportunidade) do projeto e o cliente de mais alto nível (geralmente o financiador), todas as outras revisões de projetos até a AR, são tipicamente conduzidas com todos os atores diretamente envolvidos no projeto (ECSS, 2008).

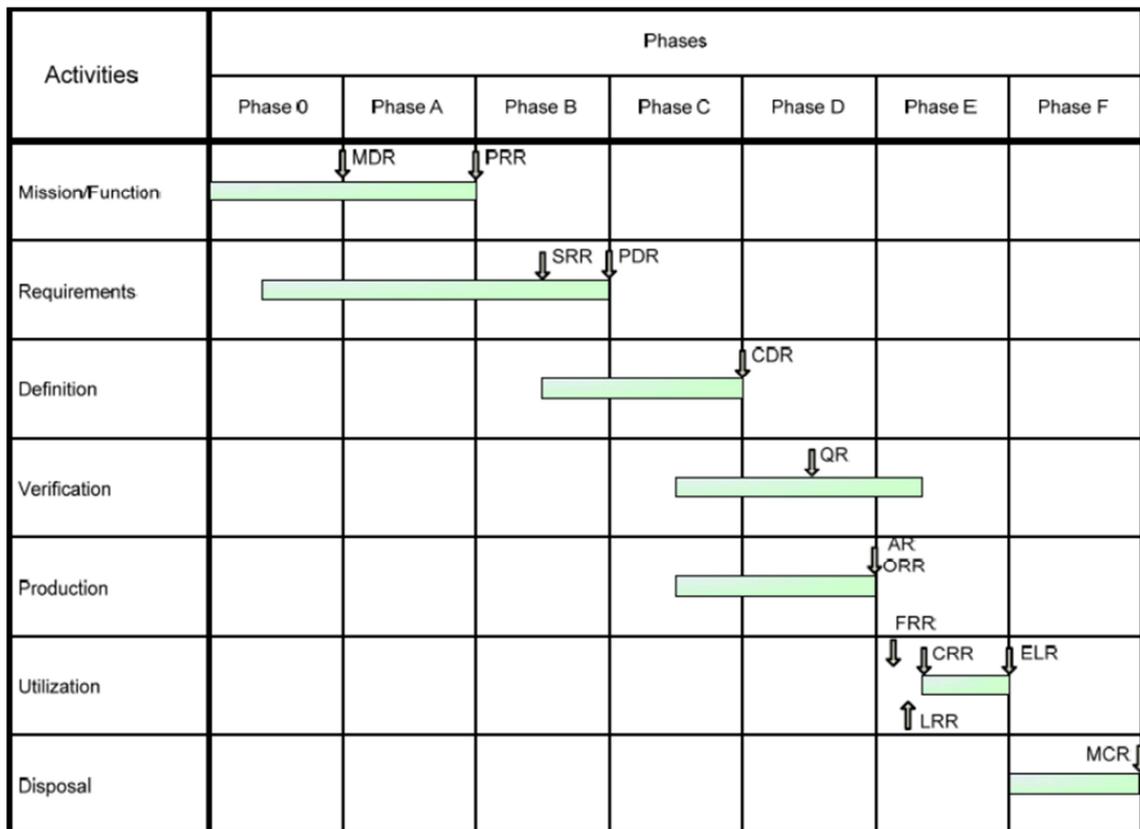


Figura 3. 5 - Ciclo de Vida da ECSS

Fonte: ECSS-M-ST-10C (2009)

### **3.3.1.1. FASE 0 – Análise de Missão / Identificação de necessidades**

Nesta fase, o iniciador do projeto, o cliente de alto-nível e os representantes dos usuários finais trabalham para identificar as principais necessidades para propor uma missão. Os principais requisitos devem ser identificados, bem como as restrições. Ao final desta fase é realizada a Revisão de Definição da Missão (MDR), e a saída desta revisão é utilizada para avaliar se o projeto está pronto para avançar para a Fase A.

#### **Principais tarefas**

- Elaborar a descrição da missão em termos de identificação e caracterização das suas necessidades, desempenho esperado, metas de segurança e dependabilidade, restrições operacionais no que diz respeito ao ambiente físico e operacional;
- Desenvolver as especificações preliminares dos requisitos técnicos;
- Identificar os possíveis conceitos de missão;
- Executar a avaliação preliminar de riscos.

#### **Principais objetivos da MDR**

O objetivo principal desta revisão é entender os objetivos da missão e realizar uma avaliação técnica preliminar dos requisitos e dos aspectos programáticos.

### **3.3.1.2. FASE A – Viabilidade do Projeto**

Nesta fase, após ter sido reconhecida a necessidade de se propor uma missão, os estudos de viabilidade se intensificam: sua saída é um relatório ao iniciador do projeto, e os representantes dos usuários finais para avaliação. Ao final desta fase é realizada a revisão de requisitos preliminares (PRR), para avaliar se o projeto está pronto para prosseguir para a Fase B.

## **Principais atividades**

- Estabelecer os planos preliminares de gerenciamento, engenharia de sistemas e garantia do produto;
- Elaborar os possíveis conceitos de operação dos sistemas em estudo, e compará-los com as necessidades identificadas de modo a determinar os níveis de incerteza, bem como os riscos;
- Elaborar a árvore funcional;
- Avaliar a viabilidade técnica e programática dos possíveis conceitos, identificando as restrições relacionadas à implementação, custos, cronograma, organização, operações, manutenção, produção e descarte;
- Identificar tecnologias críticas e propor atividades de pré-desenvolvimento do projeto;
- Quantificar e caracterizar os elementos críticos para verificação da viabilidade técnica e econômica;
- Propor juntamente com os conceitos de operações de sistemas, as filosofias de modelos e a abordagem de verificação, para serem posteriormente melhor elaboradas na Fase B;
- Realizar uma análise de riscos.

## **Principais objetivos da PRR**

- Publicar os planos preliminares de gerenciamento, engenharia e garantia do produto;
- Publicar as especificações dos requisitos técnicos;
- Confirmar a viabilidade técnica e programática dos conceitos de sistema;

- Seleção de conceitos de operação e de soluções técnicas, bem como da filosofia de modelos e da abordagem de verificação, que será realizada na Fase B.

### **3.3.1.3. FASE B – Definição Preliminar**

A esta fase estão associadas duas revisões de projeto: revisão de requisitos de sistema (SRR), realizada durante a Fase B, e a revisão de projeto preliminar (PDR), realizada ao seu final, cuja saída é utilizada para se julgar o apronto para prosseguir para a Fase C.

#### **Principais tarefas**

- Finalizar os planos de gerenciamento, engenharia e garantia do produto;
- Estabelecer uma linha de base para o cronograma-mestre;
- Fazer uma estimativa de custos para a realização do projeto;
- Elaborar uma estrutura organizacional preliminar;
- Confirmar a viabilidade técnica e do conceito de operações da solução, inclusive em relação às restrições programáticas;
- Conduzir os estudos de otimização e selecionar uma melhor solução de sistema;
- Estabelecer um projeto preliminar do sistema escolhido;
- Determinar um programa de verificação, incluindo a filosofia de modelos;
- Identificar e definir as interfaces externas;
- Preparar as especificações para o nível seguinte, bem como sua documentação contratual;

- Iniciar os trabalhos de pré-desenvolvimento de tecnologias críticas, quando necessárias, a fim de se reduzir riscos;
- Iniciar os processos de cotação e compras para que não haja atrasos no cronograma;
- Preparar o plano de descarte, bem como da redução dos debrís;
- Realizar uma avaliação de confiabilidade e segurança;
- Finalizar a árvore do produto, a estrutura da divisão do trabalho e a árvore de especificações;
- Atualizar a análise de riscos.

### **Principais objetivos da SRR**

- Publicar a versão atualizada das especificações dos requisitos técnicos;
- Avaliar a definição preliminar do projeto;
- Avaliar o programa de verificação preliminar.

### **Principais objetivos da PDR**

- Verificar se o projeto preliminar da solução técnica escolhida atenderá aos requisitos de sistema;
- Publicar a versão final dos planos de gerenciamento, engenharia e garantia do produto;
- Publicar a árvore do produto, a estrutura da divisão do trabalho e a árvore de especificações;
- Publicar o plano de verificação, incluindo a filosofia de modelos adotada.

#### **3.3.1.4. FASE C – Definição Detalhada**

O escopo e o tipo de tarefas realizadas durante esta fase são guiadas com base na filosofia de modelos adotada, bem como a abordagem de verificação. A revisão crítica de projeto (CDR) é realizada ao final desta fase, cujo resultado é informar se o projeto está ou não pronto para seguir para a fase D.

##### **Principais tarefas**

- Conclusão da definição do projeto detalhado do sistema em todos os níveis da cadeia cliente-fornecedor;
- Produção, testes de desenvolvimento e pré-qualificação de elementos e componentes críticos selecionados;
- Produção e testes de desenvolvimento dos modelos de engenharia, de acordo com a filosofia de modelos e com a abordagem de verificação;
- Finalização do plano de montagem, integração e testes do sistema e de seus elementos constituintes;
- Definição detalhada das interfaces internas e externas;
- Emissão do manual do usuário preliminar;
- Atualizar a análise de riscos.

##### **Principais objetivos da CDR**

- Avaliar a condição de qualificação e validação de processos críticos, e se estes estarão prontos para serem implementados na fase D;
- Confirmar a compatibilidade com as interfaces externas;
- Publicar o projeto final;
- Publicar o plano de montagem, integração e testes;

- Autorizar a fabricação, montagem e testes do hardware/software de voo;
- Publicar o manual do usuário.

### **3.3.1.5. FASE D – Qualificação e Produção**

Existem três revisões de projeto que são conduzidas na fase D: a de qualificação (QR), conduzida durante a fase; a de aceitação (AR), realizada ao final da fase; e a revisão de pronto para a operação (ORR), também realizada ao seu final.

#### **Principais tarefas**

- Finalizar os testes de qualificação e as atividades de verificação a eles associadas;
- Terminar a fabricação, montagem e testes do hardware/software de voo, bem como dos equipamentos de suporte em solo;
- Concluir os testes de interoperabilidade entre o segmento espacial e o segmento solo;
- Preparar a documentação de aceitação.

#### **Principais objetivos da QR**

- Confirmar, através do processo de verificação, que o projeto mostrou capacidade de atender aos requisitos, com margens;
- Avaliar se os registros de verificação estão completos, em todos os níveis da cadeia cliente-fornecedor;
- Verificar a aceitabilidade dos waivers;
- Quando necessária a produção de mais de um item de mesma configuração, o primeiro a ser produzido deve ser verificado, a fim de garantir sua reprodutibilidade;

- Aprovar e publicar os planos de produção de itens em série, quando aplicável.

### **Principais objetivos da AR**

- Confirmar, através do processo de verificação, que o produto está livre de erros de fabricação e pronto para uso;
- Examinar os registros de verificação dos testes de aceitação para que estejam completos, para todos os níveis da cadeia cliente-fornecedor;
- Verificar se todos os produtos que deveriam ser entregues encontram-se disponíveis;
- Verificar através da documentação de fabricação, que o produto entregue esteja de acordo com o que foi projetado;
- Verificar a aceitabilidade dos *waivers*;
- Certificar-se de que os documentos de aceitação encontram-se completos;
- Autorizar a entrega dos produtos;
- Publicar o certificado de aceitação.

### **Principais objetivos da ORR**

- Verificar o pronto dos procedimentos operacionais e sua compatibilidade com o sistema de voo, bem como das equipes de operações;
- Aceitar e iniciar as operações do segmento solo.

#### **3.3.1.6. FASE E – Operações**

Nesta fase, uma grande variedade de atividades podem ser desempenhadas, dependendo do tipo de projeto implementado, e estão associadas às seguintes

revisões: de pronto para voo (FRR); de pronto para lançamento (LRR), feita nos momentos que o antecedem; revisão de resultado de comissionamento (CRR), realizada após essas atividades em órbita; e a revisão de fim de vida (ELR), realizada após completada a missão.

### **Principais tarefas**

- Executar todas as atividades de preparação dos segmentos espacial e solo para o lançamento;
- Conduzir as operações de lançamento, bem como todas as atividades de início de operação em órbita;
- Executar todas as atividades de verificação de funcionamento em órbita;
- Realizar as operações em órbita necessárias para que os objetivos da missão sejam atingidos;
- Executar todas as atividades de suporte em solo;
- Finalizar o Plano de Descarte.

### **Principais objetivos da FRR**

A revisão de pronto para o voo (FRR) é realizada com objetivo de verificar que os segmentos lançador e solo, incluindo todos os sistemas de suporte, como rastreamento, comunicação e segurança, estão prontos para as operações de lançamento.

### **Principais objetivos da LRR**

A LRR é realizada momentos antes do lançamento com o objetivo de declarar que o lançador, os segmentos espacial e solo, bem como os sistemas de suporte (rastreamento, comunicações e segurança) estão prontos para o lançamento e então providenciar a autorização para seu prosseguimento.

### **Principais objetivos da CRR**

A revisão de resultados de comissionamento é realizada ao final deste período como parte do estágio de verificação em órbita e permite declarar que o sistema está pronto para as rotinas de operação/utilização. Esta revisão é conduzida seguindo um conjunto de testes em órbita, planejados para verificar que todos os elementos do sistema estão operando dentro dos limites especificados, sendo seu sucesso tipicamente utilizado para se formalizar a entrega do projeto, do iniciador para o operador do sistema.

### **Principais objetivos da ELR**

- Verificar que a missão atingiu toda sua capacidade operacional;
- Garantir que os elementos em órbita estão configurados para serem descartados em segurança.

#### **3.3.1.7. FASE F – Descarte**

O principal objetivo desta fase é implementar o Plano de Descarte e está associada à revisão de fechamento da missão (MCR), visando garantir que todas as operações relativas ao descarte foram realizadas adequadamente.

#### **3.3.1.8. Revisões específicas de cada projeto**

Adicionalmente às revisões citadas anteriormente, dependendo do tipo de projeto e da abordagem de implementação adotada, revisões podem ser inseridas no seu planejamento, juntamente com novos marcos, para que as necessidades específicas sejam atingidas.

### 3.3.2. Ciclo de Vida da NASA

Um dos conceitos fundamentais utilizados pela NASA para o gerenciamento de seus projetos é o ciclo de vida do projeto/programa, que consiste na categorização de tudo que deve ser feito para se atingir com sucesso a missão, distribuído em fases, separadas por Pontos-chave de decisão (KDPs), que são eventos nos quais a autoridade decisória determina a prontidão para um projeto/programa seguir para a fase seguinte do ciclo de vida. A um programa ou projeto que falha ao passar por algum dos pontos de decisão, deve ser permitido que o mesmo seja reprojetoado, ou então, terminado (NASA, 2007).

Programa pode ser definido, segundo a NASA, como sendo um investimento estratégico feito por uma diretoria de missão, que define metas, objetivos, arquitetura, nível de financiamento e estrutura de gestão que dão suporte a um ou mais projetos.

Também segundo a mesma fonte, projeto é definido como sendo um investimento específico, o qual possui metas, objetivos, requisitos, custo de ciclo de vida, início e fim bem definidos. Um projeto realiza produtos ou serviços que atendem os planos estratégicos da NASA.

Todos os sistemas nascem da identificação de uma necessidade ou da descoberta de uma oportunidade, e prossegue através de vários estágios de desenvolvimento até seu descarte final. Decompor o projeto/programa em fases do ciclo de vida organiza o processo inteiro em partes mais fáceis de serem gerenciadas. O projeto/programa deve fornecer aos gerentes uma visibilidade clara do progresso que está sendo realizado. As fases do projeto (figura 3.6), segundo a norma NPR 7120.5 da NASA, são definidas da seguinte forma (NASA, 2007):

- Pré-fase A: Estudos de conceitos (identificação de alternativas viáveis);
- Fase A: Desenvolvimento do conceito e da tecnologia (definição do projeto e início de desenvolvimento de tecnologias, caso necessário);

- Fase B: Projeto Preliminar (estabelecimento de um projeto preliminar e desenvolvimento de tecnologia necessária);
- Fase C: Projeto Final e Fabricação (finalização do projeto e construção/codificação dos componentes do sistema);
- Fase D: Montagem, Integração e Testes do sistema, bem como seu lançamento (integração de componentes, verificação do sistema, preparação das operações, e lançamento);
- Fase E: Operações e Manutenção do sistema ativo;
- Fase F: Fechamento (descarte dos sistemas e análise de dados).

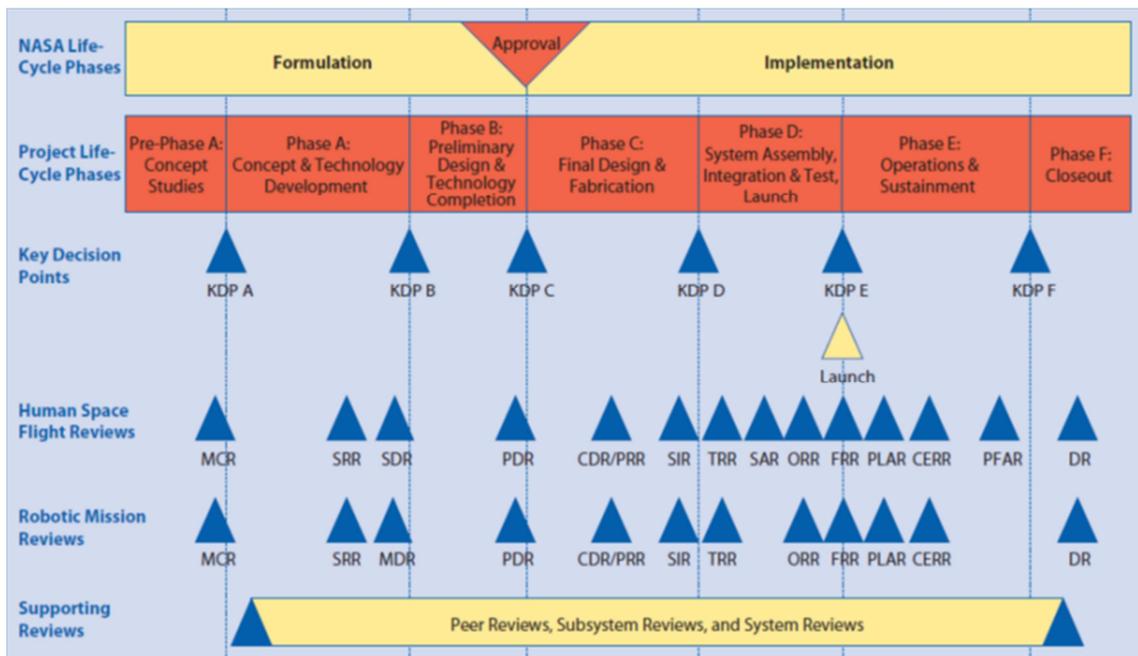


Figura 3. 6 - Ciclo de Vida de Projetos da NASA

Fonte: NASA/SP-2007-6105 (2007)

### **3.3.2.1. PRÉ-FASE A – Estudos de Conceitos**

O propósito desta fase é identificar alternativas viáveis de soluções que podem ser utilizadas. Tipicamente, esta atividade consiste em estar aberto a examinar novas ideias, ainda sem um controle centralizado e orientado a pequenos estudos. O maior produto desta fase é uma lista de sugestão de projetos, baseado na identificação de necessidades ou da descoberta de novas oportunidades. Nesta fase, projetos conceituais geralmente são apresentados, a fim de demonstrar a viabilidade do projeto. Aqui é enfatizada a viabilidade e a consonância com os objetivos da Agência mais do que se projetar um sistema otimizado. A esta fase está associada a revisão de Conceitos de Missão (MCR).

#### **Principais tarefas**

- Identificar missões e arquiteturas, em conformidade com os planos da agência;
- Identificar e envolver usuários e outras partes interessadas;
- Identificar e executar análises e os estudos de tradeoff;
- Identificar requisitos;
- Definir medidas de efetividade e de desempenho;
- Executar avaliações de possíveis missões;
- Preparar propostas de projetos/programas, que podem incluir:
  - Justificativa e objetivos da missão;
  - Um Conceito de Operações preliminar;
  - Uma EAP de alto-nível;
  - Estimativas de custos, cronograma e riscos;

- Avaliação de tecnologias e estratégias de maturação.
- Preparar o relatório preliminar do conceito da missão.

### **Principais objetivos da MCR**

- Garantir que os objetivos sejam claramente definidos e escritos de forma não ambígua, e que estejam alinhados com os objetivos da agência;
- Analisar as alternativas de conceitos e mostrar que ao menos um é viável;
- Mostrar que uma solução técnica viável foi encontrada e realizar uma estimativa de custos da missão proposta, dentro da faixa de orçamentos;
- Avaliar preliminarmente os riscos, incluindo os de desenvolvimento tecnológico, seu gerenciamento e opções de estratégias de mitigação;
- Elaborar uma estratégia de testes e avaliações preliminares;
- Demonstrar, através de estudos, que existem soluções técnicas para satisfazer os objetivos da missão, ou pelo menos partes deles, a fim de prover meios para seguir para a próxima fase;
- Definir Medidas de Efetividade (MOEs) e Medidas de Desempenho (MOPs);
- Apresentar um ciclo de vida preliminar, envolvendo logística, fabricação, operações, etc.

Uma MCR de sucesso dá suporte à decisão de que a missão proposta atenda aos requisitos do cliente e possua qualidades suficientes para serem autorizados seus estudos, para ser uma candidata a prosseguir para a Fase A.

### **3.3.2.2. FASE A – Desenvolvimento de Conceitos e Tecnologias**

Durante esta fase, atividades para o desenvolvimento de uma linha-base do conceito de missão são executadas, e iniciam-se os trabalhos para o desenvolvimento de novas tecnologias (se necessário). Nesta etapa, os requisitos de missão são cuidadosamente analisados, e uma arquitetura é estabelecida. Nesta fase, as atividades tornam-se formais, a otimização toma o lugar da viabilidade; os estudos são aprofundados, metas e objetivos são solidificados, e maiores definições de requisitos de projeto, arquitetura de sistema e Conceitos de Operações (ConOps) são obtidos. Projetos conceituais são desenvolvidos e exibem maiores detalhes técnicos do que os mostrados nos estudos avançados, sendo os riscos técnicos identificados em maiores detalhes.

Na fase A, esforços são empenhados para alocar funções específicas para itens de hardware, software, pessoal, etc. Estudos iterativos de *tradeoff* entre arquiteturas são executados procurando-se a melhor alternativa. Os principais produtos são definidos, e são gerados os planos de engenharia e gerenciamento para se atingir os objetivos. A principal revisão associada a esta fase é a Revisão de Requisitos de Sistema (SRR).

#### **Principais tarefas**

- Preparar e iniciar o plano do projeto;
- Identificar os requisitos e as restrições de alto-nível;
- Definir e documentar os requisitos de sistema (hardware e software);
- Alocar os requisitos preliminares de sistema para o próximo nível;
- Definir e documentar os requisitos de interfaces internas e externas;
- Identificar os requisitos de suporte logístico;
- Desenvolver critérios e métricas de avaliação;

- Publicar o ConOps;
- Relatar a linha-base da missão;
- Demonstrar que existem projetos viáveis;
- Realizar e documentar os *trade studies*;
- Desenvolver uma arquitetura de missão;
- Avaliar a possível ocorrência de detritos;
- Estimar a utilização de recursos técnicos;
- Prever os custos ao longo do ciclo de vida;
- Definir a EAP;
- Desenvolver as declarações do trabalho a ser realizado (SOW - Statement of Work);
- Adquirir as ferramentas e modelos de engenharia de sistemas;
- Elaborar o Plano de Gerenciamento de Engenharia de Sistemas (SEMP – Systems Engineering Management Plan);
- Preparar um plano preliminar de gerenciamento de riscos;
- Preparar o plano de gerenciamento das comunicações;
- Desenvolver os planos específicos (controle de contaminação, interferência e compatibilidade eletromagnética, confiabilidade, controle de qualidade, gerenciamento de aquisições, etc);
- Preparar um plano de desenvolvimento de tecnologias e iniciar seu desenvolvimento;
- Elaborar o plano de segurança (proteção a pessoas, instalações) e de garantia da missão;

- Definir as abordagens de verificação e validação e documentá-las no Plano de Verificação e Validação.

### **Principais objetivos da SRR**

- Utilização de um processo robusto para a alocação e controle de requisitos em todos os níveis, dentro das restrições de cronograma;
- Definição final de requisitos, de alto-nível, da missão, bem como as interfaces externas e entre os principais elementos internos;
- Alocação de requisitos provenientes do sistema para os subsistemas;
- Abordagem preliminar de verificação e validação de requisitos de subsistemas;
- Identificação e avaliação dos principais riscos técnicos, bem como definição de estratégias de mitigação.

Ao final da SRR, os requisitos de projeto são congelados e levados à decisão final da autoridade decisória, que irá então preparar as requisições de propostas (RFP – Requests for Proposals) para a implementação do projeto.

### **3.3.2.3. FASE B – Projeto Preliminar e Finalização do Desenvolvimento de Tecnologias**

Durante a Fase B, uma linha-base do projeto é estabelecida, incluindo-se a alocação formal dos requisitos de desempenho do projeto para um conjunto completo de especificações de sistemas e subsistemas, tanto para a parte de bordo, como da parte de solo, inclusive com seus respectivos projetos preliminares. Os requisitos técnicos devem ser suficientemente detalhados, para que tenham estimativas de custos e cronograma mais realistas. Como citado anteriormente, os requisitos devem ser definidos na Fase A, porém como o processo de refinamento da alternativa é iterativo, algumas mudanças no fim da Fase A e começo da Fase B, são inevitáveis. No entanto, a partir de

meados da Fase B, os requisitos de alto-nível devem ser finalizados e colocados no controle de configuração.

A Fase B serve principalmente para que se tenha uma linha-base envolvendo todos os aspectos do projeto (técnicos a gerenciais), como por exemplo, especificações e requisitos de sistemas e subsistemas, projetos, planos de verificação e operação, cronograma, estimativas de custos. Nesta fase, os esforços são na direção de se estabelecer um projeto funcional que atenda às metas e objetivos da missão; os *trade studies* continuam e as interfaces entre os itens principais são definidas; uma série de Revisões de Projeto Preliminar (PDRs) são realizadas, tanto para o nível de sistema, como subsistemas e itens que os compõem. As PDRs demonstram que os requisitos foram convertidos em soluções e apenas apresentam pequenas mudanças devido ao refinamento, não sendo mais permitidas grandes mudanças.

### **Principais tarefas**

- Rever e atualizar os planos desenvolvidos na Fase A;
- Desenvolver um plano para a exploração científica da missão, baseado no ConOps atualizado;
- Atualizar os planos de engenharia, maturação tecnológica, de gerenciamento de riscos;
- Atualizar as informações de cronograma e custos;
- Finalizar e aprovar os requisitos de sistema, que serão derivados para os subsistemas, componentes, etc.;
- Concluir as especificações de hardware e software, seus desenhos, bem como os planos de verificação e validação, e os documentos de interfaces para os subsistemas;
- Executar e arquivar os resultados dos *trade studies*;

- Analisar o desempenho da arquitetura proposta e gerar relatórios com os resultados;
- Conduzir testes de desenvolvimento e produzir os relatórios com os resultados;
- Definir uma arquitetura final;
- Gerar os documentos de controle de interfaces (ICD – Interface Control Document).

### **Principais objetivos da PDR**

- Definir com precisão os requisitos de alto-nível, bem como as restrições impostas pelo financiador e os critérios de sucesso da missão;
- Obter requisitos verificáveis e rastreáveis quando aplicados nos níveis de subsistema e níveis subsequentes;
- Elaborar um projeto preliminar, desenvolvido com níveis aceitáveis de riscos;
- Definir interfaces, já com base no desenvolvimento de tecnologias, caso necessário;
- Finalizar o desenvolvimento de qualquer nova tecnologia, ou previsão de estar pronta quando necessária, ou até mesmo definições de soluções alternativas;
- Avaliar bem os riscos do projeto, bem como obter planos de gerenciamento dos mesmos;
- Definir um conceito de operações, inclusive com os fatores humanos, quando aplicável.

Em uma PDR de sucesso, o projeto preliminar é finalizado, autorizando-se prosseguir para a fase de projeto definitivo e sua implementação.

#### **3.3.2.4. FASE C – Projeto Definitivo e Fabricação**

Durante a Fase C, os esforços estão concentrados em se estabelecer um projeto definitivo, produzir os elementos de hardware, codificar o software, e prepará-los para a integração. Testes são executados, a fim de se garantir que as unidades funcionarão nos ambientes para as quais foram projetadas; procedimentos, processos e controles de produção são definidos e validados. O gerenciamento de configurações continua rastreando e controlando todas as mudanças no projeto, à medida que detalhes das interfaces são definidos. Cada passo no processo de refinamento do projeto, atividades de integração e verificação são definidas mais detalhadamente.

Nesta fase, parâmetros técnicos, orçamentos e cronogramas são acompanhados de perto para se garantir que eventos indesejados (como por exemplo, um aumento de massa da espaçonave) sejam conhecidos o mais rapidamente possível, para que ações corretivas sejam tomadas.

A fase C é composta por uma série de Revisões Críticas de Projeto (CDRs) ao nível de sistema, nos níveis da hierarquia de subsistemas e equipamentos. A CDR de cada item que compõe o sistema deve ser realizada antes da fabricação de seu hardware e codificação de seu software (quando aplicável). A sequência de CDRs se dá seguindo-se o processo de integração, ou seja, desde o nível mais baixo da hierarquia até ao nível do sistema. Se existirem produtos a serem fabricados, uma Revisão de Pronto para Produção (PRR) será realizada, para se garantir que os planos de fabricação, instalações e pessoal estejam prontos para o início da fabricação. Esta fase termina com a realização de uma Revisão de Integração de Sistema (SIR), que aborda todos os aspectos necessários para a integração completa do produto final.

## Principais tarefas

- Atualizar toda a documentação produzida na Fase B;
- Complementar a documentação para se refletir a maior maturidade atingida no projeto, incluindo, arquitetura de sistema, EAP, e planos de projeto;
- Atualizar os planos de produção;
- Adicionar especificações de itens de níveis mais baixos da hierarquia à arquitetura do sistema;
- Finalizar os planos e procedimentos de montagem e integração;
- Confrontar o progresso do projeto com os planos;
- Criar procedimentos de verificação e validação;
- Desenvolver os projetos finais de hardware e software;
- Elaborar o Plano de integração e operação do sistema;
- Planejar a política de itens reserva;
- Desenvolver o Plano de Telecomando e Telemetria;
- Preparar os planos de preparação do campo de lançamento, bem como os de ativação e operação;
- Preparar o plano de descarte, incluindo a realocação de recursos humanos, que será utilizado na Fase F;
- Elaborar o plano de segurança;
- Desenvolver um *handbook* de operações;
- Arquivar todos os *trade studies*;

- Fabricar (ou codificar) os produtos;
- Realizar os testes dos componentes e subsistemas;
- Fazer uma avaliação sobre os detritos.

### **Principais objetivos da CDR**

O propósito da CDR é demonstrar a maturidade do projeto, e que ele é adequado para atender aos requisitos da missão, tanto do segmento espacial, quanto do segmento solo, tudo isto dentro das restrições do prazo e orçamento. Cerca de 90% dos desenhos de engenharia são aprovados e publicados nesta fase, e então é autorizada a fabricação/codificação dos itens constituintes do sistema. Pode-se destacar como critérios de sucesso de uma CDR:

- O projeto detalhado atende aos requisitos, com margens adequadas, a um nível de risco aceitável;
- Os documentos de controles de interfaces são maduros o suficiente para se proceder para a fabricação, montagem, integração e testes;
- Os planos de verificação e validação estão completos;
- A abordagem de testes é executável e as operações no campo de lançamento são suficientemente detalhadas para se prosseguir para a fase seguinte;
- Existência de margens técnicas e programáticas para se completar o desenvolvimento dentro das restrições de orçamento, prazo e riscos;
- Os riscos envolvidos no sucesso da missão são compreendidos, e existem planos e recursos para gerenciá-los.

## **Principais objetivos da PRR**

Uma PRR é realizada para sistemas de voo e solo, quando se desenvolvem ou adquirem vários sistemas similares; determina o apronto dos planos de fabricação, montagem, integração e testes, bem como de pessoal especializado, dos recursos utilizados para a fabricação dos sistemas finais, de forma eficiente. Como critérios de sucesso de uma PRR, podemos destacar:

- Os requisitos de sistema são completamente atendidos na configuração final de produção;
- Existência de controles adequados na cadeia produtiva;
- Riscos foram identificados, avaliados e esforços para mitigação foram definidos;
- Cronograma de entregas foi elaborado;
- Alternativas de recursos foram identificadas;
- Previsão de itens-reserva;
- Existência de instalações e ferramental adequado para produção e testes;
- Pessoal qualificado envolvido na produção;
- Projetos certificados;
- Planos de engenharia maduros o suficiente para se atender aos critérios de custo-benefício;
- Processo e métodos de produção adequados aos requisitos de qualidade;
- Conhecimento de fornecedores qualificados para materiais a serem adquiridos.

## **Principais objetivos da SIR**

A SIR garante que o sistema está pronto para ser integrado: segmentos, componentes e subsistemas estão disponíveis e prontos, bem como as instalações, pessoal de suporte, planos e procedimentos de. A SIR ocorre ao final da Fase C, antes de se prosseguir para a fase de montagens, integração e testes (Fase D). Critérios de sucesso:

- Finalização e aprovação de planos e procedimentos de montagem, integração e testes do sistema;
- Aprovação dos resultados de testes dos subsistemas antes da integração;
- Riscos conhecidos e avaliados pelas lideranças do projeto;
- Definição clara dos procedimentos de integração e fluxo de trabalho a ser executado;
- Equipe de integração devidamente treinada nos procedimentos de integração e segurança.

Como resultado de uma SIR de sucesso, os planos de “as-built” e verificação são aprovados. Os desenhos são publicados, e há o fechamento de todos os pontos que ainda se encontravam em aberto. Todos os procedimentos de integração dos subsistemas, os equipamentos de suporte em solo (GSE – Ground Support Equipment), as instalações, e as equipes de integração e de suporte estão prontos para se iniciar o processo de Montagem, Integração e Testes (AIT – Assembly, Integration and Tests).

### **3.3.2.5. FASE D – Montagem, Integração e Testes**

Nesta fase, as atividades têm como foco a montagem, integração, testes e lançamento do sistema. Fazem parte das atividades nesta fase, além da montagem e integração, atividades de verificação e validação do sistema, incluindo testes com o modelo de voo em ambientes mais próximos dos

encontrados quando em operação, incluindo-se margens de segurança. Também são executadas nesta fase, atividades de treinamento de pessoal operacional, bem como a implementação do plano de logística e de itens de reposição. Embora todas estas atividades sejam executadas nesta fase, seu planejamento foi iniciado na Fase A, tendo em vista que o grau de desenvolvimento do projeto não permitiria que requisitos de testes e operações fossem incorporados. O principal objetivo da Fase D é demonstrar que o sistema desenvolvido é capaz de atender ao propósito para o qual foi criado. A esta fase estão associadas as seguintes revisões: Revisão de Pronto para Testes (TRR), Revisão de Pronto para Operações (ORR) e Revisão de Pronto para Voo (FRR).

### **Principais tarefas**

- Integrar e verificar o sistema, de acordo com o Plano de Integração e Verificação;
- Monitorar o progresso de desenvolvimento do projeto, de acordo com os Planos do Projeto;
- Refinar os procedimentos de verificação e validação;
- Executar as verificações de qualificação do sistema;
- Realizar as verificações e validações de aceitação do sistema;
- Executar os testes ambientais;
- Avaliar e aprovar os resultados das verificações;
- Resolver as discrepâncias encontradas nas verificações e validações;
- Fazer o relatório de verificação e validação;
- Elaborar a documentação de “as-built” de hardware e software;
- Atualizar o plano de suporte logístico;

- Elaborar a documentação de lições aprendidas;
- Preparar os manuais do usuário;
- Preparar os manuais de manutenção;
- Aprovar o *handbook* de operações;
- Treinar os operadores e o pessoal de manutenção;
- Validar as telemetrias e o sistema de solo;
- Integrar com o veículo lançador, lançar, realizar a inserção em órbita;
- Realizar as operações iniciais para verificação e validação do sistema.

### **Principais objetivos da TRR**

A TRR garante que o artigo a ser testado (hardware/software), as instalações de testes, o pessoal e os procedimentos de testes estão prontos para os testes e aquisição dos dados. É realizada antes da campanha de testes de verificação e validação. Uma TRR deve ter:

- Planos de teste adequados e aprovados, para o artigo em questão;
- Identificação e coordenação dos recursos necessários para se executar os testes;
- Resultados de testes de componentes e subsistemas satisfatórios para se prosseguir para os testes de sistema;
- Identificação e aprovação dos riscos por parte das lideranças do projeto;
- Documentação de captura de “lições aprendidas” pronta;
- Definição clara dos objetivos dos testes a serem executados, bem como revisão dos planos e procedimentos de testes, e configuração do

item a ser testado, a fim de se garantir que os objetivos dos testes sejam atingidos;

- Certificar-se de que o pessoal envolvido nos testes tenha recebido treinamento adequado para executá-los de forma eficiente, eficaz e segura;

Como resultado de uma TRR de sucesso, tem-se a certificação por parte dos engenheiros de teste e de segurança, de que todos os preparativos para se iniciar uma campanha de testes foram executados, podendo o gerente do projeto, autorizar seu início.

### **Principais objetivos da ORR**

A ORR é realizada com o objetivo de garantir que o sistema e o pessoal, equipamentos e procedimentos de suporte, bem como a documentação de usuário estejam prontos para seguir para a fase de operações.

### **Principais objetivos da FRR**

A FRR examina os testes, demonstrações, análises, para determinar que o sistema esteja pronto para um voo seguro, ou lançamento para posterior operação em voo, bem como todos os equipamentos de suporte e operação em solo e seus procedimentos. Alguns itens a serem verificados nesta revisão são:

- O veículo está pronto para voar de maneira segura;
- Os elementos de bordo e solo (hardware e software) estão prontos para o voo e posterior operação;
- Verificação da funcionalidade das interfaces;
- Identificação de todos os riscos envolvendo a missão.

### **3.3.2.6. FASE E – Operações e Manutenção do Sistema Ativo**

Durante a Fase E, atividades são executadas com foco em se atingir os objetivos para os quais a missão foi planejada. Os produtos desta fase são os resultados da missão. Esta fase abrange a evolução do sistema, porém não envolve grandes mudanças na sua arquitetura. As mudanças que podem ocorrer nesta fase são basicamente a adição de novas necessidades à missão, que podem ser, por exemplo, um maior período de cruzeiro do voo, uma montagem em órbita, etc. Se a missão estiver próxima de seu fim, pode ser também feito um pedido de sua extensão a fim de atender aos novos objetivos. A esta fase estão associadas as revisões de Avaliação Pós-lançamento (PLAR), de Pronto para Eventos Críticos (CERR) e de Pós-voo (PFAR).

#### **Principais tarefas**

- Avaliar o desempenho do veículo lançador;
- Conduzir uma verificação da espaçonave em órbita;
- Ativar os instrumentos científicos;
- Executar a missão;
- Coletar dados de engenharia e científicos;
- Treinar de novos operadores;
- Aperfeiçoar a equipe para futuras fases da missão (pouso em outros planetas, por exemplo);
- Manter *logs* de operação;
- Manter e atualizar do sistema;
- Relatar possíveis falhas e defeitos;
- Processar e analisar os dados da missão;

- Solicitar extensões da missão, se aplicável;
- Realizar os preparativos para a desativação, desmontagem e descarte;
- Completar a avaliação de pós-voo da missão;
- Elaborar o relatório final de missão.

### **Principais objetivos da PLAR**

A PLAR é uma revisão realizada após o sistema ser lançado e ter suas operações iniciadas; avalia se está pronto para as operações de rotina em sua capacidade total; também serve para se fazer a transferência do sistema para a organização que irá operá-lo, se aplicável. Na PLAR, realizam-se as seguintes atividades:

- Observar se o desempenho da espaçonave, bem como dos instrumentos científicos, estão dentro do previsto e, caso contrário, entender o que causou o erro para que não se repita no futuro;
- Verificar que qualquer anomalia foi adequadamente documentada, e que seu impacto na operação do sistema foi avaliado;
- Adequar a missão e todo pessoal envolvido ao atual estado de desempenho da espaçonave.

### **Principais objetivos da CERR**

A CERR é realizada para confirmar que o projeto está pronto para executar as atividades críticas durante a operação em voo. É realizada para avaliar os seguintes fatores:

- A conformidade das atividades críticas com os requisitos de missão;
- Preparação para a execução das atividades críticas, incluindo uma completa verificação e validação;

- Que todos os sistemas (de voo e de solo) estão prontos para as operações;
- Que todos os requisitos ligados ao sucesso da missão, relacionados a eventos críticos foram entendidos e endereçados nos níveis adequados da implementação.

### **Principais objetivos da PFAR**

A PFAR é realizada para avaliar o sistema após uma eventual recuperação, quando aplicável. Além disto, identifica todas as anomalias ocorridas durante o voo e determina quais ações são necessárias para mitigá-las em futuras missões. São produtos da PFAR:

- Formalização de um relatório final, documentando o desempenho do voo, bem como recomendações para futuras missões;
- Documentação e análise de todas as anomalias encontradas.

### **3.3.2.7. FASE F – Fechamento**

O fechamento final da missão ocorre na Fase F. Para voos que retornam para a Terra, com um curto período de duração da missão, o fechamento se dá após a desmontagem do sistema. Já para missões de maior duração, o fechamento ocorre conforme o previsto nos planos, ou devido a eventos que não foram planejados, como possíveis falhas. Para satélites, existem planos específicos para o descarte seguro de cada um dos tipos de sistemas; a esta fase está associada a Revisão de Descomissionamento (DR).

### **Principais objetivos da DR**

A DR confirma a decisão de encerrar a missão e avalia se o sistema está realmente pronto para ser descartado. É normalmente realizada perto do final das operações de rotina da missão, quando os objetivos foram atingidos, ou quando problemas de continuidade da missão (falhas técnicas, falta de

condições econômicas) forem detectados. As atividades previstas para esta revisão são:

- Documentação das razões do descomissionamento e descarte;
- Aprovação do Plano de descomissionamento e descarte, de acordo com as regulações da Agência;
- Identificação de perigos à saúde, segurança e ao ambiente;
- Identificação, mitigação de riscos e a aceitação de riscos residuais decorrentes do descarte.

A seguir, é apresentada uma tabela comparativa dos ciclos de vida de projetos propostos pela ECSS e NASA.

**Tabela 3. 1 - Comparação dos Ciclos de Vida ECSSxNASA**

ECSS			NASA		
Fases	Descrição	Revisões	Fases	Descrição	Revisões
<b>0</b>	Análise de Missão	MDR	<b>Pré-A</b>	Estudos de Conceitos	MCR
<b>A</b>	Viabilidade	PRR	<b>A</b>	Desenvolvimento do conceito e tecnologias	SRR
<b>B</b>	Definição Preliminar	SRR, PDR	<b>B</b>	Projeto Preliminar	PDR
<b>C</b>	Definição Detalhada	CDR	<b>C</b>	Projeto Detalhado e Fabricação	CDR, PRR, SIR
<b>D</b>	Qualificação e Produção	QR, AR, ORR	<b>D</b>	Montagem, Integração, Testes e Lançamento	TRR, ORR, FRR
<b>E</b>	Operações	FRR, LRR, CRR, ELR	<b>E</b>	Operações	PLAR, CERR, PFAR
<b>F</b>	Descarte	MCR	<b>F</b>	Fechamento	DR



#### 4 HISTÓRICO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

Durante a Segunda Guerra Mundial, o Ministério da Aeronáutica do Brasil, sentiu a necessidade da criação de locais de formação de pessoal especializado em técnicas de aviação e equipamentos. Em 1943 o Ten-Cel Casimiro Montenegro Filho, então chefe da subdiretoria de material do Ministério da Aeronáutica, que tinha como objetivo o desenvolvimento científico e tecnológico dentro do Ministério, foi aos EUA com a missão de visitar diversas bases aéreas americanas, bem como universidades e institutos de pesquisas, para se obter um modelo para a criação da escola brasileira. Entre as instituições visitadas, Montenegro foi ao *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* e, em dezembro de 1944, apresentou suas ideias ao professor Richard Harbert Smith, chefe do Departamento de Aeronáutica (MORAIS, 2006).

Em maio de 1945, o professor Smith chegou ao Rio de Janeiro e, junto com Montenegro, deu início aos estudos para a concepção da escola. De acordo com o plano conhecido como “Plano Smith”, elaborado pelo Professor Smith e Montenegro, a ideia era de criar uma escola destinada a formar engenheiros não só para exercerem funções estritamente militares, mas capazes também de atuar na aviação de um modo geral (MORAIS, 2006). Esta escola deveria ter laboratórios e oficinas que servissem à pesquisa e ao ensino universitário, bem como outras atividades de interesse da FAB. Um dos principais objetivos da escola seria elevar a ciência e tecnologia aeronáutica ao mais alto nível em relação às nações mais avançadas (OTHON, et al., 2007).

O plano para a implantação de um centro técnico constituído por dois institutos, um para o ensino técnico superior, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), e outro para pesquisa e cooperação com a indústria de construção aeronáutica, IPD (Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento), foi apresentado ao então presidente da República, Dr. José Linhares, o qual aprovou o plano, conhecido como Plano Smith, imediatamente. O centro seria instalado em São José dos Campos, por estar em uma região plana, de condições climáticas favoráveis, facilidade de comunicação e obtenção de energia, relativo afastamento dos

grandes centros urbanos e, também, por estar localizada ao lado de uma nova e importante rodovia que ligaria o Rio de Janeiro a São Paulo. Além disso era próxima do Porto de São Sebastião, ponto de desembarque de grandes contêineres de máquinas e ferramentas, condição importante para a montagem dos futuros laboratórios do Centro Técnico de Aeronáutica (CTA) (OTHON, et al., 2007).

Em 1946, o ministro da Aeronáutica editou a portaria que criou a Comissão de Organização do Centro Técnico de Aeronáutica (COCTA) e sua construção começou em 1948. Foi dada prioridade à edificação do ITA e de meios complementares, como alojamento de administradores, professores e alunos e outras facilidades, capazes de permitir o pronto funcionamento da escola. O CTA foi considerado organizado definitivamente a partir de 1<sup>o</sup> de janeiro de 1954 (OTHON, et al., 2007).

Após a instalação do ITA, foi então a vez do IPD, criado em 1953, com o objetivo de estudar os problemas técnicos, econômicos e operacionais relacionados com a Aeronáutica, cooperar com a indústria e buscar soluções adequadas às atividades da aviação nacional. Em 1954, o IPD teve sua existência regulamentar concretizada e passou a se concentrar na realização de pesquisas e desenvolvimento de Aeronáutica, Eletrônica, Materiais, Sistemas e Equipamentos especiais (OTHON, et al., 2007).

Paralelamente aos avanços na área aeronáutica, o advento da corrida espacial, travada entre as superpotências após a Segunda Guerra Mundial, fez com que a Sociedade Interplanetária Brasileira (SIB) solicitasse ao então Presidente da República Jânio Quadros, em 1961, a criação de um Conselho Nacional de Pesquisas e Desenvolvimento Espacial, e desta forma, em 03 de agosto daquele mesmo ano, foi criado o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE), subordinado ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), sendo a escolha natural para sua sede, a cidade de São José dos Campos (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Nesse mesmo ano (1961), o Ministério da Aeronáutica, formalizou o seu interesse pela área espacial, visando o desenvolvimento de pequenos foguetes de sondagem meteorológica para a Força Aérea. Coube então ao IPD, por meio de sua Divisão de Atividades Espaciais, a realização de Pesquisas e Desenvolvimento neste campo (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Em 1963, o GOCNAE tornou-se Comissão Nacional de Pesquisas Espaciais (CNAE), e passou a operar em São José dos Campos equipamentos como o Radiotelescópio, criado pelo Grupo de Radioastronomia da Universidade Mackenzie (OTHON, et al., 2007). Também em 1963, objetivando concretizar a intenção da Aeronáutica em se dedicar às pesquisas espaciais, foi criado um grupo, vinculado ao Estado Maior da Aeronáutica (EMAER), que mais tarde, em 1966, tornar-se-ia o GETEPE (Grupo Executivo de Trabalhos e Estudos de Projetos Especiais). Os trabalhos iniciais deste grupo foram dedicados ao planejamento de implantação do então Centro de Lançamento de Foguetes da Barreira do Inferno (CLFBI), atual CLBI, sediado próximo à cidade de Natal, no Rio Grande do Norte (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

A partir de então, técnicos civis e militares da Aeronáutica receberam treinamento nos Estados Unidos, o que lhes permitiu o lançamento de foguetes americanos e canadenses a partir do recém-criado Centro de Lançamento. A inauguração do CLBI se deu em outubro de 1965, e o primeiro lançamento ocorreu em dezembro daquele mesmo ano, com o foguete Nike Apache (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Após os avanços obtidos no desenvolvimento dos foguetes Sonda I e Sonda II, decidiu-se pela criação, em 17 de outubro de 1969, do Instituto de Atividades Espaciais (IAE), constituído pelo pessoal e instalações do GETEPE e da Divisão de Atividades Espaciais do IPD. A criação do IAE extinguiu o GETEPE, e passou o CLBI à subordinação do Instituto de Atividades Espaciais (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

No início da década de 1970, foi criada a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), órgão vinculado ao Estado-Maior das Forças Armadas, com o objetivo de coordenar e acompanhar a execução do Programa Espacial.

Em 1970, ocorreu o primeiro lançamento bem sucedido do foguete Sonda II. A CNAE foi extinta em 1971, conferindo ao grupo um caráter permanente denominando-o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, atualmente Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), vinculado ao CNPq naquela época. Uma estação de recepção de dados de satélites de sensoriamento remoto foi implantada em Cuiabá, entre 1972 e 1973 (OTHON, et al., 2007).

Em 1976, foi lançado o primeiro foguete Sonda III e, em 1984, o primeiro Sonda IV, todos eles desenvolvidos no IAE e lançados a partir do CLBI (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Em 1979, foi concebida a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), que objetivava a construção de satélites nacionais de coleta de dados e de sensoriamento remoto, lançados por veículos nacionais, a partir do território brasileiro. O custo estimado para a missão, à época, era de 900 milhões de dólares, com previsão de conclusão em 1989. Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) coube a construção dos satélites, e começaram os investimentos em infraestrutura com o início da construção do Laboratório de Integração e Testes em 1983, e o Centro de Rastreamento e Controle de Satélites entre 1987 e 1989 (OTHON, et al., 2007). A Aeronáutica ficou responsável pela construção do Veículo Lançador de Satélites (VLS), por meio do IAE, e pela construção do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), uma vez que o CLBI não comportava o lançamento de um foguete do porte do VLS (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

Em 1985, o INPE passou a pertencer ao recém-criado Ministério da Ciência e Tecnologia, como órgão autônomo. No ano seguinte criou os laboratórios de Plasma, Sensores e Materiais, Computação e Matemática Aplicada e Combustão e Propulsão. Em 1987 inaugurou o LIT e um acordo de cooperação entre Brasil e China foi assinado em 1988, visando o desenvolvimento de

satélites. Em 1990, o INPE passa a ser denominado Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Em 1991, uma proposta de reorganização do CTA realizou a fusão do IPD e do IAE, criando o atual Instituto de Aeronáutica e Espaço (OTHON, et al., 2007).

Em fevereiro de 1993, devido a dificuldades no desenvolvimento e qualificação do VLS-1, o satélite brasileiro SCD-1 é colocado em órbita pelo foguete americano Pegasus. Esse lançamento fez com que o Brasil entrasse para o seleto grupo das nações que possuíam tecnologia para desenvolver satélites artificiais (PESSOA FILHO, et al., 2009). Ainda em 1993, o foguete VS-40 realiza seu voo inaugural, partindo do CLA.

Em 1994, é criada a Agência Espacial Brasileira, e o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) é criado no INPE.

Em 1997, ocorre o voo inaugural do foguete de sondagem VS-30, e realiza-se a primeira tentativa de lançamento do Veículo Lançador de Satélites, sem sucesso. Em 1998, o segundo satélite de coleta de dados (SCD-2) é colocado em órbita pelo foguete americano Pegasus. Em 1999, o satélite CBERS-1 (China-Brazil Earth Resources Satellite) é lançado pelo foguete chinês Longa Marcha IV, e é efetuada a segunda tentativa de lançamento do VLS, também sem êxito (OTHON, et al., 2007).

No ano 2000, o primeiro protótipo do foguete de sondagem VS-30/Orion é lançado do CLA e são iniciados no INPE os trabalhos de montagem, integração e testes do satélite CBERS-2. Em 2002, é assinado o protocolo entre os governos do Brasil e da China com vistas a dar continuidade ao programa de cooperação por meio de mais dois satélites (CBERS-3 e 4). Em 2003 é lançado a partir da base chinesa de Taiyuan o satélite CBERS-2 (OTHON, et al., 2007).

Em 2003 ocorre o acidente com o terceiro protótipo do VLS, em Alcântara. As duas primeiras tentativas de lançar um VLS fracassaram sem causar vítimas, porém este acidente, ocorrido em 22 de agosto de 2003, causou a perda de 21 vidas.

No ano de 2004, é realizado o primeiro do voo do foguete de sondagem VSB-30, desenvolvido no âmbito de uma cooperação entre o IAE e o Centro Aeroespacial Alemão (DLR) para atender às necessidades do Programa europeu de microgravidade (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2013).

## **5 CICLO DE VIDA DA MISSÃO DE UM FOGUETE DE SONDAGEM**

O projeto de um foguete de sondagem pode ser considerado menos complexo, se comparado aos de lançadores de grande porte, satélites, sondas espaciais, entre outros. Assim sendo, conforme orientado pelos padrões ECSS e NASA, torna-se necessária uma adaptação de seus ciclos de vida, tendo em vista que os apresentados para espaçonaves de maior porte são altamente complexos e possuem altos custos envolvidos em sua implementação. Apesar da sua menor complexidade, o projeto de um artefato espacial, como é o caso de um foguete de sondagem, deve seguir certo formalismo, a fim de que os objetivos da missão para o qual está sendo projetado sejam atingidos, a um custo aceitável e com um alto nível de confiabilidade e qualidade.

No planejamento do projeto, devemos saber claramente o que deve ser feito para que atinja seus objetivos dentro das restrições de prazos e orçamento. A estratégia de desenvolvimento do projeto deve abranger todos os aspectos que o envolvem, como a infraestrutura gerencial e técnica, bem como as decisões de se desenvolver internamente ou de adquirir no mercado algum componente (CHESLEY, et al., 2008).

O planejamento e a execução do projeto de uma missão de foguete de sondagem abrangem todas as atividades e processos realizados desde o surgimento da necessidade da missão até sua finalização. Estas atividades realizadas ao longo de todo o ciclo de vida, devem ser identificadas e desenvolvidas o quanto antes, dando ao gerente do projeto um maior controle sobre elas.

Como em qualquer outro tipo de projeto, o trabalho do gerente deve ser de, sistematicamente, eliminar mudanças ao longo do desenvolvimento (CHESLEY, et al., 2008). Por exemplo, quando os requisitos são estabelecidos e refinados, é hora de mudar o foco para o projeto das soluções; quando o projeto é maduro o suficiente, o foco deve mudar para a fabricação, e assim sucessivamente. Os processos de controle servem para auxiliar o gerenciamento, controlando e eliminando mudanças desnecessárias do

projeto. Como a Engenharia de Sistemas é formada por um conjunto de processos iterativos, muitas mudanças podem ocorrer ao mesmo tempo, trazendo um grande risco de incompatibilidade entre os componentes do sistema, exigindo assim, um controle robusto de configuração, minimizando os riscos das mudanças.

Uma das ferramentas mais importantes para se obter sucesso no desenvolvimento de um projeto são os planos de controle. Para missões espaciais complexas, devem ser escritos planos de controle separados para cada disciplina (Engenharia de Sistemas, Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica, entre outras) (CHESLEY, et al., 2008); porém para projetos menos complexos, como é o caso da missão de foguetes de sondagem, o Plano de Gerenciamento do Projeto pode abranger os planos de controle das diversas disciplinas envolvidas, tornando-se uma única fonte de informação.

Este Plano de Gerenciamento do Projeto deve prover uma breve descrição da missão através de seu ciclo de vida, incluindo datas de lançamento, plano de voo, cronograma, as fases da missão e seus principais eventos. Deve apresentar também a descrição das abordagens técnicas adotadas, bem como os conceitos de operações. Nele deve ser descrito o sistema a ser desenvolvido, em termos de hardware e software, os eventuais sistemas ou subsistemas a serem reutilizados, as interfaces internas e externas envolvidas e as instalações necessárias. Nele são identificadas as principais restrições que afetam o desenvolvimento do projeto (por exemplo, custo, janelas de lançamento, parceiros internacionais, entre outros) (CHESLEY, et al., 2008).

Após serem realizadas avaliações criteriosas sobre os objetivos do projeto, a disponibilidade de tecnologias e recursos humanos, a possibilidade de reuso de produtos (ou parte deles), os riscos envolvidos e a disponibilidade orçamentária, o projeto pode ter sua organização iniciada formalmente.

## **5.1. Execução de Missões de Foguetes de Sondagem no Brasil**

Criada em 10 de fevereiro de 1994, a Agência Espacial Brasileira (AEB) é responsável por formular e coordenar a política espacial brasileira (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013). Assim sendo, é a principal organização financiadora de missões de foguetes de sondagem realizadas no Brasil. Seu principal programa de foguetes de sondagem é o Programa Microgravidade.

O Programa Microgravidade tem o objetivo de colocar ambientes de microgravidade à disposição da comunidade técnico-científica brasileira, provendo os meios de acesso e suporte técnico e orçamentário para a viabilização de experimentos nesses ambientes. A estrutura operacional do programa compreende Instituições executoras, Comissão de Coordenação, Gerência, Instituições participantes e Assessores técnicos (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013).

A execução do programa se dá pela realização de missões, projetos de dispositivos e de experimentos selecionados por meio de Anúncios de Oportunidades, edital publicado e amplamente divulgado, no qual são estabelecidas as condições para apresentação de propostas de experimentos para voo. A Gerência do Programa, juntamente com os Assessores Técnicos, avaliam a viabilidade técnica do experimento proposto e sua aprovação final é dada pela Comissão de Coordenação (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013).

A Gerência do Programa deve acompanhar, com a participação dos Assessores Técnicos, o desenvolvimento dos experimentos, preparativos para voo, embarque dos experimentos, realização do voo e análise dos resultados, informando à Comissão de Coordenação quaisquer obstáculos identificados (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013).

Há também a possibilidade de algumas missões serem realizadas fora do contexto do Programa Microgravidade, sem o Anúncio de Oportunidades, como no caso de algumas missões científicas de interesse do INPE e do IAE, bem

como voos tecnológicos a fim de homologar um veículo novo. Nesse contexto, podemos destacar a participação do INPE em, até a presente data, quatorze missões, com cargas úteis desenvolvidas praticamente para seu uso exclusivo, para estudos da ionosfera.

Como cada missão possui geralmente objetivos únicos, e devido ao grande volume de informações a ser trocado, bem como à extensa lista de envolvidos no processo, faz-se necessário criar meios formais para o desenvolvimento do projeto, e estes métodos e processos devem ser amplamente divulgados e conhecidos por todos os envolvidos na missão.

#### **5.1.1. Comissão de Coordenação**

A Comissão de Coordenação é composta por representantes das seguintes instituições: Agência Espacial Brasileira, que a preside; Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA); representantes de Instituições de Ensino Superior; e assessores técnicos. Os membros da Comissão de Coordenação serão designados pelo Presidente da AEB, por anuência do Dirigente Máximo das respectivas instituições (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013). A Comissão de Coordenação possui as seguintes atribuições:

- Aprovar a programação de atividades;
- Propor e aprovar missões;
- Apreciar propostas orçamentárias e detalhar a aplicação dos recursos disponibilizados;
- Estabelecer procedimentos e diretrizes para a execução do Programa;
- Aprovar Anúncios de Oportunidades para a realização dos experimentos;
- Propor, apreciar e acompanhar ações cooperativas com instituições estrangeiras;

- Aprovar os experimentos para embarque em cada missão;
- Efetuar gestões quanto à atuação das Instituições executoras;
- Estabelecer grupos de trabalho para apreciar temas específicos;
- Acompanhar a realização das missões e analisar os resultados dos experimentos;
- Apreciar relatórios da Gerência do Programa, para encaminhamento à Presidência da AEB.

### **5.1.2. Gerência do Programa**

A Gerência do Programa é exercida por um servidor da AEB, designado pelo Presidente da Agência e possui as seguintes atribuições (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013):

- Conduzir as atividades aprovadas, providenciando os procedimentos administrativos e legais para sua execução;
- Acompanhar a preparação dos voos e dos experimentos a serem embarcados, providenciando os insumos e apreciando as alterações solicitadas;
- Propor à Comissão de Coordenação a programação de atividades, bem como alterações na eventualmente aprovada;
- Elaborar propostas de Anúncios de Oportunidades;
- Preparar e enviar convocatórias e, acompanhar as decisões da Comissão de Coordenação;
- Coordenar os preparativos de campanhas de lançamento de foguetes e embarque de experimentos em voos orbitais e suborbitais;
- Sugerir projetos de dispositivos para a realização de experimentos em microgravidade;

- Analisar e encaminhar à Comissão de Coordenação propostas de parcerias, e acompanhar as aprovadas;
- Elaborar relatórios de execução do Programa.

### **5.1.3. Instituições Executoras**

À AEB e ao IAE, denominadas Instituições executoras, e às Instituições de Ensino Superior, compete (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013):

- À AEB compete coordenar a execução do Programa; relacionar-se com outras agências espaciais, bem como com instituições de fomento técnico-científico no que concerne às atividades do Programa, particularmente na disponibilização de ambientes de microgravidade; contratar a produção de dispositivos para a realização de experimentos; financiar, ainda que parcialmente, o desenvolvimento de dispositivos e de experimentos, programar e acompanhar a realização de voos, bem como analisar os resultados; definir critérios técnicos para o embarque de experimentos e acompanhar seu desenvolvimento;
- Às Instituições de Ensino Superior compete propor critérios e metodologias para a apreciação do mérito técnico-científico dos experimentos propostos, bem como para a análise de seus resultados;
- Ao DCTA/IAE compete disponibilizar veículos para a realização dos experimentos; definir critérios técnicos para seu embarque e acompanhar seu desenvolvimento; propor e acompanhar o desenvolvimento de dispositivos para realização dos experimentos; e analisar sua execução.

#### **5.1.3.1. Serviços de suporte oferecidos pela Instituição Executora**

A Instituição executora deve ser responsável por prover todo o processo de gerenciamento do projeto, bem como a análise, projeto e desenvolvimento da carga útil (sistemas elétrico-eletrônicos embarcados, cablagem e dispositivos mecânicos). Também é responsabilidade da Instituição Executora, a

Montagem, Integração e Testes da Carga útil, ou seja, integrar os experimentos aos sistemas de suporte (suprimento de energia, aquisição de dados, entre outros) e executar os ensaios ambientais, a fim de garantir que não haja erros na montagem, ou no manuseio da carga útil, e que esta possui condições de sobreviver ao voo, garantindo o sucesso da missão.

As operações de lançamento que abrangem desde o suporte logístico (envio da carga útil ao campo de lançamento, transporte de pessoal, etc), até ao lançamento do foguete propriamente dito, seu rastreamento, a aquisição e tratamento de dados, bem como a recuperação da carga útil, quando necessário, são também de responsabilidade da Instituição Executora e tudo isto deve ser feito dentro de normas e padrões que garantam a segurança de pessoas, instalações e equipamentos.

#### **5.1.4. Processo de seleção do Programa Microgravidade**

Para a seleção de um experimento para voar a bordo do foguete VSB-30, dentro do Programa de Microgravidade, serão considerados os seguintes itens (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013):

- Mérito e viabilidade científica e/ou tecnológica;
- Equipe envolvida;
- Infraestrutura dos laboratórios disponíveis;
- Viabilidade técnica;
- Cronograma e orçamento.

##### **5.1.4.1. Acompanhamento do desenvolvimento e supervisão**

O desenvolvimento dos experimentos aprovados será acompanhado por consultores que atuarão a convite da AEB. Este acompanhamento deve abranger o seguinte (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2013):

- **Nivelamento:** Realização de um seminário, onde o ambiente de microgravidade será melhor descrito, e os participantes receberão maiores informações sobre o veículo VSB-30. Nesse evento, o pesquisador apresentará seu experimento;
- **Primeira Revisão:** Após a realização do seminário, e antes da construção do experimento, deve ser submetido à AEB o “Projeto Preliminar do Experimento”, através de um documento denominado DOC 100. Neste documento, devem constar detalhes construtivos e operacionais, desenhos, croquis, explicações e análises preliminares; deve ser comprovada a viabilidade técnica do experimento dentro dos prazos e recursos disponíveis. Após análise, a AEB emitirá um relatório com as críticas, sugestões de melhorias e recomendação quanto à continuidade, ou não, de apoio ao projeto.
- **Segunda Revisão:** Após a emissão do parecer da AEB, será dado início à construção dos modelos de engenharia/qualificação e ao modelo de voo. Deverá então ser gerado pelo pesquisador gerente do experimento, um relatório com os detalhes construtivos dos modelos, denominado DOC 200. Esse relatório será analisado pela AEB e será agendada uma visita às instalações onde o experimento estará sendo desenvolvido. Caso necessário, revisões adicionais poderão ser realizadas.
- **Qualificação para voo:** Entrega dos experimentos ao IAE, a fim de submetê-los a ensaios ambientais (térmicos e vibração). Uma vez aprovado nos testes, o experimento é declarado apto para voo (AV). Caso não seja aprovado, e havendo tempo hábil, mudanças serão sugeridas visando aprimorar o experimento e torná-lo apto ao voo.
- **Integração dos experimentos na plataforma suborbital:** Uma vez considerado apto ao voo, o experimento será integrado à plataforma suborbital, onde serão então conduzidos testes de compatibilidade com esta e os outros experimentos. Também serão realizados balanceamento dinâmico, pesagem e teste de vibração da plataforma

suborbital com todos os experimentos integrados. Apenas nesta fase serão fornecidos os tempos dos principais eventos de voo que permitirão, se necessário, o ajuste de temporizadores dos experimentos.

- **Relatório Final:** Após o voo deverá ser encaminhado um relatório detalhado do experimento, descrevendo seu objetivo, funcionamento durante os testes e voo, bem como uma análise dos resultados.

#### **5.1.5. O papel do DCTA nas missões de Foguetes de Sondagem**

Como mencionado anteriormente, a Instituição executora responsável por prover os veículos de sondagem é o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Organização Militar subordinada ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) do Comando da Aeronáutica.

Assim sendo, todas as missões de lançamento de foguetes de sondagem devem ser aprovadas pelo DCTA, que possui estrutura e meios de gerenciamento próprios que devem ser levados em consideração no planejamento do projeto.

Existe atualmente um documento denominado “Planejamento e Execução de Operações do DCTA” que, entre outras, dá as diretrizes para a organização e o planejamento de uma missão de lançamento de foguetes.

Para que uma operação seja realizada por alguma organização subordinada ao DCTA, algumas condições devem ser satisfeitas:

- Geração de um proposta de operação;
- Realização de exames de situação técnica e logística nas organizações envolvidas com o lançamento;
- Elaboração de um exame da situação de inteligência, referente à segurança das informações, instalações e pessoal;
- Criação do Plano de Operações.

Para a realização da missão, é necessária a criação da seguinte estrutura mostrada na Figura 5.1:

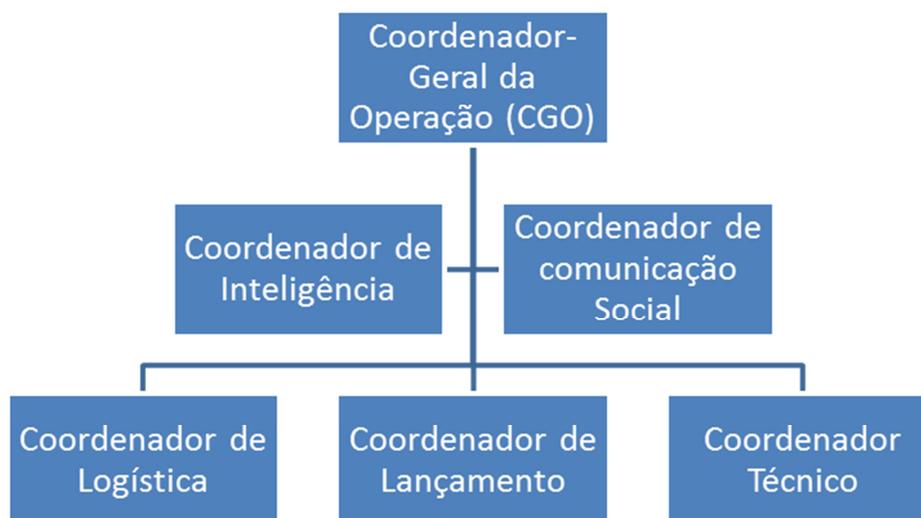


Figura 5. 1 - Estrutura Organizacional de um Lançamento

Esta estrutura pode ser mais detalhada explicitando os coordenadores subordinados aos já citados, como por exemplo, Coordenador de Segurança de Voo, de Carga Útil, entre outros.

Os coordenadores citados no fluxograma possuem as seguintes responsabilidades:

- **CGO:** Inteirar-se totalmente da Operação a ser realizada, bem como dos exames de situação técnica e logística das organizações envolvidas no lançamento; Coordenar a confecção dos diversos planos necessários para o planejamento da missão (comunicação social, inteligência, logística, técnica); Elaborar o Plano de Operações até 50 dias antes da data prevista para o início da operação; Manter o DCTA informado sobre o andamento das atividades da operação; Participar da Reunião de fechamento da missão, que deve ser realizada até 25 dias úteis após o término da Operação; Confeccionar o Relatório Final da Operação até 30 dias úteis após o término da Operação; Coordenação das equipes no Centro de Lançamento.

- **Coordenador de Inteligência:** Confeccionar o Plano de Inteligência; Dar suporte ao CGO nas questões sob sua responsabilidade.
- **Coordenador de Comunicação Social:** Confeccionar o Plano de Comunicação social; Coordenar todas as informações a serem repassadas à imprensa sobre o andamento da operação; Controlar a captação de imagens e a difusão da informação.
- **Coordenador de Logística:** Coordenar os recursos humanos e materiais envolvidos na operação; Proporcionar transporte para pessoal e carga necessários na operação; Elaborar em conjunto com a Organização Apoiadora um Plano para o alojamento e alimentação para todo o pessoal envolvido com a missão; Coordenar o pagamento das diárias; Confeccionar o Plano de Logística; Coordenar o pagamento de todos os meios necessários para a realização da missão.
- **Coordenador de Lançamento:** Coordenar os recursos humanos e materiais relacionados aos meios de lançamento e de segurança de voo, bem como o lançamento do foguete; confeccionar os planos de segurança (de superfície e de voo).
- **Coordenador Técnico:** Coordenar os testes, transporte e montagem do veículo e da carga útil; confeccionar o Plano Técnico e o Plano de resgate da carga útil, quando aplicável; providenciar a realização da análise de riscos e anexar os resultados ao Plano técnico.

No “Planejamento e Execução de Operações do DCTA” também são definidos os papéis das instituições envolvidas em uma operação de lançamento. São elas:

- **Organização Apoiada:** responsável pelo desenvolvimento, fabricação ou manuseio do item a ser ensaiado, que geralmente utiliza a infraestrutura logística de apoio, operacional e técnica existente em outra organização. É representada pelo Coordenador Técnico;

- **Organização Apoiadora:** presta o apoio logístico necessário à realização da Operação, e contribui com tarefas específicas nas atividades de preparação, lançamento e rastreamento do foguete, para o cumprimento dos objetivos da missão;
- **Organização certificadora:** faz a avaliação da qualificação ou certificação do produto a ser ensaiado e verifica se a Organização Apoiadora está pronta para executar a Operação.

#### **5.1.6. Instituições Participantes**

São denominadas “Instituições Participantes” as que tenham experimentos aprovados para voo, ou seja, são os clientes dos voos de foguetes de sondagem.

Como a grande maioria dos clientes de voos suborbitais são grupos de pesquisas de universidades, setores do governo e membros da indústria privada, que não estão acostumados em participar de missões de lançamento de foguetes, cabe então às Instituições Executoras oferecer a estas Instituições um completo suporte, abrangendo desde o gerenciamento da missão, até o desenvolvimento do projeto da carga útil, sistemas de recuperação, controle de atitude, testes e avaliações dos experimentos e da carga útil integrada, coordenação das operações no campo de lançamento, rastreamento, aquisição e processamento de dados. As Instituições Participantes têm um papel fundamental, fornecendo seus experimentos e atendendo aos requisitos de carga útil (especificações mecânicas, térmicas, elétricas e de interface).

#### **5.2. Formação da Equipe**

Pessoas constituem-se no fator mais valioso de qualquer projeto; assim sendo formar uma equipe hábil, efetiva e competente é a tarefa mais importante na organização do projeto. Bons times de projetos possuem as seguintes características (CHESLEY, et al., 2008):

- Há mistura de talentos adequada para cada fase do projeto;

- Os membros da equipe confiam uns nos outros e respeitam-se mutuamente;
- Toda a equipe entende claramente os objetivos, produtos e riscos do projeto;
- O ambiente de trabalho é intelectualmente estimulante, divertido, inclusivo;
- A equipe é capaz de atingir os marcos dentro do prazo, e cada meta atingida é sempre divulgada e avaliada.

Um projeto precisa de diferentes talentos à medida que se desenvolve. Nas fases de estudos, a equipe é composta basicamente de engenheiros de sistema, que são capazes de trabalhar em muitas disciplinas e podem desenvolver os estudos de otimização para que se chegue a uma arquitetura robusta. Durante a fase de projeto, são necessários mais engenheiros especializados em uma disciplina específica, para se obter um projeto detalhado. Durante a produção, o projeto incorpora mais efetivamente também o corpo de técnicos para montar os produtos: placas, caixas eletrônicas, estruturas mecânicas, etc. Chegada a fase de montagem, integração e testes, cada subsistema deve ser testado separadamente, posteriormente são todos integrados e testados como um sistema, e aqui são necessários os talentos e a experiência dos engenheiros de integração. Durante a fase de lançamento, a equipe de projeto deve incluir pessoas experientes no lançamento de veículos e nas atividades realizadas no campo de lançamento (LARSON, et al., 2009).

Para que um projeto se desenvolva a contento ao longo de seu ciclo de vida, o gerente de projeto deve garantir que os talentos estarão disponíveis e prontos para serem utilizados assim que forem necessários. Isto significa ter as pessoas necessárias desde o início do projeto, para que se familiarizem com este e com as funções que devem desempenhar. Como as equipes são formadas por dezenas de profissionais, torna-se necessário nomear uma equipe de coordenadores formada por profissionais das disciplinas envolvidas,

os quais irão participar de todas as reuniões de projeto, atuando em pontos-chave de decisão

### **5.3. Ciclo de Vida Proposto**

Após analisar os ciclos de vida da ECSS e NASA, os processos organizacionais da AEB, DCTA e IAE para a realização de missões de foguetes de sondagem, bem como as melhores práticas e métodos e processos de gerenciamento de projetos (figura 5.3), verificou-se que o ciclo de vida para este tipo de missão pode ser simplificado, a fim de se reduzir os custos de implantação de um processo mais complexo, como também reduzir o tempo entre a descoberta da necessidade e a realização da missão.

Como pôde ser observado nos capítulos anteriores, embora os ciclos de vida da ECSS e NASA possuam algumas diferenças, podemos notar muitas similaridades. As normas ECSS-M-ST-10C e ECSS-M-ST-10-01C da ECSS (ECSS, 2009) nos trazem as informações sobre o que deve ser feito para implantarmos um ciclo de vida adequado, bem como conduzir as reuniões de revisão de projetos. No entanto, o *handbook* de Engenharia de Sistemas da NASA (NASA/SP-2007-6105) (NASA, 2007) nos traz, além de informações sobre o que deve ser feito para a implantação de ciclos de vida e realização das reuniões de revisão, maiores informações sobre melhores práticas para se atingir o sucesso da missão. Comparando-se as normas da ECSS com as da NASA podemos observar que, diferentemente da ECSS, a NASA não se preocupa apenas em orientar o que deve ser feito, mas também como devem ser conduzidas as atividades. Desta forma, para a realização da proposta do ciclo de vida deste trabalho, tomou-se como base o *handbook* de Engenharia de Sistemas da NASA (NASA/SP-2007-6105), as orientações da ECSS, encontradas nas normas ECSS-M-ST-10C e ECSS-M-ST-10-01C, bem como métodos e processos de gestão de projetos (figura 5.2).



Figura 5. 2 - Ferramentas para o desenvolvimento do Trabalho

Em uma missão de foguete de sondagem (figura 5.4) o foguete (segmento lançador) e a carga útil (segmento espacial), podem ser considerados como sendo um só (figura 5.3). Desta forma, o segmento solo, pode ser também de certa forma simplificado. Não precisamos mais ter sistemas solo separados, um para o segmento lançador (foguete) e outro para o segmento espacial (por exemplo, um satélite).

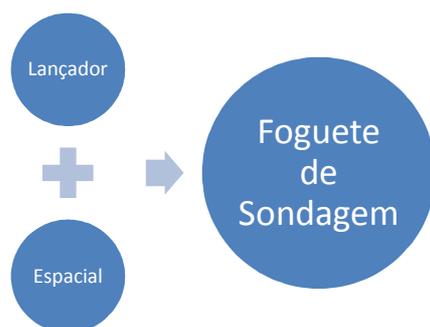


Figura 5. 3 - Unificação dos Segmentos Espacial e Lançador

Para esta proposta, foi considerada a utilização de arquiteturas de veículos já existentes, ou seja, não será proposto o desenvolvimento de um veículo novo para atender aos requisitos dos experimentos. O que se propõe, é encontrar

uma arquitetura de veículo em atividade que melhor atenda aos requisitos dos experimentos. Desta forma, as etapas de projeto preliminar e projeto detalhado podem ser agrupadas em apenas uma, pois não haverá grandes mudanças no projeto de carga útil, sendo realizadas apenas algumas adequações para que os objetivos dos experimentos sejam atingidos.

Uma outra premissa adotada para a elaboração da presente proposta, é que em uma missão de foguete de sondagem, as etapas de lançamento, operações do sistema ativo e descarte são realizadas na mesma fase. Por não deixar detritos, as atividades de fechamento são simplificadas, pois não há a necessidade de planejar um descomissionamento do sistema, devendo apenas preservar a preocupação com o descarte das partes que irão retornar à Terra, e sua eventual recuperação.

Conforme o que foi apresentado anteriormente neste trabalho, foram identificados as principais partes interessadas no desenvolvimento de uma missão de foguete de sondagem como sendo:

- **Agência Espacial Brasileira:** Formular e coordenar a Política Espacial Brasileira. É a principal financiadora de missões de foguetes de sondagem;
- **DCTA/IAE:** Denominadas Instituições Executoras. Devem prover o veículo, bem como todas as funções técnicas e gerenciais para o desenvolvimento da carga útil e para a realização da missão;
- **Instituições Participantes:** São os clientes de missões de foguetes de sondagem.

Além das partes interessadas aqui mencionadas como tendo uma participação direta na realização de uma missão de foguete de sondagem, podemos citar também as comunidades onde os lançamentos são realizados, o Governo Brasileiro e a sociedade como um todo.

Levando em consideração as informações apresentadas até aqui, propõe-se o seguinte ciclo de vida, mostrado na tabela 5.1, já a tabela 5.2 mostra uma comparação do Ciclo de Vida proposto com os da ECSS e NASA:

- Fase 0 - Análise de Missão;
- Fase A - Viabilidade;
- Fase B/C – Projeto;
- Fase D – Fabricação, Montagem, Integração e Testes;
- Fase E/F – Lançamento e Fechamento da Missão.

**Tabela 5. 1 - Ciclo de Vida Proposto**

<b>Fases</b>	<b>Fase 0 – Análise de Missão</b>	<b>Fase A - Viabilidade</b>	<b>Fase B/C - Projeto</b>	<b>Fase D – Fabricação, Montagem, Integração e Testes</b>	<b>Fase E/F – Lançamento e Fechamento da Missão</b>
<b>Revisões</b>	MDR	PRR	SRR, DR	QR, SIR, AR, ORR	FRR, PFAR, MCR

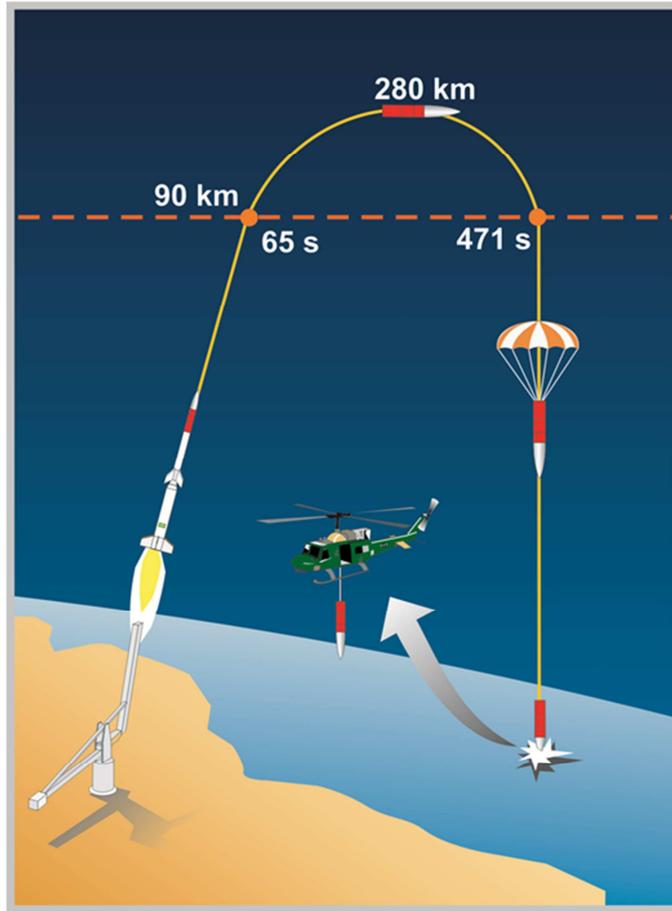


Figura 5. 4 - Lançamento e Resgate da Carga Útil

Tabela 5. 2 - Construção do Ciclo de Vida de Foguetes de Sondagem

ECSS			NASA			Foguetes de Sondagem		
Fases	Descrição	Revisões	Fases	Descrição	Revisões	Fases	Descrição	Revisões
<b>0</b>	Análise de Missão	MDR	<b>Pré-A</b>	Estudos de Conceitos	MCR	<b>0</b>	Análise de Missão	MDR
<b>A</b>	Viabilidade	PRR	<b>A</b>	Desenvolvimento do conceito e tecnologias	SRR	<b>A</b>	Viabilidade	PRR
<b>B</b>	Definição Preliminar	SRR, PDR	<b>B</b>	Projeto Preliminar	PDR	<b>B/C</b>	Projeto	SRR, DR
<b>C</b>	Definição Detalhada	CDR	<b>C</b>	Projeto Detalhado e Fabricação	CDR, PRR, SIR			
<b>D</b>	Qualificação e Produção	QR, AR, ORR	<b>D</b>	Montagem, Integração, Testes e Lançamento	TRR, ORR, FRR	<b>D</b>	Fabricação, Montagem, Integração e Testes	QR, SIR, AR, ORR
<b>E</b>	Operações	FRR, LRR, CRR, ELR	<b>E</b>	Operações	PLAR, CERR, PFAR	<b>E/F</b>	Lançamento e Fechamento	FRR, PFAR, MCR
<b>F</b>	Descarte	MCR	<b>F</b>	Fechamento	DR			

### **5.3.1. FASE 0 – Análise de Missão**

Esta fase sempre será realizada para se obter informações precisas sobre os objetivos de cada experimento que se pretende embarcar em um voo de foguete de sondagem. A esta fase está associada a Revisão de Definição da Missão (MDR), que servirá para que a equipe de projeto entenda as necessidades específicas de cada experimento, para então elaborar os estudos de alternativas para viabilizar a missão. Assim sendo, os clientes de foguetes de sondagem devem estar prontos para fornecer informações detalhadas sobre seus experimentos.

#### **Principais Tarefas**

- Elaborar uma descrição preliminar da missão, identificando e caracterizando suas necessidades, desempenho esperado, restrições;
- Avaliar a possibilidade de um determinado experimento embarcar em um voo de foguete de sondagem;
- Desenvolver as especificações preliminares dos requisitos técnicos;
- Identificar possíveis arquiteturas de veículo que atendam aos objetivos dos experimentos.

#### **Principais objetivos da MDR**

Durante a MDR, os clientes de foguetes de sondagem devem estar preparados para fornecer informações detalhadas sobre seus experimentos, pois os requisitos são o elo de comunicação entre o cliente, o projetista e a equipe de testes, para garantir que o produto adequado seja entregue. Existe uma grande chance de se entregar o produto adequado se os requisitos certos forem identificados, e o cliente, o projetista e a equipe de testes os entenderem da mesma forma (LARSON, et al., 2009). Desta forma, os seguintes tópicos devem ser abordados pelos clientes de foguetes de sondagem:

- **Dispositivos Mecânicos:** Apresentação da necessidade de desenvolvimento e/ou instalação de dispositivos mecânicos na carga útil, como coifa ejetável, janelas de acesso ao experimento, posicionamento de sensores, necessidade de instalação de antenas e quaisquer outros requisitos estruturais da carga útil.
- **Requisitos de Desempenho do Veículo:** Apresentação dos requisitos de desempenho esperados pelos experimentos, como apogeu, tempo acima de determinada altitude, tempo de microgravidade, taxa de rotação, trajetória, horário de lançamento, limites de temperatura, vibração e quaisquer outros aspectos de desempenho que sejam importantes para a realização da investigação científica ou tecnológica. Para que estes aspectos sejam tratados da melhor forma possível, deve-se ter uma estimativa da massa da carga útil, para que então alternativas de veículos que atendam aos requisitos de experimentos possam ser estudadas;
- **Instrumentação:** Devem ser apresentadas pelos clientes as necessidades de instalação de sensores no veículo, bem como taxa de aquisição, a instalação de temporizadores e de receptores de telecomandos.

Após serem apresentadas as necessidades específicas de cada experimento, a equipe de projeto irá identificar as possíveis alternativas de veículos para a realização da missão e irá elaborar uma proposta de solução com os experimentos aprovados para participarem da missão. Esta proposta de alternativa de missão será apresentada na Fase A.

### **5.3.2. FASE A – Viabilidade**

Esta fase sempre será realizada após ter sido reconhecida a necessidade de se realizar uma missão de foguete de sondagem. Tem como finalidade obter informações precisas para fazer uma proposta de missão ao DCTA. Ao final desta, fase deve ser realizada a Revisão de Requisitos Preliminares (PRR), com o objetivo de apresentar as soluções de conceitos propostos pela equipe de projeto, com base nas necessidades apresentadas pelos clientes.

#### **Principais tarefas**

- Caracterizar a missão;
- Apresentar a alternativa de veículo escolhida;
- Definição do sistema a ser utilizado em solo;
- Realizar estimativa de custos;
- Elaborar um cronograma preliminar com as principais atividades;
- Definir os níveis dos testes ambientais aos quais serão submetidos os experimentos, com base no veículo escolhido;
- Elaborar a Estrutura Analítica do Projeto (EAP).

Devem ser tratados nesta reunião os seguintes tópicos:

#### **Principais objetivos da PRR**

- Publicar o Plano Preliminar do Projeto;
- Especificar os requisitos técnicos;
- Confirmar viabilidade técnica das soluções propostas;
- Apresentar a filosofia de modelos e a abordagem de verificação a ser adotada;

- Apresentar o cronograma preliminar, contemplando os principais marcos no desenvolvimento do projeto, incluindo os prazos de entrega e testes de equipamentos isolados, bem como quando ocorrerá a montagem, integração e testes da carga útil com os experimentos, datas previstas das próximas revisões e as de embarque para o campo de lançamento, bem como de datas previstas para envio de documentação para a aprovação do projeto, e obtenção das licenças necessárias para o lançamento;
- Apresentar soluções viáveis, devido à necessidade de desenvolvimento e/ou instalação de dispositivos mecânicos na carga útil apresentadas na fase anterior.
- Apresentar os parâmetros de desempenho de cada solução de veículo, como apogeu, tempo acima de determinada altitude, tempo de microgravidade, taxa de rotação, limites de temperatura, vibração e quaisquer outros parâmetros de desempenho que sejam importantes para a realização da investigação científica ou técnica;
- Devem ser apresentadas pelo pessoal de engenharia, as soluções viáveis para a instalação de sensores no veículo, bem como taxa de aquisição e a eventual instalação de temporizadores e de receptores de telecomandos para os experimentos.
- Definir como será feita a entrega dos dados da missão, tanto em tempo real como pós voo, com a respectiva estimativa de prazos para a entrega dos mesmos;
- Devem ser apresentados pela Instituição executora, os testes aos quais serão submetidos os experimentos e a carga útil integrada, bem como os níveis de estímulos aplicados em cada um deles, para que então o cliente possa se certificar de que seu experimento irá sobreviver aos testes e ao voo;

- Elaborar uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP), com base nas informações providas pelas partes envolvidas (Instituição Executora e clientes), onde estarão desdobrados os produtos a serem entregues, bem como os responsáveis por cada um deles.

### **5.3.3. FASE B/C – Projeto**

A chave para o bom desenvolvimento de um projeto é a redução dos efeitos que as mudanças de requisitos tenham sobre ele, definindo-os claramente nas fases iniciais do projeto. A maior parte dos defeitos encontrados nos produtos finais do projeto é devido à falta de requisitos, à sua mudança, ou até mesmo ao seu mau entendimento (LARSON, et al., 2009), desta forma, durante a Fase B/C, as informações sobre requisitos, restrições e especificações são suficientemente detalhadas, para que então sejam elaborados os projetos de solução de equipamentos, subsistemas e sistema da carga útil integrada, bem como da solução de sistema de solo. Esta fase está associada à Revisão de Definição de Requisitos de Sistema (SRR) e Revisão de Projeto (DR).

#### **Principais tarefas**

- Alocar requisitos de sistema, para subsistemas e equipamentos, tanto para o segmento espacial/lançador, quanto para o segmento solo;
- Realizar estudos de custo/benefício e maturidade tecnológica;
- Estabelecer as métricas para a escolha da solução;
- Elaborar os projetos;
- Atualizar o Plano de Gerenciamento.

#### **Principais objetivos da SRR**

- Publicar a versão atualizada dos requisitos técnicos;
- Publicar o Plano de Gerenciamento de Projetos atualizado;

- Elaborar um cronograma atualizado, incluindo informações sobre fabricação, AIT, data de embarque, lançamento, entrega dos dados, entre outras;
- Atualizar as estimativas de custos da missão (incluindo despesas com diárias de pessoal, transporte, materiais, entre outros);
- Publicar uma EAP detalhada;
- Estabelecer as métricas para avaliar o sucesso da missão;
- Demonstrar viabilidade da arquitetura de veículo escolhida;
- Identificar quaisquer discrepâncias encontradas entre o objetivo da missão e os requisitos identificados e alocados;
- Propor soluções;

### **Principais objetivos da DR**

A Revisão do Projeto é realizada para que possam ser discutidos todos os aspectos relativos ao projeto de novas configurações de veículo e/ou carga útil.

Para isto, uma equipe de revisores (técnicos e engenheiros experientes) de todas as áreas envolvidas na missão, mas não diretamente ligada a este projeto, deve ser formada a fim de revisá-lo.

Antes de serem realizadas estas reuniões de revisão, o gerente do projeto deve assegurar que todos os responsáveis pelo desenvolvimento de algum sistema ou subsistema do veículo ou da carga útil, tenham finalizado seu projeto.

A Revisão do Projeto é realizada sempre que novos equipamentos tenham sido escolhidos para voar uma primeira vez, o que vale para experimentos e equipamentos do próprio veículo. Esta revisão pode ou não ser suprimida, caso o voo seja uma repetição exata de um já realizado, ou seja, tenha exatamente

a mesma configuração de veículo e carga útil, ficando a decisão a critério da equipe de projeto.

As seguintes atividades são realizadas durante a DR:

- Apresentar as soluções adotadas;
- Demonstrar que o projeto tem grandes chances de alcançar os objetivos propostos, de maneira segura, a um custo aceitável e dentro do prazo estabelecido;
- Apresentar detalhes técnicos dos experimentos, principalmente no que se refere às interfaces com os sistemas da carga útil integrada;
- Informar detalhes da missão e dos subsistemas do veículo e da carga útil;
- Elaborar os planos de testes dos equipamentos, subsistemas e sistemas integrados;
- Revisar procedimentos em áreas perigosas, como armação de veículo, pressurização de sistemas, entre outros;
- Avaliar novos procedimentos e processos de fabricação e/ou operação.

Após terem sido apresentadas todas as informações relativas à missão e ao projeto do veículo e da carga útil, a equipe de revisores avalia se os requisitos realmente atendem aos seus objetivos, avalia as soluções adotadas pela equipe de projeto, identifica possíveis riscos ou falhas e propõe soluções, elaborando um documento com todas estas informações, o qual será encaminhado ao Gerente do Projeto.

O Gerente do Projeto deve então analisar as propostas, reunir-se com a equipe e conjuntamente, decidir quais medidas serão efetivamente adotadas, justificando o porquê da não implementação de alguma medida proposta pela

equipe de revisores. Após ser concluída esta fase, deve então ser autorizada a fabricação e testes dos equipamentos e subsistemas do veículo e da carga útil.

#### **5.3.4. FASE D – Fabricação, Montagem, Integração e Testes**

Nesta fase, já com os projetos aprovados, começa a construção dos diversos modelos de acordo com a filosofia adotada. Na fase D, também são executados todos os testes funcionais e de qualificação. A esta fase estão associadas as Revisões de Qualificação (QR), de Pré-Integração (SIR), de Aceitação (AR) e de Pronto para Operações (ORR).

##### **Principais atividades**

- Construir os modelos (engenharia, qualificação, voo) dos equipamentos, subsistemas e sistemas de acordo com a filosofia adotada;
- Fabricar os dispositivos especialmente projetos para a realização da missão;
- Ter à disposição todos os equipamentos adquiridos junto à indústria;
- Produzir e testar cablagem;
- Efetuar a montagem, integração e testes dos equipamentos, subsistemas e sistemas do veículo e da carga útil;
- Realizar testes funcionais e ambientais de qualificação dos subsistemas e sistemas do veículo e da carga útil, caso haja o desenvolvimento de algum novo dispositivo;
- Realizar testes funcionais e ambientais de aceitação da carga útil integrada;
- Certificar que o foguete com sua carga útil, bem como todos os envolvidos estão prontos para prosseguir para as operações de lançamento.

## **Fabricação e Testes de Pré-Integração da Carga Útil**

Após terem sido resolvidos todos os pontos que ficaram em aberto na Revisão de Projeto, os componentes mecânicos e elétricos da carga útil devem começar a ser fabricados, o que inclui todos os componentes mecânicos, desde os módulos e pratos de equipamentos, até os dispositivos que foram solicitados por parte dos experimentos. Nesta fase, os equipamentos eletrônicos que são adquiridos junto à indústria já devem estar disponíveis, e aqueles produzidos internamente, devem estar sendo desenvolvidos a fim de ficarem prontos para os testes de pré-integração. Nesta fase também deve ser produzida e testada toda a cablagem e entregues os equipamentos dos experimentos que voarão a bordo do foguete de sondagem.

Caso haja o desenvolvimento de algum equipamento ou dispositivo novo, este deve ser primeiramente submetido a testes de qualificação, para assegurar que seus processos de fabricação são robustos e que este tem totais condições de sobreviver ao voo, garantindo o sucesso da missão, e posteriormente realizando-se a Revisão de Qualificação (QR).

Conforme se recebe cada um dos equipamentos de voo, estes devem ser submetidos a testes funcionais e de interface, para garantir seu correto funcionamento com a carga útil integrada.

### **Principais objetivos da Revisão de Qualificação (QR)**

- Verificar o atendimento aos requisitos, com margens;
- Avaliar os registros de verificação;
- Aprovar os Planos de Fabricação.

### **Principais objetivos da Revisão de Pré-Integração (SIR)**

Como mencionado anteriormente, antes de se iniciar o processo de integração dos sistemas do foguete de sondagem, devem ser realizadas análises, inspeções e testes funcionais em todos os equipamentos e dispositivos

mecânicos do veículo e carga útil, inclusive nos equipamentos dos experimentos; de acordo com o equipamento ou dispositivo que está sendo recebido, uma ou mais formas de verificação são aplicáveis.

Assim sendo, a Revisão de Integração de Sistemas (SIR) é realizada com o intuito de:

- Finalizar os Planos e Procedimentos de Montagem, Integração e Testes;
- Analisar os resultados dos testes funcionais e inspeções, bem como dos testes de qualificação, quando aplicável;
- Certificar que qualquer discrepância encontrada na Revisão de Projeto tenha sido resolvida;
- Verificar que todas as equipes, equipamentos e instalações estão prontas para se prosseguir para as atividades de montagem, integração e testes dos experimentos com a carga útil e veículo.

### **Integração e Testes da Carga Útil**

Uma das atividades mais importantes de todo o projeto é a de integração e testes, pois é a primeira vez que todos os equipamentos e sistemas são instalados na configuração de voo e verifica-se a compatibilidade entre todos eles. Após terem sido realizados os testes funcionais da carga útil (testes elétricos e de dispositivos mecânicos), esta é encaminhada aos testes de aceitação, que servem para comprovar que todos os sistemas e subsistemas sobreviverão ao voo, sendo capazes de realizar os objetivos da missão. Após a conclusão dos testes deve ser realizada a Reunião de Pronto para a Operação (ORR), onde se verificam os resultados dos testes e o apronto das equipes para o embarque para o Campo de Lançamento.

### **Testes de Aceitação**

Após terem passado com sucesso nos testes funcionais, análises e inspeções, a carga útil integrada deve ser conduzida aos testes de aceitação, onde serão

simuladas algumas das condições de voo. Nesta etapa, a carga útil deve estar com todos seus sistemas operacionais, e estes testes são realizados a níveis um pouco acima daqueles previstos para o voo, garantindo assim que os sistemas continuarão a funcionar corretamente e poderão realizar os objetivos da missão para os quais foram projetados.

Uma vez finalizados os testes de aceitação, a carga útil deve passar novamente por testes funcionais e inspeções a fim de se verificar se todos os sistemas continuam em boas condições para serem levados ao campo de lançamento. Os testes que serão aplicados à carga útil devem ser definidos nas fases iniciais do projeto da missão. Ao final destes testes, os resultados devem ser apresentados em uma Revisão de Aceitação (AR), onde os resultados serão analisados, e será verificado se o sistema está pronto para prosseguir para a próxima fase.

#### **Principais objetivos da Revisão de Aceitação (AR)**

- Verificar o atendimento aos requisitos, com margens;
- Examinar os registros de verificação para certificar que os mesmos encontram-se completos;
- Avaliar os resultados dos testes de aceitação;
- Publicar o certificado de aceitação da carga útil integrada.

#### **Principais objetivos da Revisão de Pronto para Operações (ORR)**

A Revisão de Pronto para Operações é a revisão formal realizada para se determinar se todos os sistemas, participantes e campo de lançamento estão prontos para prosseguir para a Campanha de Lançamento.

Nesta revisão, uma equipe de revisores e que não está diretamente envolvida no projeto deve ser formada. Na ORR, são abordados os seguintes tópicos:

- Resultados de testes da carga útil integrada;

- Prontidão do Campo de Lançamento para a realização da missão;
- Licenças para a realização da missão;
- Problemas encontrados na fase de montagem, integração e testes, bem como soluções para estes problemas;
- Procedimentos gerenciais e operacionais.

Caso sejam encontrados problemas nesta revisão, estes devem ser relatados e uma segunda revisão agendada para se verificar que tudo foi solucionado antes do embarque dos equipamentos e das equipes para o Campo de Lançamento.

### **5.3.5. FASE E/F – Lançamento e Fechamento da Missão**

Após todo o trabalho executado nas fases anteriores, o projeto chega a sua principal fase: operações de lançamento. Atualmente no Brasil, existem dois campos de lançamento de foguetes de sondagem: O Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), localizado no Rio Grande do Norte, e o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), localizado no Maranhão. Ambos os campos de lançamento ficam no litoral, e caso haja a necessidade de recuperação da carga útil, esta deve ter sido projetada para ser resgatada no oceano. A esta fase estão associadas as revisões de Pronto para Voo (FRR), de Análise Pós-Voo (PFAR) e de Fechamento de Missão (MCR).

#### **Principais Atividades**

- Transportar pessoal e equipamentos para o Campo de Lançamento;
- Realizar testes de recebimento;
- Testar compatibilidade do foguete de sondagem com os meios de solo do campo de lançamento, conforme especificado;
- Avaliar os resultados dos testes;

- Integração Final;
- Lançar, rastrear e adquirir os dados da missão;
- Verificar o sucesso ou não da missão através dos dados preliminares do voo;
- Desmobilizar equipes para retornar para suas sedes;
- Realizar uma análise detalhada da missão;
- Encerrar a missão.

### **Principais objetivos da Revisão de Pronto para Voo (FRR)**

Nesta revisão, todas as equipes envolvidas devem demonstrar que estão prontas para o voo. Os testes de recebimento, bem como os realizados com os meios do campo de lançamento devem ser avaliados, certificando-se que se pode prosseguir para o lançamento a riscos aceitáveis. Os sistemas a esta altura já devem estar na configuração de lançamento. O pessoal de segurança, tanto de voo como se superfície são primordiais nesta reunião, onde os procedimentos finais de montagem do veículo no lançador, bem como as operações de lançamento são revistos, confirmando-se que todos estejam cientes do que deve ser feito durante a cronologia de lançamento.

### **Atividades Pós Lançamento**

Após o Lançamento e uma eventual recuperação do foguete de sondagem, o Gerente do Projeto deve ser a pessoa responsável por prover uma análise preliminar do voo, com base nas informações recebidas via telemetria e as fornecidas pelos experimentadores. Um relatório preliminar deve ser gerado com os principais dados do voo, e apresentados na Revisão de Análise Pós Voo (PFAR).

### **Principais objetivos da Revisão de Análise Pós-Voo (PFAR)**

- Verificar se o desempenho do foguete de sondagem, bem como dos experimentos, foram dentro do previsto;
- Documentar quaisquer problemas encontrados durante o voo;
- Gerar um relatório preliminar da missão.

Todos os equipamentos de apoio em solo de responsabilidade da Instituição executora, bem como a carga-útil recuperada devem então ser desmontados e embalados para que possam ser enviados de volta. As equipes são desmobilizadas e devem ser iniciadas as atividades para a geração dos relatórios de voo, que devem ser apresentados na Reunião de Fechamento da Missão (MCR), onde o sucesso ou falha serão avaliados com maior precisão. Na Reunião de Fechamento da Missão, os resultados (sucessos e/ou falhas) são documentados e devem ficar disponíveis para serem consultados como lições aprendidas para futuras missões.

### **Principais objetivos da Revisão de Fechamento da Missão (MCR)**

- Apresentar um relatório detalhado dos resultados dos experimentos;
- Avaliar o desempenho das equipes envolvidas, baseado nos relatórios detalhados de cada uma delas;
- Documentar as lições aprendidas para serem utilizadas em futuras missões.

#### **5.3.6. Comparação: Ciclo de Vida Proposto x Procedimentos atuais**

Atualmente, não existe um ciclo de vida formal para o desenvolvimento de missões de foguetes de sondagem, o que temos é uma série de atividades e documentos a serem gerados, a fim de satisfazer aos requisitos para propor uma missão à AEB e ao DCTA. A AEB, em seus anúncios de oportunidades para voos em veículos VSB-30, nos traz algumas orientações de como uma

instituição deve propor um experimento; desta forma, como foi o modelo mais formal encontrado, tomou-se este como base para fins de comparação com o ciclo de vida proposto neste trabalho. A seguir, é apresentado na figura 5.5 um diagrama com as atividades previstas em documentos da AEB e do DCTA para a realização de uma missão de foguete de sondagem:



Figura 5. 5 – Diagrama de Atividades

Desta forma, analisando essas atividades e, colocando-as no ciclo de vida proposto neste trabalho, teríamos o seguinte (tabela 5.3):

**Tabela 5. 3 - Inserção das Atividades Atuais no Ciclo de Vida Proposto**

	<b>Fase 0</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B/C</b>	<b>Fase D</b>	<b>Fase E/F</b>
<b>Ciclo de Vida Proposto</b>	Análise da Missão	Viabilidade	Projetos	Fabricação, Montagem, Integração e Testes	Lançamento e Fechamento da Missão
<b>Atividades desenvolvidas Atualmente</b>		Anúncio de Oportunidades e Seleção de Experimentos	Seminário / DOC 100 / DOC 200 / Proposta de Missão DCTA	Planejamento da Missão / Integração e Testes / Plano de Operações	Execução da Operação e Conclusão da Operação

O que se propõe neste trabalho, porém é uma maior aderência e uma unificação de todas as atividades que envolvem o DCTA/IAE e a AEB. Atualmente o foco para a realização de uma missão de foguete de sondagem é na Instituição Executora, porém neste trabalho, é proposto mudarmos o foco para as Instituições Participantes, que são os clientes. Desta forma, rearranjando as atividades que temos hoje, e com uma mudança na estrutura de realização de missões de foguetes de sondagem, e colocando essas mudanças no ciclo de vida proposto, teríamos o seguinte (tabela 5.4):

**Tabela 5. 4 - Adequação ao Ciclo de Vida Proposto**

	<b>Fase 0</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B/C</b>	<b>Fase D</b>	<b>Fase E/F</b>
<b>Ciclo de Vida Proposto</b>	Análise da Missão	Viabilidade	Projetos	Fabricação, Montagem, Integração e Testes	Lançamento e Fechamento da Missão
<b>Atividades</b>	Anúncio de oportunidades, porém, sem a definição das características oferecidas para a carga útil / Seminário / Seleção de Experimentos (mérito científico) Planejamento da Missão	Seleção do veículo e definição das adequações necessárias para acomodação do experimento selecionado / Proposta de Missão DCTA	Após definido o veículo, ocorrerá a definição detalhada de todas as adequações necessárias à realização da missão / DOC 100 / DOC 200 / Plano de Operações	Fabricação e montagem conforme especificações / Integração e Testes	Execução da Operação e Conclusão da Operação Resultados científicos.  Lições aprendidas

Caso aplicássemos o ciclo de vida proposto, com os produtos de cada fase muito bem definidos nas atividades que são realizadas atualmente (o que ainda não existe), e comparando-se com a abordagem deste trabalho, além de termos um Ciclo de Vida formal para ser aplicado a missões de foguetes de sondagem, encontraríamos também as seguintes diferenças:

### **Fase 0**

#### **Atualmente**

Tomando-se como base o Anúncio de Oportunidades da AEB, não teríamos uma Fase 0 de análise da missão, pois a mesma já é bem definida; será realizado um voo de veículo VSB-30, e os experimentos é que devem se adequar ao veículo.

## **Proposta**

Antes de se definir uma arquitetura de veículo, o que se propõe é que a primeira coisa a ser feita, seja ouvir as necessidades de toda e qualquer instituição que pretenda embarcar seu experimento em um voo de foguete de sondagem. Assim sendo, o Anúncio de Oportunidades não seria mais para o Programa Microgravidade e sim para um voo de foguete de sondagem. Nesta fase seria realizada a Revisão de Definição da Missão (MDR), onde os clientes de foguetes de sondagem fariam a exposição da necessidade de se propor uma missão, bem como dariam maiores detalhes de seus experimentos.

Nesta fase seria iniciado o Planejamento da Missão.

## **Fase A**

### **Atualmente**

Como o veículo a ser utilizado é definido mesmo antes de se ouvir a necessidade de se propor uma missão, esta fase atualmente serve apenas para se realizar o Anúncio de Oportunidades e Selecionar os experimentos. É analisada apenas a viabilidade de se executar o experimento com base nas restrições da plataforma do VSB-30.

### **Proposta**

A Fase A, serviria realmente como uma fase de análise de viabilidade e seleção de arquitetura. Nesta fase, com base nas necessidades dos clientes de foguetes de sondagem, apresentadas na Fase 0, é que seria escolhida uma melhor solução de veículo para realizar a missão. Também nesta fase, seriam apresentadas as soluções de adaptação da carga útil a alguma necessidade apresentada na fase anterior.

Com base na arquitetura escolhida, seria então realizada uma proposta de missão ao DCTA.

## **Fase B/C**

### **Atualmente**

Na fase de projetos é que, atualmente, se realiza o seminário de nivelamento, com os experimentos já previamente selecionados. Neste seminário são colhidos algumas informações sobre cada experimento, e o veículo VSB-30 é apresentado.

Nesta fase, atualmente são elaborados os documentos de projeto, denominados DOC 100 e DOC 200, pelos clientes de foguetes de sondagem. Somente após terem sido revisados os projetos dos experimento é que uma missão é proposta ao DCTA.

### **Proposta**

A fase B/C seria a de definir os projetos de adequações de partes da carga útil, para que esta possa atender aos requisitos dos experimentos aprovados para voo. Também nesta fase, seriam realizados pelos clientes de foguetes de sondagem, os projetos dos experimentos e seriam confeccionados os documentos DOC 100 e DOC 200 e seria confeccionado o Plano de Operações.

## **Fase D**

### **Atualmente**

Somente na Fase D é que realmente se formaliza o Planejamento da Missão, já muito próximo de sua execução. Nesta fase, atualmente é realizada a fabricação dos experimentos, são executados os testes em cada um deles, e posteriormente, é realizada a montagem, integração e testes da carga útil. O Plano de Operações é confeccionado nesta fase.

## **Proposta**

Também ocorreria a montagem, integração e testes, mas como o planejamento da missão já começou na Fase 0, aqui tudo seria executado conforme o plano elaborado anteriormente e previamente acordado entre todas as partes envolvidas em uma missão de foguete de sondagem.

## **Fase E/F**

### **Atualmente**

Na fase E/F, atualmente o veículo é preparado, então é realizado o lançamento, e não há uma reunião formal com as equipes envolvidas e com o cliente após o voo, para se determinar com precisão o sucesso ou não da missão.

## **Proposta**

O que se propõe para a Fase E/F, é que seja realizado uma revisão ao seu final, para que todos os resultados de todas as equipes envolvidas com o lançamento, bem dos experimentadores, sejam avaliados e possa ser confeccionado um documento de lições aprendidas, para que o planejamento e a execução de uma próxima missão possa ser melhorado.



## 6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o de pesquisar os ciclos de vida de projetos espaciais, analisá-los e propor sua adequação para serem aplicados ao projeto de missões de foguetes de sondagem realizadas pelo Brasil.

Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente foi estudado o gerenciamento de projetos, quando se verificou a importância de um processo robusto para que os objetivos sejam atingidos a um custo adequado, com qualidade e dentro dos prazos estabelecidos.

A Agência Espacial Norte-Americana, bem como a Cooperação Europeia para a Padronização Espacial, nos trazem ciclos de vida de projetos espaciais, que segundo suas próprias recomendações, devem ser adequados às necessidades específicas de cada projeto. Como o projeto de uma missão de um foguete de sondagem é mais simples do que a execução de missões de maior porte, e como não foi encontrada nenhuma outra referência para a adequação do ciclo de vida de missões espaciais mais complexas para este tipo de missão, foi realizado um estudo para, com base nos ciclos de vida apresentados, elaborar um ciclo de vida melhor adequado à realização de missões de foguetes de sondagem.

Neste trabalho, foi apresentado um breve histórico do Programa Espacial Brasileiro, com as participações do DCTA, IAE e INPE. Posteriormente foi apresentado como um foguete de sondagem é aplicado para pesquisas tecnológicas e científicas. Foram também apresentados os foguetes de sondagem atualmente em operação pelo Brasil: VS-30, VS-30/Orion, VSB-30 e VS-40.

Assim como a AEB, o DCTA, o IAE e o INPE também possuem seus próprios processos para a execução de projetos espaciais. As diretrizes da AEB, bem como esses processos organizacionais específicos para a execução de projetos espaciais nas organizações executoras, foram levados em

consideração para propor este ciclo de vida reduzido para ser utilizado no desenvolvimento de projetos de missões de foguetes de sondagem.

Com este ciclo de vida melhor adequado pode-se, sem deixar de lado as boas práticas de gestão de projetos, bem como as recomendações da NASA e ECSS, chegar a um processo de gestão de projetos robusto e melhor adequado às necessidades do desenvolvimento de missões de foguetes de sondagem, melhorando também as comunicações entre cliente e executor, a fim de que se chegue a um projeto de carga útil que atenda a todos os requisitos dos experimentos que serão embarcados, com qualidade e confiabilidade.

Neste trabalho pôde-se notar que falta uma maior integração por parte das Instituições executoras (DCTA e AEB). Também nota-se que para realizarmos missões com foguetes de sondagem, devemos primeiramente “ouvir” as necessidades dos clientes, para então propor uma solução de missão. Desta forma, neste trabalho propõe-se não somente formalizar um ciclo de vida para a execução destas missões, mas também uma mudança nas atividades realizadas, com maior foco nos clientes, para que então possamos realizar uma missão de foguete de sondagem melhor adequada às necessidades científicas e tecnológicas.

Esta proposta, porém, não pôde ser implementada na prática, ficando seus resultados somente no campo teórico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa de microgravidade**. Brasília, 2013. [Online] Maio 16, 2013. Disponível em: <http://microgravidade.aeb.gov.br/index.php/aos/4-ao>. Acesso em 16 de maio de 2013.

\_\_\_\_\_. **Programa microgravidade**. Brasília, 2013. [Online] Agosto 26, 2013. Disponível em: <http://microgravidade.aeb.gov.br>. Acesso em 26 de agosto de 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14857-1**. sistemas espaciais - gerenciamento do programa - Parte 1. Rio de Janeiro, 2002. v. 1.

\_\_\_\_\_. **NBR 14857-2**. sistemas espaciais - gerenciamento do programa - Parte 2. Rio de Janeiro : ABNT, 2002. v. 2.

CHESLEY, J., et al. **Applied project management for space systems**. United States : McGraw-Hill, 2008.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **ECSS-E-ST-10-02C**. Noordwijk, The Netherlands : ESA-ESTEC, 2009.

\_\_\_\_\_. **ECSS-E-ST-10C**. Noordwijk, The Netherlands : ESA-ESTEC, 2009.

\_\_\_\_\_. **ECSS-M-ST-10-01C**. Noordwijk, The Netherlands : ESA-ESTEC, 2008.

\_\_\_\_\_. **ECSS-M-ST-10C Rev. 1**. Noordwijk, The Netherlands : ESA-ESTEC, 2009.

\_\_\_\_\_. **ECSS-M-ST-40C**. Noordwijk, The Netherlands : ESA-ESTEC, 2009.

\_\_\_\_\_. **ECSS-Q-ST-10C**. Noordwijk, The Netherlands : ESA-ESTEC, 2008.

GIDO, J.; CLEMENTS, J.P. **Gestão de projetos**. São Paulo : Thomson Learning, 2007.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. **Histórico**. São José dos Campos, 2013. [Online] Outubro 1, 2013. Disponível em: <http://www.iae.cta.br/index.php?action=historico#/8>. Acesso em: 1 out. 2013.

\_\_\_\_\_. **Projetos: VS-30**. São José dos Campos, 2013. [Online] Outubro 2, 2013. Disponível em: <http://www.iae.cta.br/?action=vs30>. Acesso em 2 out. 2013.

\_\_\_\_\_. **Projetos: VS-30 Orion.** São José dos Campos, 2013. [Online] Outubro 2, 2013. Disponível em: <http://www.iae.cta.br/?action=vs30orion>. Acesso em 2 out. 2013.

\_\_\_\_\_. **Projetos: VS-40.** São José dos Campos, 2013. [Online] Outubro 2, 2013. Disponível em: <http://www.iae.cta.br/?action=vs40>. Acesso em 2 out. 2013.

\_\_\_\_\_. **Projetos: VSB-30.** São José dos Campos, 2013. [Online] Outubro 2, 2013. Disponível em: <http://www.iae.cta.br/?action=vsb30>. Acesso em 2 out. 2013.

KERZNER, H. **Project management: a systems approach to planning, scheduling and controlling.** New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 978-470-27870-3.

LARSON, W.J., et al. **Applied space systems engineering.** United States : McGraw-Hill, 2009.

MORAIS, F. **Montenegro: as aventuras do Marechal que fez uma revolução nos céus do Brasil.** s.l. : Planeta do Brasil, 2006. ISBN 9788576652274.

NASA. **NPR 7120.5 - NASA program and project management processes and requirements.** Washington, DC : NASA Headquarters, 2012.

\_\_\_\_\_. **System engineering handbook.** Washington, DC : NASA Headquarters, 2007.

OTHON, C.; PRADO, A.F. **A conquista do espaço: do Sputnik à Missão Centenário.** s.l. : Livraria da Física, 2007. ISBN 978-85-88325-89-0.

PESSOA FILHO, J.B., NOGUEIRA, S.; SOUZA, P.N. **Astronáutica - fronteira espacial - Parte 2.** Brasília : Ministério da Educação, 2009.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos.** Philadelphia, PA, USA : Project Management Institute, 2004.

SAUSER, B.J., REILLY, R.R.; SHENRAR, A.J. Why projects fail? How contingency theory can provide new insights - A comparative analysis of NASA's Mars Climate Orbiter Loss. **International Journal of Project Management.** v. 27, n. 7, p. 665-679, 2009.

TURNER, J.R. Towards a theory of project management: the natura of the functions of project management. **International Journal of Project Management.** v. 24, n. 3, p.187-9, 2006.