



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16663-PUD/217

CICLO DE VIDA DE PROJETOS NA ÁREA ESPACIAL

Irineu dos Santos Yassuda

Exame de Qualificação – Gerenciamento e Engenharia de Sistemas Espaciais

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/03.02.19.04>>

INPE
São José dos Campos
2010

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) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

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

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

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

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16663-PUD/217

CICLO DE VIDA DE PROJETOS NA ÁREA ESPACIAL

Irineu dos Santos Yassuda

Exame de Qualificação – Gerenciamento e Engenharia de Sistemas Espaciais

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/03.02.19.04>>

INPE
São José dos Campos
2010

RESUMO

Os Sistemas Espaciais, devido à sua complexidade e aos requisitos de confiabilidade, prazos e custos, necessitam de processos de desenvolvimento robustos que, baseados nos princípios da Engenharia de Sistemas e de Gestão de Projetos, permitam uma solução balanceada ao longo do ciclo de vida e que atenda às expectativas dos “Stakeholders” (A). Este trabalho objetiva apresentar o ciclo de vida de projetos espaciais segundo o padrão ECSS (*European Cooperation for Space Standardization*) e comparar o ciclo de vida de alguns projetos desenvolvidos no INPE com este padrão, com foco nos seguintes tópicos: filosofia geral definidora do ciclo de vida, estruturação em fases, revisões, filosofia de modelos e processos de verificação e validação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Falhas em Sistemas Espaciais.	3
Figura 2 – Principais elementos constituintes do ciclo de vida de um projeto na área espacial, conforme diretrizes do padrão ECSS-M-ST-10C(6).	5
Figura 3 – Ciclo de Vida do <i>Software</i> .	18
Figura 4 – Processo de Verificação.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Paralelo entre as Fases de Projeto e Revisões ECSS e as do Projeto EPSS.	15
Tabela 2 – Paralelo Entre as Fase e Revisões ECSS e as do Projeto SIA.	17

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEB	Agência Espacial Brasileira
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CTA	Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial
DDT	Descrição Detalhada de Trabalho
EAP	Estrutura Analítica de Processos
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
EPSS	Subsistema de Suprimento de Energia Elétrica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIT	Laboratório de Integração e Testes
PMI	Project Management Institute
RUP	Rational Unified Process
SIA	Sistemas Inerciais para Aplicações Aeroespaciais

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
RESUMO	1
SUMÁRIO	5
LISTA DE FIGURAS	2
LISTA DE TABELAS	3
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	4
1 INTRODUÇÃO	1
2 SISTEMAS ESPACIAIS	2
3 CICLO DE VIDA DE PROJETOS ESPACIAIS	4
3.1 Fases do Ciclo de Vida Segundo o Padrão ECSS	4
3.1.1 Fase 0 – Análise de Missão.....	5
3.1.2 Fase A – Análise de Viabilidade	6
3.1.3 Fase B – Definição do Projeto Preliminar	6
3.1.4 Fase C – Definição Detalhada do Projeto	7
3.1.5 Fase D - Produção e Qualificação	7
3.1.6 Fase E – Operação.....	8
3.1.7 Fase F - Descarte.....	8
3.2 Modelos e sua Filosofia	8
3.3 Revisões.....	9
3.3.1 Revisão de Definição de Missão (MDR)	9
3.3.2 Revisão Preliminar de Requisitos (PRR)	10
3.3.3 Revisão de Requisitos de Sistema (SRR).....	10
3.3.4 Revisão de Projeto Preliminar (PDR).....	10
3.3.5 Revisão de Projeto Detalhado (CDR)	10
3.3.6 Revisão de Qualificação (QR).....	11
3.3.7 Revisão de Aceitação (AR).....	11
3.3.8 Revisão de Prontidão Para Voo (FRR)	12
3.3.9 Revisão de Prontidão Para Operação (ORR)	12
4 COMPARAÇÃO ENTRE O CICLO DE VIDA DE ALGUNS DOS PROJETOS DESENVOLVIDOS NO INPE COM AQUELE PRECONIZADO PELO PADRÃO ECSS.	12
4.1 COMPARAÇÃO ENTRE A METODOLOGIA EMPREGADA NO PROJETO CBERS 3 – 4 / EPSS e o Padrão ECSS	13
4.1.1 Fases do Projeto CBERS 3-4 / EPSS.....	13
4.1.2 Reuniões de Revisão do CBERS 3-4 / EPSS	14
4.2 Comparação entre a Metodologia Empregada no Projeto Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial e o Padrão ECSS.....	16
4.2.1 Fases do projeto.....	16
4.2.2 Revisões do projeto.....	16
5 DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE SOFTWARE.....	18
5.1 <i>Rational Unified Process</i> - RUP	18
6 DISCIPLINAS AUXILIARES	19
6.1 Estrutura Analítica de Projeto (EAP)	19
6.2 Gerenciamento de Configuração	20
7 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	20
8 CONCLUSÃO	23

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
ANEXO A - REFERÊNCIAS CURSOS	26

1 INTRODUÇÃO

A exploração do espaço exterior (*outer space*) envolve riscos de diversas naturezas e oferece desafios científicos, tecnológicos e, sobretudo, gerenciais extraordinários. Cada missão constitui-se em um empreendimento único, com uma estrutura de requisitos de grande complexidade e extensão. A incorporação de tais requisitos no produto final reveste-se de grande importância, dado que pequenos desvios podem resultar em perdas severas para a missão, pois, usualmente, inexistente a possibilidade de reparos e correções de equipamentos e sistemas espaciais, uma vez iniciada sua operação em órbita (1). Igualmente, há grande pressão quanto a custos e cronogramas. Valores típicos de uma missão espacial situam-se na ordem de centenas de milhões de dólares, e erros de planejamento podem resultar em grandes perdas e afetar a credibilidade das instituições e equipes executoras. Assim, mesmo com o desenvolvimento e o amadurecimento de padrões para Gerenciamento de Projetos, como o ECSS ou o PMbok (2), missões na área espacial constituem-se em empreendimentos únicos para a aplicação de técnicas de gerenciamento.

No Brasil, o programa espacial é coordenado pela Agência Espacial Brasileira (AEB), tendo como executores o Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA), para bases e veículos lançadores, e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para plataformas orbitais e cargas úteis. Dos anos 70, quando se inicia o projeto de satélites no país, até a presente data, o INPE, com variado grau de cooperação, desenvolveu e operou cinco satélites em órbita, sendo dois de coleta de dados e três de sensoriamento remoto (B).

Os dois satélites de coleta de dados, colocados em órbita na década de 90, e dois dos satélites de sensoriamento remoto, lançados em 2003 e 2007, foram integrados e testados no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE, em São José dos Campos.

Tais desenvolvimentos exigiram o estabelecimento das funções de Engenharia de Sistemas e de Garantia da Qualidade no INPE, em nível compatível com as exigências de projetos na área espacial. Assim, em aproximadamente três décadas de experiência, a área de engenharia do INPE desenvolveu e adaptou metodologias para a gestão e o desenvolvimento de projetos na área espacial.

Este trabalho objetiva apresentar o ciclo de vida de alguns dos projetos desenvolvidos no INPE e compará-lo com aquele preconizado pelo padrão ECSS. A comparação será de caráter bastante geral e se concentrará na estruturação em fases, nas reuniões de avaliação estabelecidas e na filosofia de modelos adotada. Nas seções iniciais, tomando sempre como referência o padrão ECSS, serão abordados os seguintes tópicos: a **Seção 2** é dedicada à apresentação da filosofia geral definidora do ciclo de vida de projetos na

área espacial. A **Seção 3** possui na **Subseção 3.1**, a descrição da estruturação em fases; a **Seção 3.2**, a filosofia de modelos e, na **Seção 3.3**, o conjunto de revisões de avaliação. A **Seção 4** é dedicada à comparação entre o ciclo de vida de projetos desenvolvidos no INPE com aquele preconizado pelo padrão ECSS. A **Seção 5**, por sua vez, mostra uma descrição do ciclo de vida de produtos de software. Por fim, a **Seção 6** apresenta a definição e a descrição de disciplinas auxiliares selecionadas, enquanto que a **Seção 7** trata dos conceitos de verificação e validação. As conclusões são apresentadas na **Seção 8**.

2 SISTEMAS ESPACIAIS

Tipicamente, um sistema espacial pode ser separado em segmentos: o segmento espacial, constituído pelo satélite, o segmento lançador constituído pelo lançador e a infraestrutura necessária para sua operação; o segmento solo, constituído pelas estações de rastreamento e controle do satélite; e, o segmento usuários, formado pela infraestrutura necessária para o processamento e distribuição ao usuário final da informação ou serviço gerado pelo equipamento em órbita (C). Embora o gerenciamento de um projeto na área espacial contemple os três segmentos, nos restringiremos, aqui, a uma descrição do ciclo de vida de projeto dos equipamentos destinados a voo, mais especificamente, a plataforma orbital e a carga útil, que juntas constituem o satélite.

Esses equipamentos operam em um ambiente agressivo, praticamente no vácuo, expostos a radiação intensa e ciclos térmicos de grande amplitude, e durante a fase de lançamento são submetidos a vibrações e acelerações elevadas (D). Além da robustez necessária para sobreviver a condições ambientais adversas, os Sistemas Espaciais apresentam alta complexidade, a qual tem crescido em decorrência de missões e aplicações cada vez mais arrojadas. A crescente disponibilidade de processadores com maior capacidade de processamento e de outros recursos de *hardware* (memória, componentes lógicos programáveis, etc.) para utilização em ambiente espacial faz com que muitas das operações, anteriormente realizadas em solo, passem a ser realizadas a bordo. Adicionalmente, novas aplicações são continuamente incorporadas no processamento de bordo, produzindo sistemas cada vez mais complexos (3) (A). Assim, enquanto os primeiros satélites pesavam algumas dezenas de quilos e levavam apenas alguns circuitos simples, satélites modernos de grande complexidade chegam a carregar toneladas de equipamentos.

Em termos de custos, a fabricação de um satélite pode variar tipicamente de dezenas a centenas de milhões de dólares, enquanto que os valores de lançamento são estimados na ordem de US\$ 11.000,00 por quilo para órbita baixa e de US\$ 66.000,00 por quilo para a colocação em uma órbita geoestacionária (4).

Estudos como o apresentado na **Figura 1 (E)** indicam que uma parcela significativa das falhas observadas em programas espaciais podem advir de falhas associadas ao gerenciamento de projetos (E).

Exemplos de falhas de missão atribuídas a problemas de gerenciamento, durante a fase de desenvolvimento da missão, incluem os incidentes com o Mars Climate Orbiter e o Mars Polar Lander da Nasa, que foram projetos realizados sobre a abordagem “Cheaper, Faster, Better”. Entre as razões apontadas para a falha destas missões em estudos recentes, encontram-se as seguintes:

- Foco na gestão de riscos em custo e prazo em vez de qualidade e segurança,
- Campanhas de teste reduzidas,
- Procedimentos de garantia da missão desacoplados do processo de projeto,
- Aplicação frouxa das especificações e normas,
- Utilização reduzida dos processos de revisão e de qualidade,
- Contratado com responsabilidade pelo desenvolvimento completo de sistema,
- Supervisão das agências reduzida,
- Subestimar a complexidade e maturidade tecnológica,
- Baixa comunicação dos times (A).

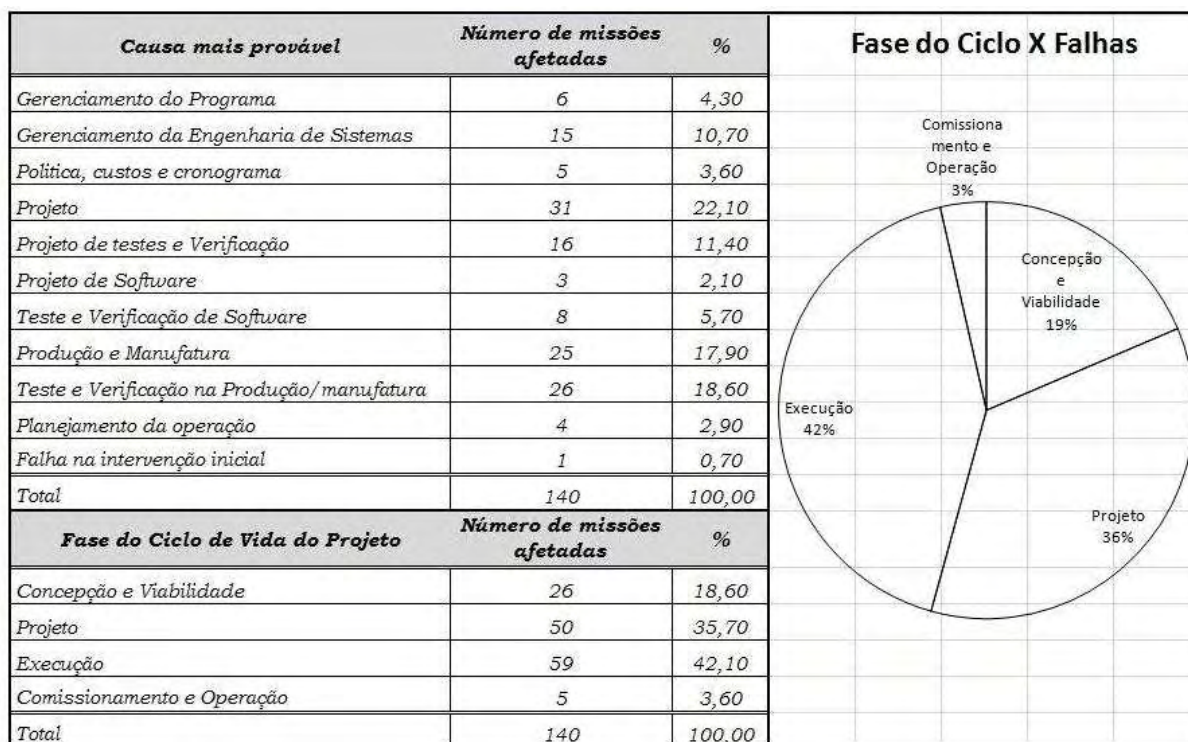


Figura 1 – Falhas em Sistemas Espaciais.

Fonte: ESA-SME-training2007_Quality-Assurance (E).

Por razões como estas e, também, devido ao perigo a vidas humanas e ao custo e impacto causados pela perda de equipamentos, além do prejuízo à imagem de organizações e nações envolvidas, os projetos da área espacial dedicam grande ênfase ao controle da variável qualidade, diferentemente de projetos que contemplam aplicações não críticas, onde em geral as variáveis custo e tempo são controladas com maior ênfase.

Assim, dado o exposto acima, é natural esperar-se que o ciclo de vida de projetos espaciais e equipamentos associados seja ditado por considerações relativas ao ambiente de operação, aos custos e o cronograma propostos para a missão, e à complexidade e qualidade (confiabilidade) do sistema a ser desenvolvido.

3 CICLO DE VIDA DE PROJETOS ESPACIAIS

A estruturação de projetos espaciais em fases advém da própria lógica de desenvolvimento de empreendimentos que tenham por objetivo a concepção, o projeto, a fabricação e a utilização de produtos. Conforme Turner (5), há cinco etapas no ciclo de vida de um projeto, a saber: concepção, viabilidade, projeto (design), execução e comissionamento do produto. Os projetos desenvolvidos no INPE enquadram-se nesta estrutura geral, com definições especiais para cada uma destas etapas, principalmente as de projeto e execução.

Estas etapas são organizadas em fases sequenciais, separadas por reuniões formais de revisão que aprovam ou não a passagem do projeto para a fase seguinte, seguindo um modelo de desenvolvimento *Waterfall* (A) (1). Com a filosofia de maximizar a confiabilidade do produto final, a verificação tanto do projeto quanto da fabricação dos equipamentos de voo é efetuada via modelos, que implementam uma lógica de qualificação de modelos de voo baseada no princípio de qualificação por similaridade, que abordaremos em detalhe na **Seção 3.2**. Na próxima seção, é apresentado em detalhe o ciclo de vida de projetos espaciais segundo diretrizes do padrão **ECSS**. Na Seção 4, a metodologia implementada em dois projetos do INPE será comparada com esta metodologia.

3.1 FASES DO CICLO DE VIDA SEGUNDO O PADRÃO ECSS

A Cooperação Européia para a Normalização Espacial (European Cooperation for Space Standardization – ECSS) constitui-se em uma iniciativa de países europeus, através da Agência Espacial Européia (ESA), agências espaciais nacionais e associações empresariais, para o estabelecimento de normalização na área espacial. Os padrões ECSS são aplicáveis ao gerenciamento, ao projeto e à garantia do produto de programas/projetos na área espacial e buscam promover, além do estabelecimento de padrões comuns, a inter-operacionalidade da infra-estrutura espacial existente nos países participantes da iniciativa (F). Os requisitos estabelecidos nos padrões ECSS estão focados muito mais na definição “do que deve ser atingido” do que na definição do “como se organizar” para a realização do trabalho necessário. Esta filosofia permite que as estruturas organizacionais e os procedimentos

(métodos) existentes se transformem e se desenvolvam conforme suas necessidades sem que os padrões tenham que ser reescritos.

A **Figura 2** apresenta a sequência de fases, o modelo produzido em cada fase e a correspondente reunião de revisão em que o trabalho desenvolvido na fase é avaliado, conforme diretrizes do padrão **ECSS**. No total, são sete fases, contemplando desde a transformação das necessidades do usuário em requisitos, na Fase 0, até a fase de descarte final do sistema, na Fase F, confundindo-se, assim, o ciclo de vida do projeto com o ciclo de vida do produto. A seguir, são descritas com algum detalhe as diversas fases, a filosofia de modelos e as revisões realizadas após cada fase. Nas descrições que se seguem, é dada ênfase especial ao princípio geral que rege o ciclo de vida de projetos na área espacial, qual seja o princípio anteriormente referido de qualificação por similaridade.

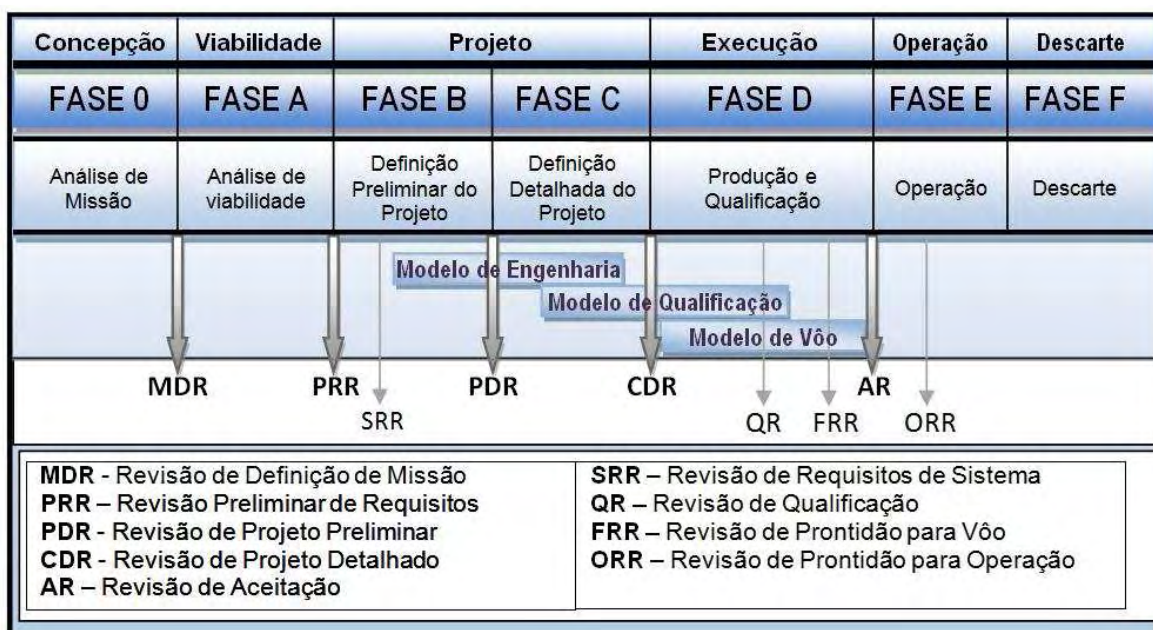


Figura 2 – Principais elementos constituintes do ciclo de vida de um projeto na área espacial, conforme diretrizes do padrão **ECSS-M-ST-10C(6)**.

É importante observar que as fases do ciclo de vida ocorrem para o projeto como um todo e podem se repetir para cada um dos subsistemas e equipamentos resultantes da estrutura de divisão do trabalho.

3.1.1 Fase 0 – Análise de Missão

Nesta fase, a equipe responsável pelo início do projeto, juntamente com o usuário final, buscam identificar os principais requisitos de missão, tais como desempenho esperado, confiabilidade e vida útil do produto, juntamente com restrições de caráter geral, como as relativas ao ambiente operacional. É, também, efetuada uma primeira comparação entre o custo esperado e o orçamento alocado para o projeto.

Como resultado, diferentes conceitos são identificados e, então, expostos aos financiadores do empreendimento. Estes estudos são apresentados na Revisão de Definição de Missão e consolidados em documento equivalente ao termo de abertura do projeto – o Termo de Declaração da Missão (*mission statement*).

Os principais resultados desta fase são a definição de requisitos técnicos preliminares e o Termo de Declaração da Missão (6) (F).

3.1.2 Fase A – Análise de Viabilidade

É continuada a análise de viabilidade dos possíveis conceitos através do aprofundamento da identificação de restrições relativas à implementação do projeto, tais como: custos, cronogramas, organização, operação, manutenção, produção e descarte. Em termos gerais, é avaliada a factibilidade dos diferentes conceitos à luz da capacidade tecnológica, do prazo para execução e do orçamento disponível. Em particular, o risco associado a cada alternativa é estimado.

Os principais resultados desta fase são: a proposição de um primeiro conceito para as configurações de sistema e operações, o estabelecimento das especificações técnicas em nível de sistema, a definição de planos preliminares de gerenciamento, de desenvolvimento e de qualidade, e uma proposta para a filosofia de verificação (6) (F).

3.1.3 Fase B – Definição do Projeto Preliminar

Nesta fase, é consolidada uma proposta de conceito para as configurações de sistema e operações. O projeto preliminar associado é desenvolvido, enfatizando as soluções técnicas escolhidas.

Para produtos de hardware, são desenvolvidos estudos e trabalhos que contemplam, resumidamente, os seguintes resultados: projetos técnicos (elétrico, mecânico, etc...) preliminares; definição da lista preliminar de partes e materiais; definição do plano de fabricação preliminar, contendo os procedimentos para fabricação, montagem, ajustes e integração e a documentação para fabricação do Modelo de Engenharia; projeto e definição dos equipamentos de apoio e testes; plano de verificação e plano de testes do Modelo de Engenharia.

Inicia-se a fabricação do Modelo de Engenharia de equipamentos e subsistemas selecionados. O Modelo de Engenharia deve ser completo e representativo para demonstrar que a solução de projeto atende a todos os requisitos de funcionalidade e desempenho.

Com respeito às funções gerenciais e de garantia da qualidade são finalizados os planos de gerenciamento, de desenvolvimento e de qualidade. São estabelecidas a árvore do produto, a

estrutura analítica do projeto e a árvore de especificações. É consolidado o plano de verificação (6) (F).

3.1.4 Fase C – Definição Detalhada do Projeto

É finalizado, nesta fase, o detalhamento do conceito de sistema e operações selecionado, incluindo o detalhamento dos planos de fabricação, integração e testes para o sistema e seus componentes.

Neste detalhamento são incluídos, o desenvolvimento, a produção, os testes e a pré-qualificação dos componentes críticos e o detalhamento das interfaces entre os elementos.

Para produtos de hardware, são desenvolvidas, resumidamente, as seguintes atividades: fabricação do Modelo de Engenharia de equipamentos e subsistemas selecionados¹; fabricação dos equipamentos de apoio e testes; fabricação do ferramental; qualificação dos processos de fabricação; consolidação da lista de partes e materiais; consolidação do plano de fabricação; consolidação do plano de garantia do produto; documentação para fabricação do Modelo de Qualificação; plano de testes do Modelo de Qualificação.

Nesta fase, o Modelo de Engenharia de equipamentos e subsistemas selecionados é submetido a testes funcionais, térmicos e de compatibilidade eletromagnética, de modo a demonstrar a viabilidade das soluções de projeto adotadas. A Análise de Risco é atualizada (6) (F).

3.1.5 Fase D - Produção e Qualificação

Nesta fase, são realizadas as atividades para a Qualificação, incluindo os testes e atividades de verificação. O Modelo de Qualificação de equipamentos e subsistemas selecionados² é concluído.

Esta fase contempla, resumidamente, as seguintes atividades: fabricação e testes do Modelo de Qualificação; estabelecimento da versão final da documentação para a fabricação do Modelo de Voo; configuração final dos processos e do ferramental de fabricação do Modelo

¹ O Modelo de Engenharia será tão completo quanto exigido pelos requisitos de projeto, no que se refere à demonstração da adequação das soluções de engenharia propostas, podendo abranger o produto em sua integralidade

² Aqui, vale a mesma observação relativa ao Modelo de Engenharia. O Modelo de Qualificação será tão completo quanto necessário para demonstrar a qualificação do produto final, agora, no que se refere às soluções de engenharia e fabricação.

de Voo; definição dos procedimentos de verificação e testes para o Modelo de Voo. Todos os procedimentos de fabricação (processos, inspeções, etc...) e o ferramental associado são “congelados” nesta fase. Os procedimentos de fabricação após devidamente documentados e tendo a sua reprodutibilidade demonstrada são denominados de “qualificados”.

O Modelo de Qualificação de equipamentos e subsistemas selecionados é submetido a testes ambientais e funcionais, de modo a demonstrar a viabilidade das soluções de fabricação e de projeto adotadas. A Análise de Risco é atualizada. São efetuados testes e análises que procuram demonstrar a validação do produto final (6) (F).

Após a demonstração da existência de um modelo qualificado e de um conjunto de processos e procedimentos com total reprodutibilidade, passa-se à fabricação, integração e teste do modelo de voo, seguindo rigorosamente os procedimentos qualificados, tanto via documentação quanto o treinamento de mão-de-obra. O Modelo de Voo é submetido a testes funcionais e ambientais de aceitação. É testada a compatibilidade operacional entre o segmento solo e o espacial (6) (F).

3.1.6 Fase E – Operação

Nesta fase, ocorrem atividades de preparação para o lançamento, o lançamento propriamente dito com as atividades para injeção em órbita e procedimentos iniciais para a operação do sistema.

São realizadas todas as verificações pertinentes às atividades de comissionamento, operações em órbita, suporte à missão e às atividades de operação do segmento solo (6) (F).

3.1.7 Fase F - Descarte

Nesta fase são implementados planos para o descarte do sistema (6) (F).

3.2 MODELOS E SUA FILOSOFIA

A estratégia de verificação implementada em projetos varia conforme as naturezas do projeto e do produto. Em projetos da área espacial são utilizadas estratégias que buscam maximizar a confiabilidade do produto final. O conceito-chave na definição do ciclo de vida de um projeto na área espacial é o de Qualificação por Similaridade.

O ciclo de vida de projeto baseia-se em uma filosofia de verificação que contempla o desenvolvimento, via procedimentos rastreáveis e qualificados, de um modelo que represente o que será o modelo de voo, o Modelo de Qualificação. O Modelo de Qualificação é, então, submetido a testes que emulam as condições de lançamento e operação, em níveis superiores aos que o equipamento de voo experimentará em

operação, de modo a demonstrar que as soluções de engenharia e de fabricação propostas atendem aos requisitos ambientais e de operação definidos. Esta filosofia é implementada em duas etapas: primeiramente, desenvolve-se um modelo para a verificação das soluções de engenharia propostas, o Modelo de Engenharia, para, então, chegar-se ao Modelo de Qualificação, através do qual, tanto as soluções de engenharia quanto as de fabricação são testadas (F).

O Modelo de Engenharia é fabricado a partir de partes e materiais funcionalmente equivalentes àqueles qualificados para aplicação espacial. O Modelo de Qualificação, por sua vez, é fabricado utilizando processos qualificados e o maior número possível de partes e materiais com qualificação espacial, sempre respeitando as restrições de custo e prazo. Um processo é considerado qualificado quando a sua execução, independentemente da necessidade ou não de interveniência de mão-de-obra, produz sempre o mesmo resultado, atendendo a requisitos pré-estabelecidos, advindos de padrões para a área espacial (F).

O Modelo de Qualificação é testado tanto no que se refere a requisitos de desempenho quanto a requisitos ambientais. Os testes ambientais procuram simular as condições de operação do equipamento de voo, tanto no que se refere às variáveis ambientais – níveis de vibração, limites de temperatura e níveis de vácuo – quanto ao tempo previsto de operação em órbita. A origem de toda não-conformidade detectada nos testes do modelo de qualificação é rastreada a processos, partes ou materiais. Uma vez corrigidas todas não-conformidades, considera-se o equipamento como qualificado para voo. O Modelo de Voo é, então, fabricado a partir de versões consolidadas tanto dos processos quanto das listas de partes e materiais, através de mão-de-obra certificada (F).

Os modelos de voo assim fabricados são considerados como qualificados por similaridade e são submetidos a testes funcionais e ambientais em nível de aceitação.

3.3 REVISÕES

Ao final de cada fase é realizada uma reunião de revisão de projeto, em que o trabalho executado ao longo da fase é avaliado quanto à sua qualidade, atendimento de requisitos e de prazos e objetivos. A seguir, são descritas as principais revisões constantes do ciclo de vida de projetos, como preconizado pelo padrão ECSS.

3.3.1 Revisão de Definição de Missão (MDR)

A Revisão de Definição de Missão encerra a Fase 0 e tem por objetivo a aceitação do Termo de Declaração da Missão, a avaliação das especificações técnicas preliminares e

a avaliação de aspectos relativos à organização do projeto. São avaliados os diferentes conceitos de sistema propostos para atendimento da missão. Os conceitos de sistema aprovados serão submetidos a um escrutínio mais aprofundado na fase seguinte (6).

3.3.2 Revisão Preliminar de Requisitos (PRR)

A Revisão Preliminar de Requisitos encerra a Fase A e tem por objetivo a aceitação dos planos preliminares de gerenciamento, engenharia, garantia do produto e especificações técnicas iniciais.

Nesta revisão, é confirmada a viabilidade técnica dos conceitos de sistema propostos e efetuada a seleção de um destes conceitos, juntamente com a definição das correspondentes filosofia de modelos e metodologia de verificação a serem implementadas (6).

3.3.3 Revisão de Requisitos de Sistema (SRR)

Durante a Fase B ocorre a Revisão de Requisitos de Sistema, a qual tem por objetivo:

- liberar as atualizações das especificações dos requisitos técnicos;
- preparar as definições preliminares para o projeto;
- preparar as definições preliminares para o programa de testes (6).

3.3.4 Revisão de Projeto Preliminar (PDR)

A Fase B é encerrada pela Revisão de Projeto Preliminar, a qual tem como objetivo principal avaliar o projeto preliminar do conceito de sistema selecionado na fase anterior, à luz dos requisitos de missão.

Nesta revisão, são aprovados os planos de gerenciamento, desenvolvimento e qualidade. Outros documentos aprovados nesta fase incluem a árvore do produto, a estrutura analítica do projeto e a árvore de especificações, bem como o plano de verificação, incluindo a filosofia de modelos (6).

3.3.5 Revisão de Projeto Detalhado (CDR)

A Revisão de Projeto Detalhado encerra a Fase C e tem como objetivos principais avaliar as soluções de projeto através, principalmente, dos testes realizados no Modelo de Engenharia, bem como o estado de qualificação dos processos críticos para a fabricação do Modelo de Qualificação na fase seguinte.

Nesta revisão, é confirmada a compatibilidade do sistema em desenvolvimento com as interfaces externas. Igualmente, são aprovados a versão final do projeto (design) e os planejamentos de montagem, integração e testes.

A equipe executora deve ser capaz de demonstrar que o projeto encontra-se com maturidade e detalhamento suficientes para que se inicie a fabricação do Modelo de Qualificação (6).

3.3.6 Revisão de Qualificação (QR)

A Revisão de Qualificação ocorre durante a Fase D e tem por objetivo principal demonstrar, via testes do Modelo de Qualificação, que tanto as soluções de engenharia quanto as soluções de fabricação propostas resultam em um produto que atende, com a margem especificada, todos os requisitos definidos para o projeto.

Subsidiariamente, nesta revisão, é avaliada a completude e a integridade dos registros de verificações em todos os níveis. Igualmente, é efetuada uma avaliação crítica da aceitabilidade de “*waivers*” e “desvios”. A equipe executora deve ser capaz de demonstrar que o produto desenvolvido, em nível de qualificação, encontra-se conforme com todos os requisitos inicialmente definidos³ e que o detalhamento de documentação é suficiente para que o(s) Modelo(s) de Voo possa ser fabricado, via treinamento de mão de obra, seguindo exatamente os procedimentos qualificados até a presente fase (6).

3.3.7 Revisão de Aceitação (AR)

A Revisão de Aceitação encerra a Fase D e tem como objetivo principal demonstrar que o(s) Modelo(s) de Voo encontra-se livre de problemas advindos de erros de mão de obra e de outras operações, e pronto para o uso especificado.

Subsidiariamente, nesta revisão, são efetuadas as seguintes checagens: verificação de que todos os itens constantes de lista de produtos a serem entregues encontram-se disponíveis; verificação da compatibilidade da documentação “*as-built*” com a documentação “*as-designed*” à luz da lista de eventos registrados durante a fabricação; avaliação da aceitabilidade de todos os “*waivers*” e “desvios”; verificação de que o

³ Exceto aqueles contornados por “*waivers*” e “desvios”.

certificado de aceitação e a documentação correspondente tenham sido devidamente emitidos (6).

3.3.8 Revisão de Prontidão Para Voo (FRR)

A revisão da Prontidão para o Voo é conduzida antes do lançamento. O objetivo desta revisão é verificar se os Segmentos Espacial e Solo estão prontos para o lançamento (6).

3.3.9 Revisão de Prontidão Para Operação (ORR)

Objetivos principais da Revisão de Prontidão para Operação são:

- verificar a prontidão dos procedimentos operacionais e de sua compatibilidade com o sistema do voo;
- verificar a prontidão das equipes das operações;
- liberar o Segmento Solo para operações (6).

4 COMPARAÇÃO ENTRE O CICLO DE VIDA DE ALGUNS DOS PROJETOS DESENVOLVIDOS NO INPE COM AQUELE PRECONIZADO PELO PADRÃO ECSS.

O INPE, que teve seu desenvolvimento inicialmente ligado ao programa espacial Francês e Europeu, tem seus métodos de gerenciamento, engenharia e garantia do produto influenciados pelos padrões estabelecidos pelos padrões ECSS. Esses padrões, mesmo sendo seguidos em linha gerais, são normalmente adaptados para a realidade de cada missão, seja para se adequar à extensão e complexidade do projeto, seja para se ajustar à disponibilidade e experiência dos recursos humanos existentes.

Essas adaptações tornam cada projeto único, o que em muitos casos dificulta a reutilização dos dados e das metodologias anteriormente desenvolvidas. A variabilidade e reutilização de metodologias vem despertando crescente atenção (3). O Padrão ECSS-S-ST-00C descreve como o conjunto de padrões ECSS podem ser adaptados aos diferentes projetos em função de suas características, riscos, tamanho e complexidade (7). O trabalho de Sauser (8), no qual é exposta a Teoria da Contingência em gerenciamento, procura demonstrar a importância da adaptação do ciclo de vida às características de cada projeto, levando adequadamente em consideração parâmetros como inovação, complexidade, tecnologia, prazos, recursos disponíveis e o impacto cultural.

Passamos, agora, a comparar a metodologia de projetos desenvolvidos no INPE, no que se refere a fases e reuniões de revisão, com a referência sugerida pela pelos padrões ECSS, apresentados na **Seção 3**. A presente comparação limitar-se-á à metodologia definida na Descrição Detalhada de Trabalho (DDT) para o desenvolvimento do Subsistema de Suprimento de Energia do CBERS 3 e 4 (EPSS) (9), e àquela definida para o desenvolvimento do projeto Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial (SIA) (10).

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE A METODOLOGIA EMPREGADA NO PROJETO CBERS 3 – 4 / EPSS E O PADRÃO ECSS

4.1.1 Fases do Projeto CBERS 3-4 / EPSS

Nesta seção será efetuada a comparação entre o ciclo de vida seguido em um subsistema do projeto CBERS 3-4 e aquele definido pelo padrão ECSS.

O projeto CBERS 3-4 envolve a fabricação de dois satélites de sensoriamento remoto no âmbito de uma cooperação na área espacial entre o Brasil e a China. Entre os subsistemas sob responsabilidade do INPE, encontra-se o Subsistema de Suprimento de Energia (*Electrical Power Supply Subsystem - EPSS*). Em princípio, o ciclo de vida de projeto seguido em um subsistema pode apresentar variável interseção com aquele seguido para o projeto como um todo. Por exemplo, em um projeto em que o subsistema de suprimento de energia seja integralmente reaproveitado a partir de algum projeto anterior, o ciclo de vida apropriado ao subsistema poderia apresentar somente a fase de fabricação do modelo de voo e as reuniões de revisão correspondentes. Já, para um projeto totalmente novo, o subsistema seguiria quase que integralmente o ciclo de vida do projeto como um todo. A julgar pela documentação, o projeto EPSS enquadra-se nesta segunda situação.

No subsistema EPSS, a autoridade de projeto é do INPE, enquanto que a autoridade de fabricação foi transferida à indústria, via uma contratação industrial, conforme descrito no documento RBD-SOW-1001/01 (9). No que diz respeito a esta contratação industrial, o trabalho foi estruturado em fases, com uma metodologia adaptada ao fato de que se tratava da fabricação de equipamentos segundo um projeto definido pelo INPE.

As Fases 0 e A foram suprimidas e em seu lugar foi introduzida uma fase denominada de Fase de Planejamento. Nesta fase, são elaborados os principais documentos de

planejamento, tais como o Plano de Desenvolvimento do trabalho a ser executado, contendo cronograma, estrutura de divisão do trabalho e diagrama de atividades, o Plano de Garantia do Produto, o Plano de Recursos Humanos e o Plano de Infraestrutura. Esta adaptação do ciclo de vida decorre, possivelmente, do fato de tratar-se do fornecimento de um subsistema. Não há referência na documentação analisada acerca do ciclo de vida do projeto CBERS como um todo, onde, possivelmente, as atividades previstas nas Fases 0 e A do padrão foram realizadas.

As Fases de Projeto Preliminar (Fase B) e Projeto Detalhado (Fase C) ocorrem conforme o previsto pelos padrões ECSS. Nestas fases, a empresa contratada se articula com o INPE para a execução conjunta do trabalho planejado. A fase de projeto preliminar é focada na preparação da fabricação do Modelo de Engenharia, enquanto que a fabricação e testes propriamente ditos são deixados para a fase de Projeto Detalhado. Nesta última fase, são, também, desenvolvidos e qualificados todos os processos, bem como o ferramental associado, a serem empregados na fabricação do Modelo de Qualificação, na fase seguinte.

A Fase D, Produção e Qualificação, foi dividida em duas fases: uma denominada Fase de Qualificação de Projeto e a outra Fase de Fabricação e Testes do Modelo de Voo.

Na Fase de Qualificação foi fabricado o Modelo de Qualificação dos equipamentos, e desenvolvidas as atividades de Verificação e Qualificação dos mesmos. A Fase de Fabricação e Teste do Modelo de Voo foca na fabricação, na entrega e na aceitação, por parte do INPE, do equipamento que será integrado ao satélite. O trabalho desenvolvido nestas duas fases e a documentação gerada seguem em linhas gerais o sugerido no padrão ECSS para a Fase D .

Concluindo, no caso do subsistema CBERS 3-4 / EPSS, o ciclo de vida de projeto adotado pelo INPE, no que se refere a fases de projeto, apresenta alguma aderência com aquele previsto no padrão ECSS. Observam-se diferenças na divisão e nomenclatura das fases, Fases 0 e A que foram unidas, e a Fase D que foi subdividida em duas. Estas adaptações, aparentemente, ocorreram para atender especificidades da divisão de trabalho do Programa CBERS 3-4.

4.1.2 Reuniões de Revisão do CBERS 3-4 / EPSS

Do mesmo modo que para as fases, as revisões de projeto também sofreram adequações, em parte para se adaptar à divisão de fases adotada, em parte, aparentemente, para atender a especificidades da divisão de trabalho.

As Revisões de Projeto Preliminar e a Revisão de Projeto Detalhado foram realizadas ao final das Fases B e C, respectivamente, como sugerido pelo padrão. A Revisão de Qualificação foi colocada no final da fase denominada Fase de Qualificação de Projeto e a Revisão de Aceitação no final da Fase denominada de Fase de Fabricação dos Modelos de Voo.

A **Tabela 1** apresenta uma comparação entre as fases e revisões previstas pelo padrão ECSS e aquelas planejadas no projeto CBERS 3-4.

ECSS			CBERS 3-4 / EPSS	
Fases	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão
Fase 0	Análise de Missão	Revisão de Definição de Missão	Fase de Planejamento	Revisão de Documentação Gerencial
Fase A	Análise de Viabilidade	Revisão Preliminar de Requisitos		
Fase B	Projeto Preliminar	Revisão de Requisitos de Sistema Revisão de Projeto Preliminar	Projeto Preliminar Preparação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Preliminar
Fase C	Projeto Detalhado	Revisão de Projeto Detalhado	Projeto Detalhado Fabricação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Detalhado
Fase D	Produção e Qualificação	Revisão de Qualificação	Fase de Qualificação: Fabricação do Modelo de Qualificação e Testes de Qualificação s	Revisão de Qualificação
		Revisão de Prontidão para Voo Revisão de Aceitação	Fase de Fabricação do Modelo de Voo e Teste: Fabricação e Testes do Modelo de Voo	Revisão de Aceitação
Fase E	Operação	Revisão de Prontidão para Operação		
Fase F	Descarte			

Tabela 1 – Paralelo entre as Fases de Projeto e Revisões ECSS e as do Projeto EPSS.

Na coluna “ECSS – Reuniões de Revisão” as reuniões de encerramento de cada fase são apresentadas em negrito.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE A METODOLOGIA EMPREGADA NO PROJETO SISTEMAS INERCIAIS PARA APLICAÇÃO AEROESPACIAL E O PADRÃO ECSS

4.2.1 Fases do projeto

O projeto Sistemas Inerciais para Aplicação Aeroespacial (SIA), desenvolvido conjuntamente pelo Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) e o INPE, objetiva o desenvolvimento de produtos para a área de controle, tanto de plataformas orbitais, quanto de veículos lançadores de satélites. Entre os principais produtos, com versões para plataforma orbital e veículo lançador de satélites, encontram-se o girômetro a fibra óptica e o computador de bordo. Especificamente, para plataformas orbitais, estão previstos o sensor estelar e o ambiente de simulação do controle de atitude e órbita de satélites, enquanto que para veículos lançadores estão previstos a unidade inercial e o ambiente para simulação de controle e guiagem de veículos lançadores. Trata-se de um projeto que objetiva a produção de diferentes produtos em nível de modelos de qualificação.

Quando se compara a metodologia empregada no projeto com o padrão ECSS, observa-se que as Fases 0 e A foram substituídas por uma única fase, denominada de Fase de Especificação, enquanto que a Fase D foi reduzida a uma Fase de Qualificação.

Na Fase de Especificação são elaborados os principais documentos de planejamento, tais como: o Plano de Desenvolvimento do trabalho a ser executado, contendo cronograma, estrutura de divisão do trabalho e diagrama de atividades; o Plano de Garantia do Produto; o Plano de Recursos Humanos e o Plano de Infraestrutura.

As Fases de Projeto Preliminar e de Projeto Detalhado apresentam conteúdo próximo ao previsto nos padrões ECSS. A Fase de Projeto Preliminar é focada na preparação da fabricação do Modelo de Engenharia, mas a fabricação deste modelo e os testes, propriamente ditos, são realizados na Fase de Projeto Detalhado. Nesta última fase são, também, desenvolvidos e qualificados todos os processos, bem como o ferramental associado, a serem empregados na fabricação do Modelo de Qualificação na fase seguinte.

A Fase D, Produção e Qualificação, foi substituída por uma Fase de Qualificação, na qual é fabricado o Modelo de Qualificação e são realizadas as atividades de Verificação e Qualificação do mesmo. No Caso do Projeto SIA é nessa etapa que o projeto se encerra, pois o objetivo é a capacitação da indústria nacional de fornecer sistemas inerciais com qualificação para aplicação espacial.

4.2.2 Revisões do projeto

Do mesmo modo que para as fases, no projeto SIA, as revisões de Definição de Missão e Preliminar de Requisitos foram substituídas por uma única revisão, a Revisão de Especificações, coerentemente com a agregação de fases descritas acima.

As demais revisões - Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Qualificação e Aceitação - são implementadas em acordo com as linhas sugeridas pelo padrão ECSS. No Projeto SIA, o planejamento vai até a Revisão de Qualificação, não sendo programadas as demais revisões.

A **Tabela 2** apresenta uma comparação entre as fases e revisões previstas pelo padrão ECSS e aquelas implementadas no projeto SIA.

ECSS			SIA	
Fases	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão	Descrição das Fases	Reuniões de Revisão
Fase 0	Análise de Missão	Revisão de Definição de Missão	Fase de Especificação	Revisão de Especificações
Fase A	Análise de Viabilidade	Revisão Preliminar de Requisitos		
Fase B	Projeto Preliminar	Revisão de Requisitos de Sistema Revisão de Projeto Preliminar	Projeto Preliminar Preparação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Preliminar
Fase C	Projeto Detalhado	Revisão de Projeto Detalhado	Projeto Detalhado Fabricação Modelo de Engenharia	Revisão de Projeto Detalhado
Fase D	Produção e Qualificação	Revisão de Qualificação	Fase de Qualificação: Fabricação do Modelo de Qualificação e Testes de Qualificação s	Revisão de Qualificação
		Revisão de Prontidão para Voo Revisão de Aceitação		
Fase E	Operação	Revisão de Prontidão para Operação		
Fase F	Descarte			

Tabela 2 – Paralelo Entre as Fase e Revisões ECSS e as do Projeto SIA.

Na coluna “ECSS Reuniões de Revisão” as reuniões de encerramento de cada fase são apresentadas em negrito.

5 DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE SOFTWARE

O desenvolvimento de Projetos de *Software*, por suas particularidades, se distingue do desenvolvimento dos Projetos de *Hardware*, principalmente por apresentar maior dificuldade de acompanhamento durante o desenvolvimento e no que se refere às estimativas de custo e prazo e, também, pela dificuldade da realização de testes (G) que possam garantir a sua confiabilidade em voo (11).

Para garantir a confiabilidade do *software*, os processos de Engenharia de *Software* apresentam uma estreita relação com as fases de desenvolvimento do projeto, conforme ilustrado na **Figura 3**.

No trabalho de Genvigir (12), acerca de metodologias de desenvolvimento de *software* no INPE, observa-se que a despeito dos padrões da ECSS serem amplamente conhecidos, não existe uma homogeneidade na aplicação de metodologias.

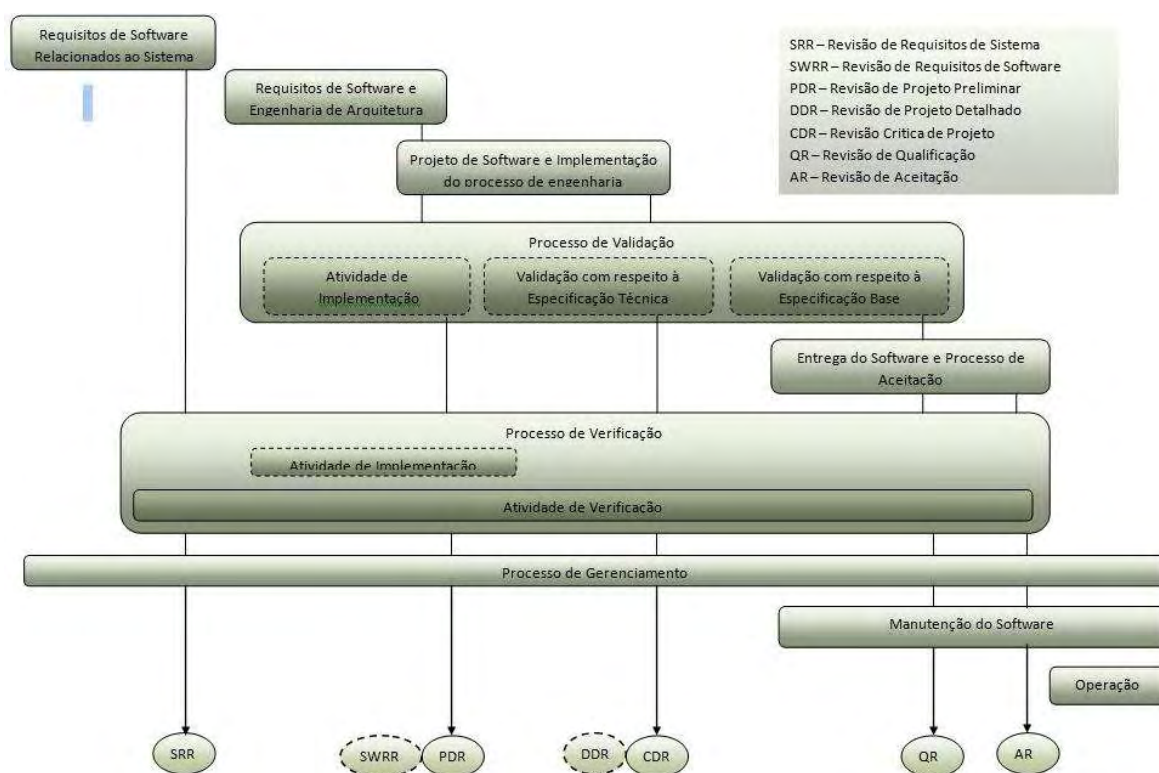


Figura 3 – Ciclo de Vida do *Software*.

Fonte: CSE-300 - 4_08-09-2008.pdf (H) e ECSS –E-ST-40C (13).

A seguir, apresentamos a descrição de uma metodologia apresentada no INPE.

5.1 *Rational Unified Process* - RUP

Entre as metodologias apresentadas nos cursos do INPE está o *Rational Unified Process* (RUP), desenvolvido pela *Rational Software Corporation*, fornecendo boas práticas a serem

seguidas pelos membros da equipe de desenvolvimento de *software* com o objetivo de aumentar a confiabilidade do produto final (11).

O RUP apresenta um desenvolvimento que pode ser customizado e que se divide em fases, assim descritas (I):

Fase de concepção: Durante esta fase, estabelece-se a modelagem do negócio e define-se o âmbito do projeto. A modelagem do negócio deve incluir os critérios de sucesso, a avaliação de risco, uma estimativa dos recursos necessários e um cronograma dos marcos temporais mais importantes. Identificam-se todos os atores externos com que o sistema irá interagir, definem-se e descrevem-se todos os casos de uso. Ao final desta fase há um marco de avaliação, em que decide-se avançar ou efetuar reformulações.

Fase de elaboração: O objetivo desta fase é analisar o domínio do problema e projetar uma arquitetura adequada para o sistema. A escolha da arquitetura deve levar em consideração a totalidade do sistema, o âmbito, as principais funções e os requisitos não funcionais.

Fase de construção: Durante a fase de construção, desenvolve-se incrementalmente o produto completo que, após, será avaliado pelos usuários. No final desta fase, decide-se se o produto está pronto para entrar em operação.

Fase de transição: A partir desta fase, o sistema já se encontra pronto e inicia-se a implantação do sistema para o usuário ou comunidade de usuários. Nesta fase é possível o lançamento de versões beta, que operam em paralelo com um eventual sistema mais antigo, e se prestam ao treinamento de usuários e mantenedores do sistema.

A experiência tem demonstrado que a metodologia RUP implementa um processo de desenvolvimento robusto e bem definido, embora bastante trabalhoso para projetos de *software* de pequeno porte. Ela tem se mostrado particularmente útil para projetos nos quais é preciso manter registro constante dos fluxos de trabalho.

6 DISCIPLINAS AUXILIARES

Entre as ferramentas que são utilizadas no Gerenciamento de Projetos citamos as seguintes.

6.1 ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO (EAP)

Conforme o PMI (2), a EAP é uma decomposição hierárquica orientada à entrega do trabalho a ser executado permitindo atingir os objetivos e criar as entregas necessárias. Ela é organizada e definida em consonância com o escopo do projeto e subdivide o trabalho do projeto em partes menores e mais facilmente gerenciáveis. Cada nível descendente da EAP representa uma definição cada vez mais detalhada do trabalho do projeto. É possível agendar, estimar custos, monitorar e controlar o trabalho planejado contido nos componentes de nível mais baixo denominados pacotes de trabalho.

A EAP representa o trabalho especificado na declaração do escopo. Os componentes que a compõem auxiliam as partes interessadas a visualizar as entregas do projeto (2).

6.2 GERENCIAMENTO DE CONFIGURAÇÃO

O Gerenciamento de Configuração é a parte integrante do gerenciamento de projetos que se ocupa do controle de mudanças e das interfaces em um projeto. Disciplina os processos de submissão, acompanhamento, revisão e aprovação de mudanças. Define os níveis de aprovação para autorização de mudanças e fornece métodos para validação das mudanças aprovadas.

O sistema de gerenciamento de configuração é também um conjunto de procedimentos formais documentados, usados para:

- Identificar e documentar as características funcionais e físicas de um produto ou componente,
- Controlar quaisquer mudanças feitas nessas características,
- Registrar e relatar cada mudança e o andamento de sua implementação,
- Dar suporte à auditoria dos produtos ou componentes para verificar a conformidade com os requisitos.

O sistema de controle de mudanças é parte do gerenciamento de configuração. O sistema de controle de mudanças é um conjunto de procedimentos formais documentados que define como as entregas e a documentação do projeto são controladas, mudadas e aprovadas.

O sistema de controle de mudanças permite comparar a configuração do produto como esperado e a configuração do produto como fabricado e, desta forma, identificar e registrar a existência de discrepâncias e as ações tomadas para sua correção, além da existência e controle de Desvios e *Waveirs*.

7 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Na literatura encontram-se as seguintes definições para os processos de Verificação e Validação:

- Verificação é o processo para demonstrar que as saídas de cada fase do ciclo de vida estão de acordo com o que foi especificado no planejamento.
- Validação é o processo de confirmação que a especificação de uma fase ou do sistema completo é apropriada e consistente com os requisitos do cliente (G).

Ou ainda:

- Verificação é a confirmação pela análise e pela obtenção de evidências objetivas que os requisitos foram cumpridos (8402:1994 do ISO).
- Validação é a confirmação pela análise e pela obtenção de evidências objetivas que os requisitos particulares para um específico uso pretendido estão cumpridos (8402:1994 do ISO) (14).

Segundo o padrão, estes são processos semelhantes e complementares, portanto os processos de Verificação e Validação seguem fluxos de processos similares, diferindo nos níveis de requisitos a que são aplicados (15).

Verificação é um processo que faz parte da Engenharia de Sistemas e tem por objetivo determinar se uma parte, um componente, um subsistema, um instrumento, ou um sistema completo satisfaz suas especificações e será capaz de operar corretamente em suporte à missão.

O processo de Verificação recorre a variados Métodos que dependem do projeto, do requisito a ser verificado, de sua importância, do risco, dos custos e dos prazos associados. Os Métodos podem ser:

- Teste: Consiste na operação do sistema real sob determinadas condições. Há duas categorias de teste: Testes Funcionais e Testes Ambientais. Os dois são realizados alternadamente ao longo de um programa de testes. Os Testes Funcionais são normalmente realizados no ambiente normal, enquanto que os Testes Ambientais demandam ambientes especiais (vibração, vácuo, temperaturas altas ou baixas, acústico).
- Análise: A verificação por análise é realizada no lugar ou em complemento ao Teste. As técnicas utilizadas incluem: análise de engenharia de sistemas, análises estatísticas ou qualitativas, simulações computacionais ou com equipamentos, e modelagem computacional.
- Demonstração: Utiliza técnicas reais de demonstração, normalmente aliadas a requisitos de manutenibilidade e "*human engineering*".
- Similaridade: Consiste na revisão de dados de verificação coletados de um equipamento de configuração semelhante e destinado a uma aplicação também equivalente. Os dois equipamentos devem ser semelhantes ou idênticos em projeto e processo de manufatura. Nestes casos, os dados são sempre de um equipamento que tenha sido qualificado em níveis idênticos ou mais rigorosos.
- Inspeção: Consiste na avaliação física do equipamento e/ou de sua documentação para verificar características do projeto, tais como: dimensões físicas, limpeza, rugosidade, presença de arestas cortantes, funcionamento de mecanismos, alinhamentos, etc.
- Simulação: Consiste na verificação baseada no uso de equipamentos e *softwares* que não sejam de voo.

- Validação de registros: Consiste na verificação baseada em registros de manufatura e aceitação final com o intuito de confirmar as características construtivas e o processo de fabricação dos equipamentos de voo (J).

Os processos de verificação e validação desenvolvem-se em paralelo com as demais atividades, ao longo de todas as fases do projeto, da definição dos requisitos do sistema até a operação do sistema. O processo de verificação é apresentado na **Figura 4** e consiste nas atividades de planejamento, execução, emissão de relatórios, controle e fechamento.

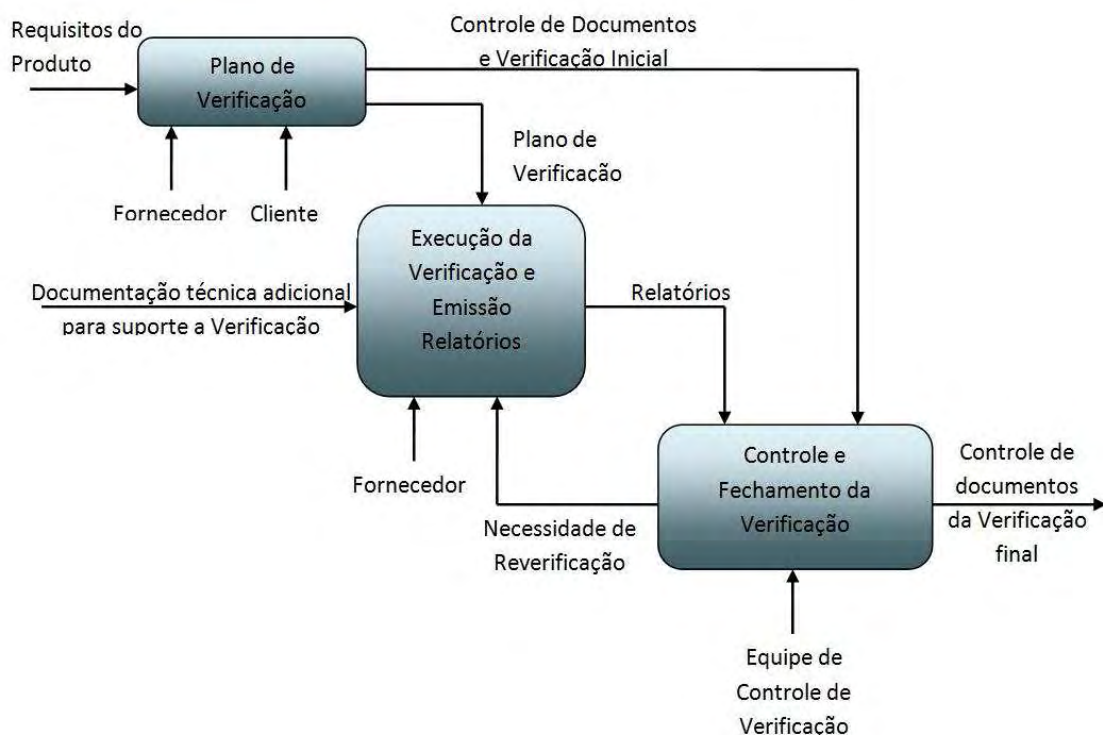


Figura 4 – Processo de Verificação.

Fonte : ECSS-E-ST-10-02, *Space Engineering – Verification* (15).

As atividades de Planejamento explicam o escopo da verificação, definindo quais produtos e requisitos a serem verificados e os métodos a serem utilizados, bem como um cronograma das verificações.

A atividade de Execução e Emissão de Relatórios realiza as atividades de verificações nos diferentes níveis da estrutura do produto e estágios de realização, podendo ser realizada em diferentes modelos. A partir dos resultados e evidências observados serão feitos os relatórios.

A atividade de Controle e Fechamento analisa a execução da Verificação e a sua adequação e, baseada nas evidências, encerra o processo ou solicita nova verificação (15).

8 CONCLUSÃO

Os Sistemas Espaciais, devido à sua complexidade, riscos, prazos e custos, seguem processos de desenvolvimento robustos, baseados nos princípios da Engenharia de Sistemas e da Gestão de Projetos. Esses processos de desenvolvimento devem ser previamente planejados e corretamente implementados, levando sempre em consideração a cultura e o conhecimento das equipes envolvidas.

A metodologia utilizada nos projetos do INPE avaliados neste trabalho reflete essa realidade – em ambos os projetos analisados uma dada metodologia (ECSS) foi customizada para cada aplicação, seja aglutinando Fases ou subdividindo uma Fase em outras novas. Igualmente, durante a realização deste trabalho, constatamos que o desenvolvimento de *software* também apresenta uma série de adequações, como as observadas no desenvolvimento de *hardware*.

Esse processo de adaptação a cada projeto, desde que baseado em uma análise cuidadosa das características do projeto, como o recomendado por Sauser (8) , pode ser visto como um ponto positivo, permitindo adaptação às características específicas da organização executora. Com isso, é possível a melhoria dos resultados e a adequação dos procedimentos às particularidades das organizações, cultura e legislação existentes no Brasil.

Finalmente, observamos que em projetos como o *CBERS 3-4 / EPSS* e o *SIA*, onde existe uma grande interface com outras organizações, há iniciativa do INPE em divulgar essas metodologias para seus fornecedores. Neste processo, ocorre transferência de metodologias de gestão e garantia do produto, que poderão melhorar o desempenho dessas organizações, gerando benefícios indiretos em outras atividades e produtos que essas empresas venham a produzir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LOUREIRO, G. A. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. Loughborough, USA: Loughborough University, 1999.
- (2) PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **PMbok um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos**. 3. ed. Pasadena, PA, EUA , 2004.
- (3) AMBRÓSIO, A. M.; MATTIELLO-FRANCISCO, F.; CARDOSO, L. S.; SANTIAGO, V.; ARIAS, R.; VIJAYKUMAR, N. L.; LOUREIRO, G. **Experiências em projetos e uso de técnicas de verificação e validação de software em aplicações espaciais no INPE**. São José dos Campos: INPE, 2007. 45 p. (INPE-15182-NTC/374). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.08.12.33>>. Acesso em: jun. 2009.
- (4) DASCH, P. **Space sciences, space business**. v. 1. New York, USA: Editora Macmillan Reference, 2002. p. 162.
- (5) TURNER J.R. Towards a theory of project management: the nature of the project governance and project management. **International Journal of Project Management**, v. 24, p. 93–95, 2006. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ijproman Acesso em: jun. de 2009.
- (6) EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-M-ST-10C-** space project management, project planning and implementation. Noordwijk, The Netherlands, 2009.
- (7) EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-S-ST-00C-** ECSS Systems - Description, implementation and general requirements, Noordwijk, The Netherlands, July 2008.
- (8) SAUSER, B.J., REILLY, R.R., SHENHAR, A.J. Why projects fail? how contingency theory can provide new insights. **International Journal of Project Management**, 2009. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ijproman Acesso em: jun. de 2009.
- (9) INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL (INPE). **RDB-SOW-1001/01**, DDT de desenvolvimento, fabricação e testes de equipamentos do subsistema de suprimento de energia elétrica dos satélites CBERS 3 e 4. São José dos Campos, Brasil, 2004.
- (10) INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL (INPE), **SIA-1000-GER-0007-/00**, plano de desenvolvimento do projeto SIA , São José dos Campos, Brasil, 2008.
- (11) SOMMERVILLE, I. S. **Engenharia de software**. 8. ed. São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil, 2008. p. 62.
- (12) GENVIGIR, E. C.; VIJAYKUMAR, N.L. **Uma análise sobre as práticas de engenharia de software adotadas no desenvolvimento de software em aplicações espaciais no INPE**. São José dos Campos: INPE , 2009. Apresentação em maio de 2009 no LIT.

- (13) EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-ST-40C**, Space engineering – software, Noordwijk, The Netherlands, 2009.
- (14) EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-P-001A**, Rev_1 Glossary of terms, Noordwijk, The Netherlands, 1997.
- (15) EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-ST-10-02**, Space engineering – verification, Noordwijk, The Netherlands, 2009.

ANEXO A

REFERÊNCIAS CURSOS

- (A) CSE 201 - SysEng_01_0601.ppt
- (B) CSE 200 - 140_Satelites_P1.4_v3_2008.pdf
- (C) CSE 200 - 120_Satelites_P1.2_v3_2008.pdf
- (D) CSE 200 - 160_Satelites_P2.1.1_v2_2008.pdf
- (E) CSE 403 - ESA-SME-training2007_Quality-Assurance.ppt
- (F) CSE-300 - 4_08-09-2008.pdf
- (G) CSE 201 - TesteDeSw-aulaltaGeilson-dispon.ppt
- (H) CSE-300 - 4_30-06-2008.pdf
- (I) CSE 309 – Teoria RUP.ppt
- (J) CSE 200 - 270_Satelites_P2.9_v2_2008.pdf