

GESTÃO DA GARANTIA DA QUALIDADE A NÍVEL DE SISTEMA DA MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES DE SISTEMAS COMPLEXOS - SATÉLITES

Adalberto Coelho da Silva Jr. (INPE)

adalberto@lit.inpe.br

Geilson Loureiro (INPE)

geilson@lit.inpe.br



As atividades de Montagem, Integração e Testes de Satélites (MIT) são uma seqüência lógica e interrelacionada de eventos. O principal objetivo desta fase de desenvolvimento de programas espaciais é conseguir um alto grau de confiança que o Satélite cumpra os seus requisitos funcionais. De forma a atingir este objetivo é fundamental não apenas ter uma ótima infra-estrutura de teste e um adequado Plano de MIT, mas também uma qualificada e eficiente equipe de teste; e por sua vez é necessário também estabelecer um Plano de Garantia da Qualidade vinculado a MIT, o qual coordena e gerencia estas atividades. Este artigo apresenta o processo de gerenciamento da garantia de qualidade, nas atividades de MIT, a nível de sistema, utilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), executadas no Laboratório de Integração e Testes (LIT), o único centro de testes de satélite da América do Sul. Este trabalho apresenta a organização da Garantia de Qualidade de Satélite (LIT MIT QA), registros e controles utilizados, atividades principais desempenhadas, e questões relacionadas às atividades de MIT QA durante a Campanha de Lançamento de Satélites, assim como a afetas aos equipamentos de suporte de testes (GSE) executadas em programas espaciais brasileiros e internacionais

Palavras-chaves: MIT, INPE, LIT, QA, GSE

1. Introdução

Esta monografia tem como objetivo apresentar o modelo de gestão da Garantia da Qualidade, a nível de sistema, implementado no Laboratório de Integração e Testes (LIT), pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Aplicando-se este modelo primordialmente no desenvolvimento e implementação de processos de controle inseridos nas atividades de Montagem, Integração e Testes (MIT) de Satélites, a nível de sistema, constantes do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE – 2005-2014), dentro da área da Garantia da Qualidade de sistemas de alta complexidade.

A seção 2 apresenta uma retrospectiva histórica da Montagem, Integração e Testes (MIT) no LIT/INPE. Na seção 3 discorre-se sobre os conceitos gerais relacionados as atividades de MIT e na seção 4 apresenta-se o programa de Garantia da Qualidade associado a Satélites.

2. Retrospectiva Histórica de MIT / “Background”

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é responsável pelo desenvolvimento dos satélites brasileiros (Segmento Espacial), constantes do Plano Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), assim como pelo Segmento Solo (Estações de controle de monitoramento), e pelas atividades de Montagem, Integração e Testes (MIT) destes satélites, executadas no Laboratório de Integração e Testes (LIT).

O INPE é funcionalmente parte do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), tendo iniciado suas atividades no ano de 1961.

O LIT foi especialmente projetado e construído para cumprir as tarefas relacionadas à MIT de satélites constantes do Programa Espacial brasileiro. As fases de concepção, projeto, construção e implementação deste laboratório se deram entre 1982 e 1987.

Nos anos subseqüentes, o LIT realizou todos os testes de desenvolvimento e qualificação de subsistema e sistema do primeiro satélite brasileiro – SCD1 (satélite de Coleta de Dados), constante do Programa “Missão Espacial Completa Brasileira” – MECB, e lançado com sucesso pelo foguete americano Pégasus, no Cabo Canaveral (EUA), em 9 de fevereiro de 1993, estando até hoje em funcionamento no espaço.

Nos anos seguintes o LIT envolveu-se na qualificação dos satélites brasileiros – BRASISAT B1/B2 (satélites de comunicação – 1994/1995), SCD2A(1997), SCD2 (1998), e SACI-1 e SACI-2 (satélite de aplicação científica – 1999) e SATEC (satélite tecnológico – 2003).

Em cooperação com a China o INPE desenvolveu os satélites de sensoriamento remoto CBERS 1(China Brazil Earth Resources Satellite) - lançado com sucesso em 14/Outubro/1999 por um foguete chinês da série Longa Marcha, da base de Taiyuan na China. O CBERS 2 – lançado em 2003 e por fim o CBERS 2B lançado em 2007, todos com sucesso.

Em acordo com a Argentina o INPE/LIT envolveu-se nos testes relacionados aos satélites de aplicações científicas – SAC B (1996), SAC C (2000) e SAC D (a ser lançado em 2010).

As atividades do LIT compreendem não somente os aspectos de MIT, mas também os relacionados a:

- Definição e testes de componentes;
- Pintura espacial;

- Soldagem com qualificação espacial;
- Testes com antenas;
- Controle e monitoramento ambiental das áreas de testes (contaminação, temperatura, umidade) e, Metrologia elétrica, mecânica e física.

3. Montagem, Integração e Testes de Satélites

3.1 Conceitos e Definições

Programas Espaciais, em geral, apresentam um longo desenvolvimento temporal, no qual seqüencialmente diversas fases devem ser cumpridas, dentre elas destaca-se a Montagem, Integração e Testes (NASA SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK, 1995).

As atividades de montagem, integração e testes (MIT) de um satélite artificial a ser colocado em órbita da Terra correspondem à implementação de um conjunto de procedimentos e à execução de uma seqüência de eventos logicamente inter-relacionados, cujo propósito é obter um alto grau de confiança no funcionamento do satélite, quando este estiver em órbita, ou seja, garantia de que todos os parâmetros de projeto e de desempenho especificados serão alcançados.

Todas as condições ambientais, nas quais o satélite fica sujeito, desde seu lançamento até sua operação em órbita, são simuladas em laboratório.

Condições simuladas compreendem as vibrações de origem mecânica e acústica, que ocorrem durante seu lançamento; as condições de vácuo e temperatura adversas, que ocorrem durante sua operação em órbita e a susceptibilidade às radiações eletromagnéticas, que ocorrem desde o lançamento até sua vida orbital.

O diagrama de fluxo apresentado na figura 1 ilustra uma seqüência padrão das atividades de MIT. Sendo também mostrado de forma sintética as atividades que são desenvolvidas antes de se iniciar as atividades de MIT.

Portanto, em MIT, o termo montagem está relacionado às operações mecânicas executadas para posicionar, fixar e interligar fisicamente cada uma das unidades pertencentes ao satélite.

O termo integração compreende a interligação e verificação funcional entre as unidades, que formam um subsistema, e entre os subsistemas, que compõem o sistema satélite, obtendo, assim, um conjunto harmonioso que cumpra os requisitos de projeto.

O termo teste está relacionado a toda a seqüência de ensaios realizados com o intuito de verificar se os requisitos de projeto são satisfeitos e se o satélite sobreviverá tanto aos esforços do lançamento, quanto à operação em órbita, durante o tempo estimado de vida do satélite.

O objetivo dos testes ambientais é expor, não somente o satélite, bem como individualmente todos os seus subsistemas e unidades, às mesmas condições ambientais que lhes serão exigidas desde o instante do seu lançamento até o término de sua vida útil em órbita.

Os ensaios são encadeados de forma a otimizar a execução das operações, a minimizar os riscos impingidos ao satélite, aumentando a garantia de que o satélite foi montado e integrado corretamente, verificando que todo o satélite está funcionando tal como especificado.

Os testes funcionais do satélite prosseguem, na Base de Lançamentos, com duas diferenças básicas em relação às fases anteriores: enchimento dos tanques do satélite com seu propelente e a presença do lançador em si.

De fato, a MIT só termina a poucos segundos do instante de ignição dos motores do lançador, quando o satélite está operando na configuração de lançamento.

Para a grande maioria dos satélites, a configuração de lançamento significa alimentar eletricamente o satélite apenas através das suas baterias internas, ligando somente os subsistemas essenciais, e transferir o comando do sistema para o computador de bordo.

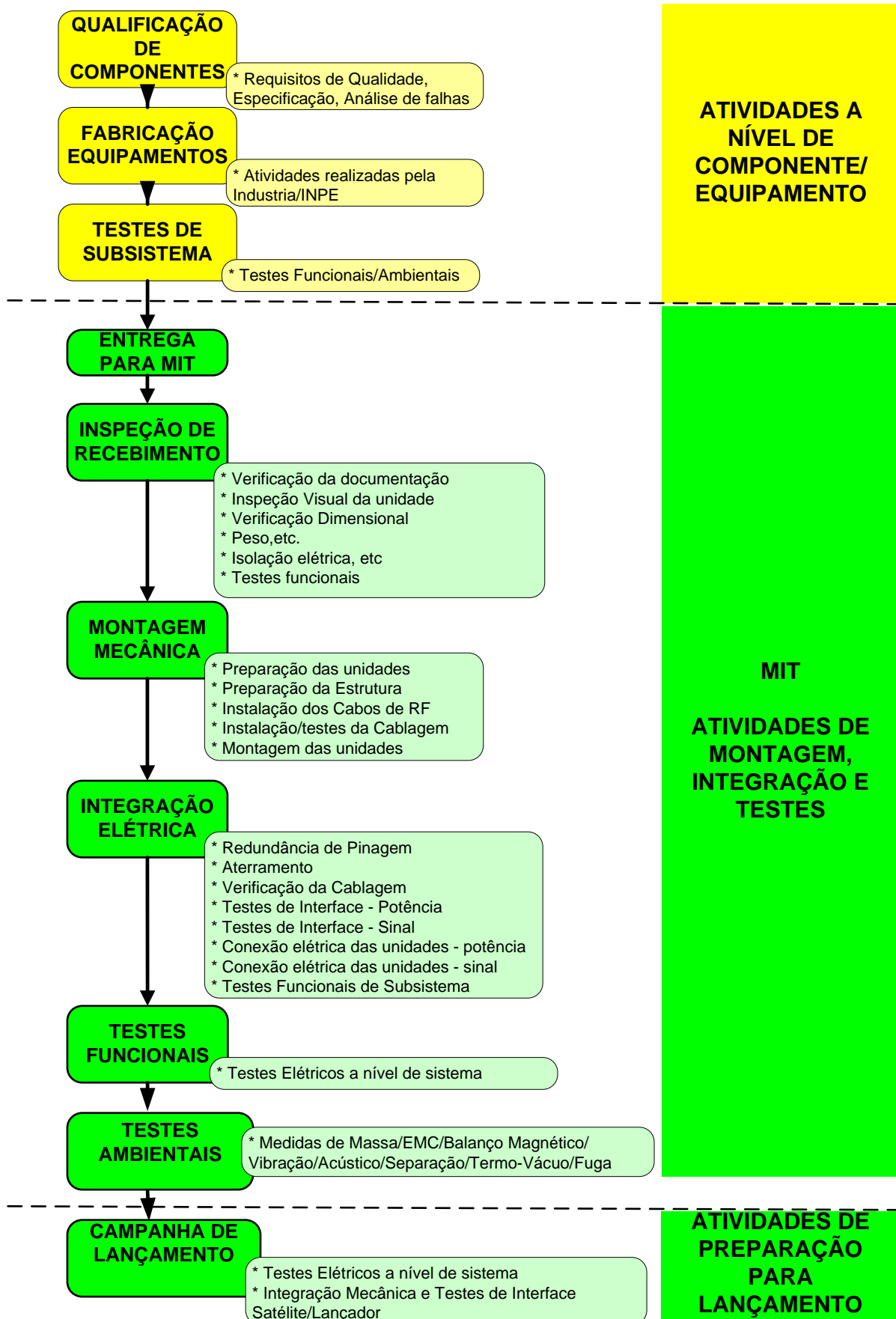


Figura 1 : Seqüência Geral de Qualificação de Satélites

Fonte : Adaptação do manual NASA Systems Engineering Handbook.(1995)

4. Programa de Garantia da qualidade associado

O LIT possui na sua estrutura organizacional um setor dedicado a gerir atendimento aos requisitos de Garantia de Qualidade associados a todos os testes realizados nas suas instalações em todas as áreas.

Em especial na área espacial, e na MIT de satélites em particular, mais do que em qualquer outra área, a garantia da qualidade é de fundamental importância para assegurar a qualidade na execução de todas as atividades realizadas no e com o satélite, de forma a aumentar a probabilidade de sucesso da missão (NASA SPACE PRODUCT ASSURANCE, 2002).

Para os programas espaciais em desenvolvimento no INPE/LIT foi desenvolvido um Plano de Garantia de Qualidade associado às atividades de MIT (GQ MIT), – desde o recebimento das unidades de vôo do satélite nas dependências do LIT, passando por todas as fases de montagem, testes funcionais e ambientais, incluindo o seu transporte para Base de Lançamento, assim como o programa de testes na Campanha de Lançamento.

Sendo que as atividades de Garantia da Qualidade (GQ – MIT) têm o seu início já na fase A do desenvolvimento de projeto espacial, com a análise de requisitos, indo até o lançamento do satélite, conforme mostrado na figura 2 (ESA QUALITY ASSURANCE, 2002), (NASA SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK, 1995).

As fases C e D concentram a execução do Plano de Garantia da Qualidade, envolvendo os diversos modelos sistêmicos de qualificação do satélite: EM (modelo elétrico); SM (modelo estrutural), TM (modelo térmico) e FM (modelo de vôo). Perpassando por todas as revisões de sistema: PDR (preliminar design review), CDR (critical design review), PSR (pre-shipment review) e FRR (flight readiness review).

Nos itens seguintes descreve-se a organização deste Plano, suas atividades principais e a documentação associada.

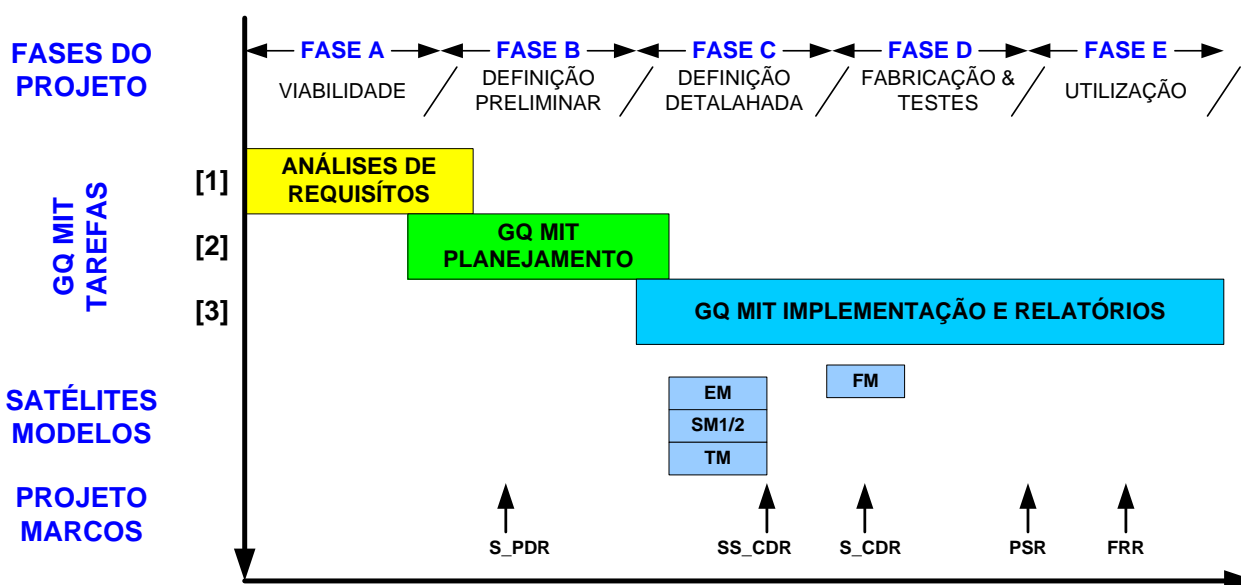


Figura 2 – Garantia da Qualidade x Fases do programa x Marcos

Fonte : Adaptação do manual NASA Systems Engineering Handbook.(1995)

4.1 Plano da Garantia da Qualidade – MIT – Organização

A Garantia da Qualidade do LIT, para as atividades de MIT de satélite, tem como escopo os seguintes pontos principais:

- Preparar o Plano da Garantia para as atividades de MIT.
- Conduzir todas as atividades da Garantia da Qualidade durante o MIT do satélite.
- Coordenar todas as reuniões de revisão realizadas antes e após os testes ou outras atividades definidas no plano de MIT e de atividades ou testes especiais.
- Dar suporte ao grupo de Gerenciamento da Garantia do Produto do Programa nos assuntos relacionados à garantia da qualidade durante o MIT.

O Plano da Garantia da Qualidade para MIT está dividido em seis grandes áreas de atuação, como pode ser visto na figura 3, tendo a sua composição apresentada nos itens seguintes desta seção.

- Atividades Gerais;
- Atividades de suporte às Revisões de Projeto;
- Atividades de Controle das atividades de MIT;
- Atividades relacionadas diretamente aos testes com o satélite;
- Atividades relacionadas aos meios de teste – EGSE/MGSE;
- Atividades durante a Campanha de Lançamento.

4.2 Plano da Garantia da Qualidade – MIT – Atividades

4.2.1 Atividades Gerais

São as seguintes às atividades gerais desenvolvidas pela Garantia da Qualidade – MIT:

- Planejamento;
- Controle de Certificação;
- Controle de Configuração;
- Controle de Metrologia;
- Controle de Manuseio, Empacotamento, Transporte e Conservação;
- Inspeção de Recebimento;
- Controle de Armazenagem;
- Controle de Processos;
- Tratamento de Não-Conformidades;
- Revisão de Anomalia;
- Controle de Remoção Temporária;
- Controle de Manutenção;
- Controle de Limpeza e Contaminação;
- Controle de Propriedade;
- Controle das Instalações de Teste;
- Inspeção de Aceitação de Subsistema.

4.2.2 Testes

Durante a fase de testes funcionais e ambientais a Garantia de Qualidade – MIT – executa as seguintes atividades:

- Revisão de Planos de Teste/Procedimentos;

- Revisão de Preparação a Teste;
- Acompanhamento dos Testes;
- Revisão dos Resultados dos Testes;

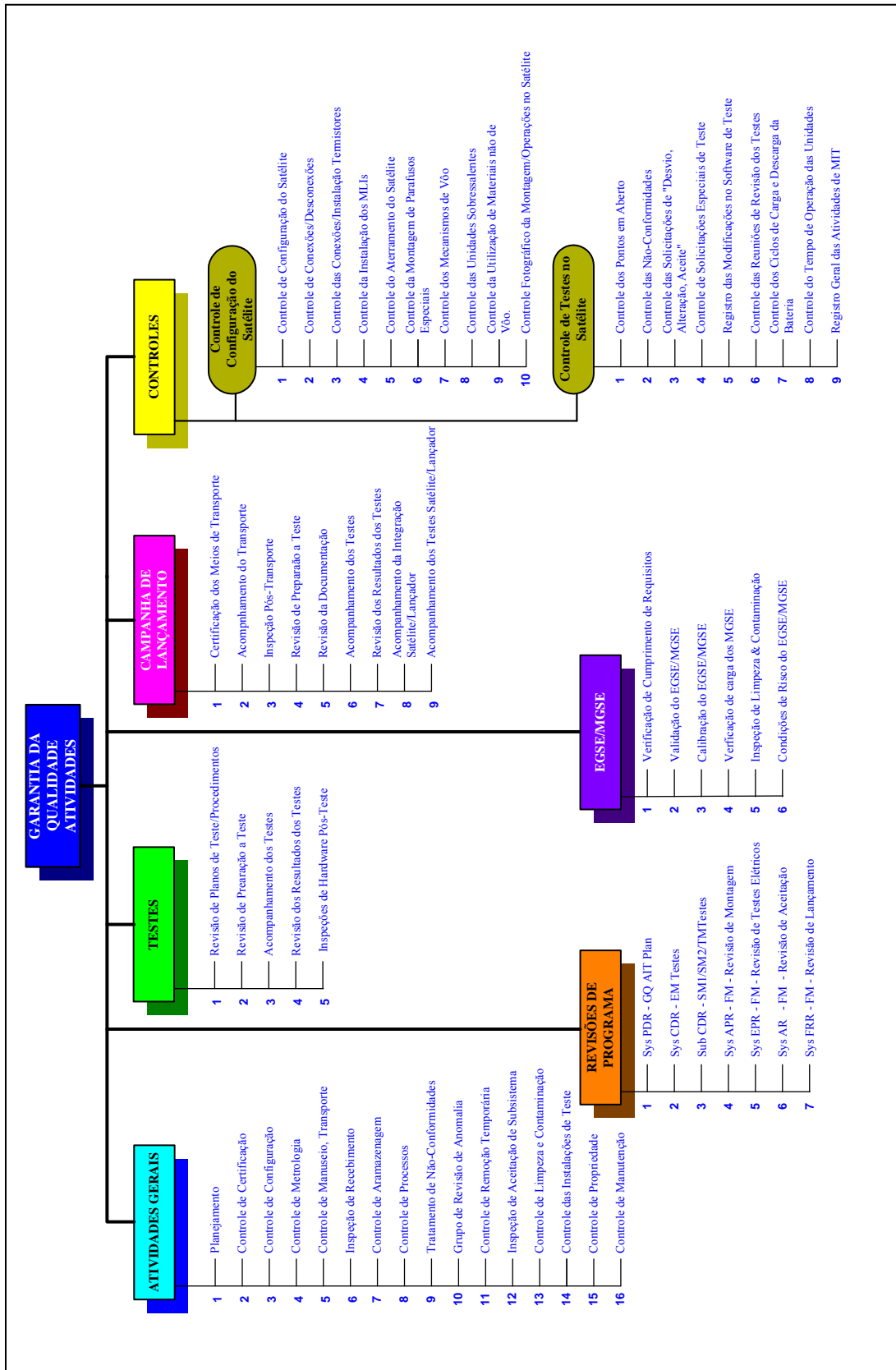


Figura 3 – Garantia de Qualidade – MIT – Árvore de Atividades

Fonte : Autor (2008)

4.2.3 Controles/Registros

De forma a registrar e controlar adequadamente todas as atividades de QG MIT, sejam as gerais, como as ligadas diretamente aos testes e ao status do satélite os seguintes 19 registros são empregados:

- Registro Geral das Atividades de MIT;
- Controle dos “Pontos em Aberto”;
- Controle das Não Conformidades;
- Registro das Solicitações de “Desvio, Alteração, Aceite”;
- Registro de Solicitações Especiais de Teste;
- Registro das Modificações no Software de Teste;
- Controle das Reuniões de Preparação e Revisão dos Testes;
- Controle das Conexões/Desconexões dos Conectores de Vôo;
- Controle dos Ciclos de Carga e Descarga da Bateria de Vôo;
- Controle da Configuração do Satélite;
- Controle das Unidades Sobressalentes de Vôo;
- Controle do Status de Conexão dos Termistores;
- Controle do Status de Montagem dos MLIs;
- Controle do Aterramento do Satélite;
- Registro da Montagem de Parafusos Especiais;
- Controle do tempo de Operação das Unidades;
- Controle dos Mecanismos de Vôo;
- Controle da Utilização de Materiais não de Vôo;
- Controle Fotográfico da Montagem/Operações com o Satélite.

4.2.4 Equipamentos de Suporte de Teste

Em relação aos Equipamentos de Suporte – Elétricos e Mecânicos (EGSE/MGSE) a Garantia de Qualidade – MIT – executa as seguintes atividades:

- Verificação do status da manutenção do EGSE/MGSEs;
- Validação do EGSE/MGSE;
- Calibração do EGSE/MGSE;
- Condições de Limpeza do EGSE/MGSE;

- Condições de Risco do EGSE/MGSE.

4.2.5 Campanha de Lançamento

Em termos das atividades a serem realizadas durante as operações de MIT na Base de Lançamento a Garantia de Qualidade – MIT – executa as seguintes atividades:

- Certificação dos Meios de transporte;
- Revisão de Planos de Teste/Procedimentos;
- Revisão de Preparação a Teste;
- Acompanhamento dos Testes;
- Revisão dos Resultados dos Testes;
- Acompanhamento da Integração Satélite/Lançador;
- Participação da Revisão de Aptidão Vôo.



4.2.6 Suporte às Revisões de Projeto

As Revisões de Projeto, em nível de sistema, são conduzidas de acordo com o Plano de Desenvolvimento do satélite. Usualmente são praticadas quatro revisões:

- *Revisão de Montagem*: após o término da fase de montagem das unidades no satélite, verificando se o satélite está pronto para iniciar a fase de testes elétricos.
- *Revisão de Testes Elétricos*: após o término da fase de testes elétricos, verificando se o satélite está pronto para iniciar a fase de testes ambientais.
- *Revisão de Aceitação*: ao fim das atividades de MIT, verificando se o satélite está pronto para transporte para a Base de Lançamento.
- *Revisão de Aptidão ao Voo*: após o término da fase de testes executada durante a campanha de lançamento, verificando se o satélite está pronto para lançamento.

Toda a documentação proveniente das diversas áreas de atuação da Garantia de Qualidade – MIT, conforme descritas nos itens anteriores, são compiladas, estruturadas e sintetizadas pelo responsável pela Garantia da Qualidade como suporte às discussões e análises durante essas revisões, de forma verificar e comprovar o “status” real do satélite em termos de “hardware” e “software”.

4.3 Plano da Garantia da Qualidade – MIT – Documentação

A estrutura da documentação do Plano da Garantia da Qualidade – MIT – consiste basicamente de 4 partes:

- *Plano de GQ – MIT*: que corresponde ao documento principal do programa da garantia da qualidade de MIT.
- *Procedimentos de GQ – MIT*: os quais descrevem os métodos para assegurar a disponibilidade, a precisão e validade dos dados obtidos na execução do Plano de GQ MIT.
- *Modelos de Controle/Registro de GQ – MIT*: os quais estruturam todos os controles/registros a serem efetuados durante o MIT.
- *Documentação de Revisão*: sumário e compilação de toda a documentação obtida pela GQ – MIT durante o MIT até o momento de cada Revisão.

5. Conclusão

O processo da garantia de qualidade de AIT descrito nas seções precedentes reflete as lições aprendidas durante a execução das atividades de AIT no INPE/LIT, em satélites brasileiros, assim como em parcerias internacionais, lançados com sucesso – SCD1/SCD2A, CBERS FM2, CBERS FM2B e outros. Estando este processo em constante aperfeiçoamento refletindo a experiências acima mencionadas assim como em função de permanente intercâmbio com agências e instituições espaciais internacionais.

Referências

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. *ESA Quality Assurance*. ECSS-Q-20B, 2002.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *NASA Space Product Assurance*. LAPG-5300.1, 2002.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *NASA Systems Engineering Handbook*, SP-610S, 1995.