



Métricas/indicadores para avaliação da prontidão de organização de AIT de sistemas espaciais

Isomar Lima¹, Geilson Loureiro², Andreia Sorice Genaro³, José Wagner⁴

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Aluno de Doutorado do curso de Engenharia e Tecnologias Espaciais - CSE

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Laboratório de Integração e Testes - COLIT

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial – CGETE

⁴Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Engenharia e Tecnologia Espacial – ETE

isomar.slima@gmail.com

Resumo. *O estudo aqui apresentado faz parte de uma pesquisa de doutorado em andamento, que tem por objetivo desenvolver um framework para análise da prontidão da organização de AIT para integrar um determinado satélite de maneira a atender de forma satisfatória aos requisitos de todos os seus stakeholders, prezando pela qualidade, confiabilidade, segurança e conformidade de parâmetros de desempenho especificados para serem adotados pela organização de AIT. O Framework será composto por 10 parâmetros/índices com seus respectivos pesos (x), que serão fixados em função da prontidão dos laboratórios de AIT. Os resultados parciais mostraram que é possível mensurar a prontidão, o desempenho, comportamentos, tendências e estratégias por meio de um conjunto de parâmetros definidos que fornecem dados específicos e gerais da AIT.*

Palavras-chave: Prontidão, Stakeholder, AIT, Requisitos.

1. Introdução

Projetos de sistemas espaciais são empreendimentos específicos por sua complexidade, custos elevados, uso de tecnologias recentes, por desenvolver equipamentos para operação em ambientes hostis e por, usualmente, inexistir a possibilidade de reparos e correções em equipamentos, uma vez iniciada sua operação em órbita [Loureiro 1999].

Esses projetos são munidos de características heterogêneas, existindo a necessidade do uso simultâneo de várias tecnologias, sendo certo o elevado número de *stakeholders* e o domínio de conhecimentos técnicos especializados [NASA 2013].

A complexidade e o uso de distintas tecnologias recentes exigidas, requerem o uso de ferramentas de avaliação de prontidão que promovam indicadores que ajudem os *stakeholders* a terem conhecimento da maturidade da organização de AIT e das tecnologias que serão empregadas no



projeto, a exemplo de ferramenta de avaliação de tecnológica temos os TRL's (*Technology Readiness Levels*) ou Níveis de Prontidão Tecnológica, que consistem em um conjunto de métricas de gerenciamento que permitem a avaliação da maturidade de uma determinada tecnologia e a comparação consistente de maturidade entre diferentes tipos de tecnologia, no âmbito de um sistema, aplicativo e ambiente operacional específico [ESA 2008].

O objetivo desse artigo é apresentar os parâmetros/indicadores para avaliação da prontidão da organização de AIT de sistemas espaciais, para atendimento aos requisitos dos seus *stakeholders*.

2. Metodologia

2.1. Métrica de prontidão da AIT (Framework)

2.1.1. Princípios

As métricas podem se dividir em: camadas, indicadores e formatos diferentes. Aqui a divisão consiste em três camadas básicas:

Métrica - é qualquer resultado básico mensurável;

Dimensão - é um conjunto de métricas, ou agrupamento delas;

KPI - *Key Performance Indicator* é um indicador chave, é onde você mede cada parâmetro que faz o seu negócio funcionar, crescer ou evoluir.

2.1.2. Composição da métrica

A composição da métrica se dá a partir da definição de AIT, ou seja, das atividades que serão desenvolvidas de modo a garantir que o satélite possa ser integrado e testado, além de atividades como identificação de restrições impostas pelo AIT e seus meios ao satélite. A partir da definição dessas atividades são estabelecidos os seguintes itens: sequência de atividades de AIT, meios de testes (GSE), infraestrutura, mensuração dos recursos humanos necessários no que se refere a homem-hora e habilidades, cronograma de execução e Plano de AIT [Venticinque 2017].

2.1.3. Parâmetros de acompanhamento de desempenho/prontidão

Os parâmetros aqui descritos serão usados para acompanhamento de desempenho, baseados em estatísticas para traduzir determinada realidade por meio de indicadores-chave que se aplicam ao objetivo de avaliar o nível de prontidão de um laboratório de AIT.

O *Framework* possuirá 10 parâmetros/índices com seus respectivos pesos (x), que serão fixados em função da prontidão da organização de AIT para integrar um determinado satélite, a Figura 1 apresenta os parâmetros do *Framework*.

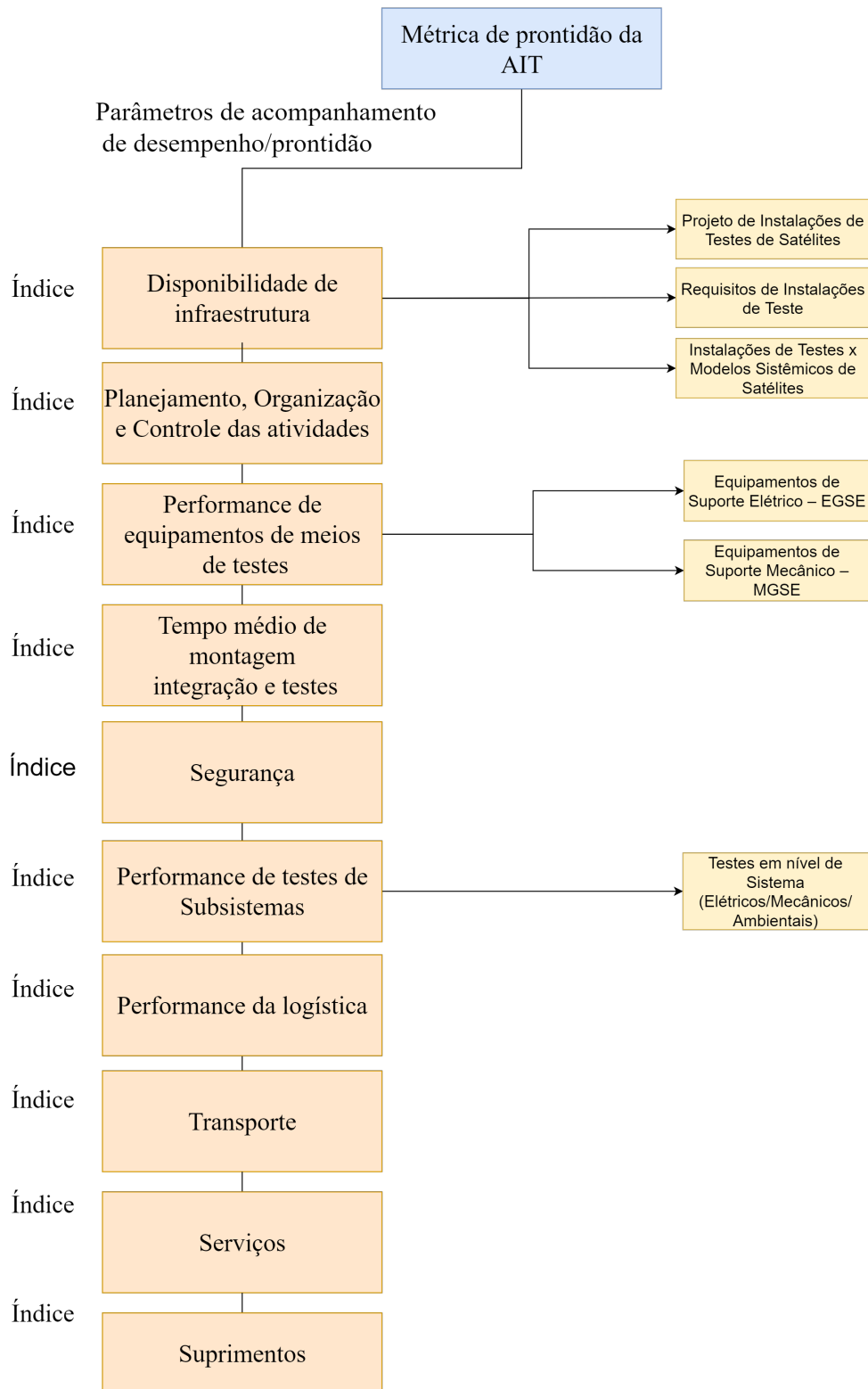


Figura 1. Parâmetros de acompanhamento da prontidão. Elaborado pelo Autor [2020]

Dentro do **índice Disponibilidade de infraestrutura** no subíndice Requisitos de instalações de teste tem-se os: Laboratório de Integração e Testes Funcionais; Laboratório de Qualificação de Sistemas Espaciais; Laboratório de Testes de Antenas; Laboratório de Aquisição e Proces-



samento de Dados; Laboratório de Qualificação de Vestimentas; Laboratório de Medidas de Contaminação; Laboratório de Solda Espacial; Laboratório de Metrologia Elétrica; Laboratório de Metrologia Mecânica; Laboratório de Metrologia Física – Calibração de Sensores; Laboratório de Tratamento de Superfícies; Laboratório de Qualificação de Componentes; Áreas de Estocagem/Descarga de Materiais/Limpeza; Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética.

Ainda dentro do índice Disponibilidade de infraestrutura temos o subíndice *Instalações de Testes x Modelos Sistêmicos de Satélites* onde são apresentados os modelos sistêmicos. Esses modelos são protótipos desenvolvidos com finalidade de maximizar a confiabilidade do produto final.

Na área espacial no que tange projetos usuais os modelos mais utilizados são: Modelo de Engenharia (*EM-Engineering Model*), Modelo de Qualificação (*QM-Qualification Model*) e o Modelo de Voo (*FM-Flight Model*), há outros modelos não tão usuais como: Modelo Rádio-elétrico (*RM-Radio-electric Model*), Modelo Estrutural (*SM-Structural Model*) e Modelo Térmico (*TM-Thermal Model*).

Levando em conta os modelos sistêmicos citados tem-se na Figura 2 que mostra as interações entre a instalação de testes e os principais modelos sistêmicos de satélites.

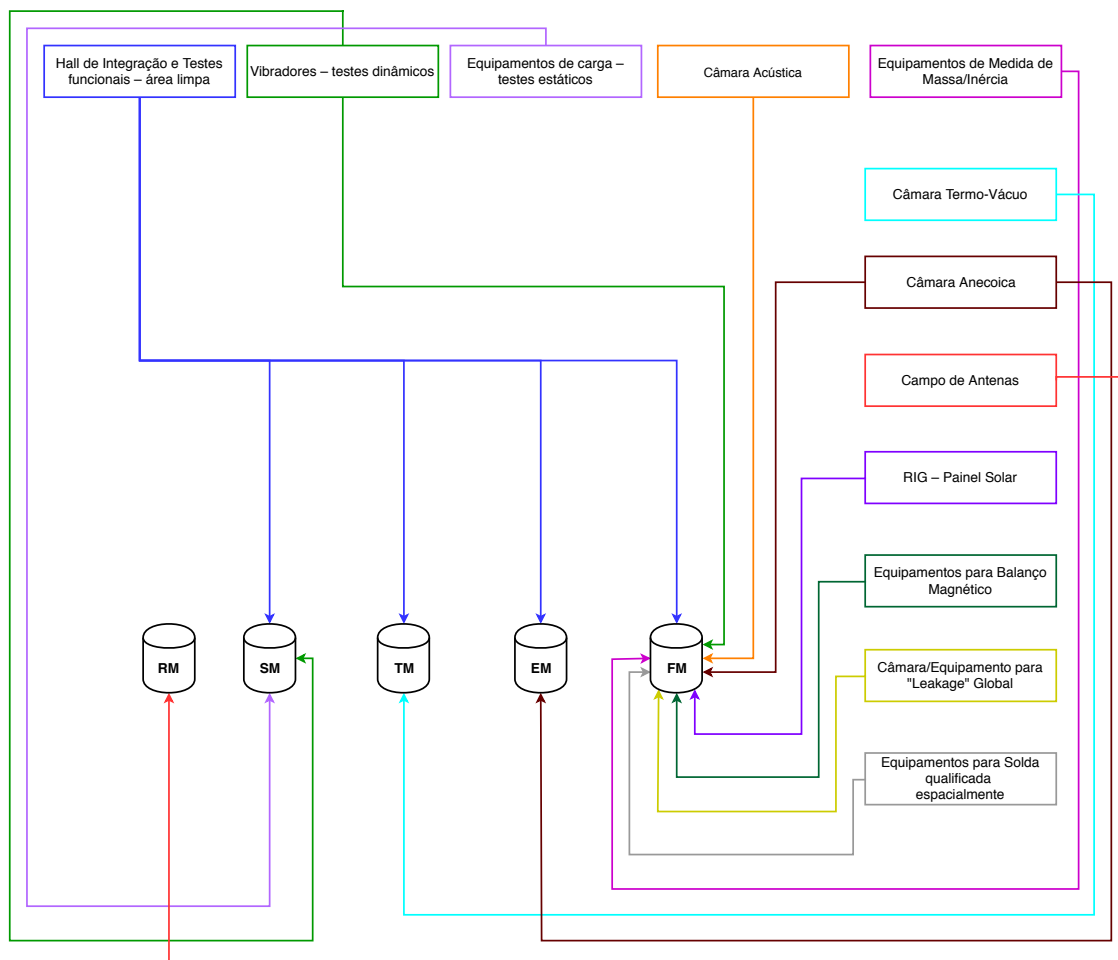


Figura 2. Correlação entre os modelos e a infra-estrutura necessária para a execução dos testes. Adaptado de [Silva Jr 2011a]



O **Índice - Planejamento, Organização e Controle das atividades** pode ser subdividido em: gerenciamento e controle.

Uma organização com a estrutura organizacional bem definida torna o controle de suas atividades mais fácil de ser realizado. [Silva Jr 2011b] apresenta uma estrutura organizacional para o gerenciamento de AIT composta por quatro níveis conforme a Figura 3.

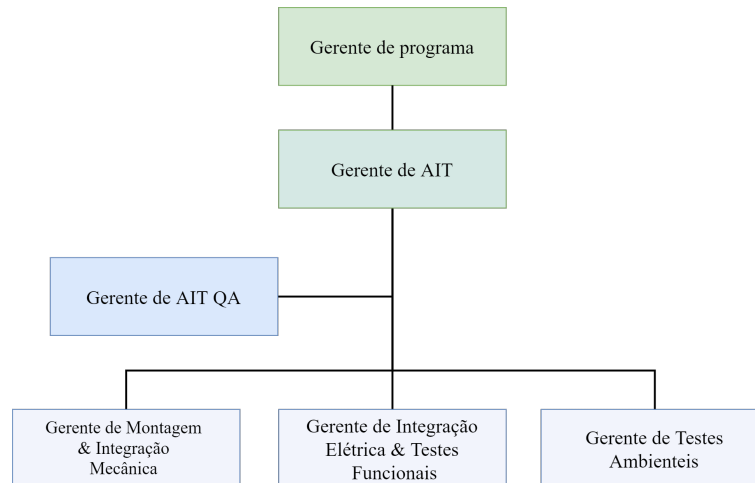


Figura 3. Gerenciamento de Montagem, Integração e Teste. Adaptado de [Silva Jr 2011b]

Seguindo a ordem hierárquica cabe ao gerente de AIT elaborar, coordenar e supervisionar todas as atividades relativas a AIT, elaborar a documentação de planejamento da AIT além de aprovar os procedimentos e relatórios relativos a mesma [Silva Jr 2011a]. Essa documentação conterá a definição dos requisitos detalhados da Garantia da Qualidade e as atividades a serem implementadas durante a Montagem, Integração e Testes.

O controle de qualidade da AIT faz parte da organização de gestão da AIT do satélite que está sendo desenvolvido, suas principais responsabilidades consistem em: preparar o plano de controle de qualidade da AIT; realizar atividades de controle de qualidade durante as atividades de montagem, integração e testes; realizar análises de testes da AIT e análises de prontidão dos testes da AIT; dar suporte à equipe no controle de qualidade da AIT [INPE-CBERS 2015].

O **Índice - Performance de equipamentos de meios de testes** caracteriza os recursos necessários para os meios de testes como equipamentos de suporte de solo (GSE) e instalações específicas, a saber infraestrutura necessária para teste.

O subíndice *Equipamentos de Suporte Elétrico – EGSE* são os equipamentos de suporte elétrico para suporte em solo das atividades de AIT, utilizados para simular condições, interfaces, adquirir dados ou realizar o *upload* de *softwares*, ou seja são os equipamentos e acessórios necessários para realizar os testes funcionais do satélite tais como: SCS SCOE *System Circuit Subsystem*; PPS SCOE *Power Supply Subsystem*; OBDH SCOE *On Board Data Handling*; TTC SCOE *Telemetry, Tracking, and Command*; AOCS SCOE *Attitude and Orbit Control Subsystem*; TCS SCOE *Thermal Control Subsystem*; WFI *Wide Field Imaging*; DDR SCOE *Digital Data Recorder*; AWDT SCOE *Advanced WFI Data Transmission*; TBU SCOE *Time Base Unit*.

Outro componente do índice *performance de equipamentos de meios de testes* é o subíndice *Equipamentos de Suporte Mecânico – MGSE* consistindo dos elementos de suporte mecânicos que dão apoio às atividades do processo de AIT formados por: suportes, proteções, carrinhos



de integração, ferramentas de montagem, contêineres de transporte, entre outros.

Os componentes GSE (MGSE e EGSE) de um laboratório de AIT são desenvolvidos seguindo as particularidades de cada projeto. Em seu desenvolvimento são observados e aplicados princípios de normas como a ECSS-Q-ST-40C.

Equipamentos MGSE em conformidade com os padrões e normas estabelecidas podem ser divididos em 4 grupos principais de equipamentos: *Handling equipment*; *Transport and storage equipment*; *Integration equipment*; *Test equipment*.

que indica a necessidade de conformidade desses equipamentos com os requisitos de segurança, e a necessidade das revisões e inspeções de prontidão em incluí-los para cumprir com os requisitos estabelecidos, devendo estes equipamentos estarem de acordo com “CE” (Conformité Européene). CE é uma marca de declaração de conformidade aplicável a praticamente todos os produtos projetados e destinados ao uso em solo (ECSS, 2009).

O **Índice - Tempo médio de montagem integração e testes** aborda a complexidade inerente da AIT que reflete no tempo médio dessas atividades. Na área espacial observa-se elevada complexidade no desenvolvimento dos projetos e integração de sistemas, um dos motivos está no ambiente de operação de um produto espacial além de fatores como o tipo de missão, duração, restrições e requisitos.

Esses fatores contribuem para o cronograma longo das atividades de montagem, integração e testes implicam na necessidade de um plano de AIT bem consistente, ou seja, um plano que organize as atividades de forma mais eficaz em termos de tempo e orçamento já que os programas de desenvolvimento de sistemas espaciais tendem a ter uma linha do tempo mais longa, mais sobrecarregada e maior custo durante as atividades de AIT.

O **Índice - Segurança** aborda a garantia da segurança de todo o pessoal do laboratório de montagem, integração e teste, incluindo os *stakeholders*, os visitantes, equipamentos de teste, as instalações de teste e sua infraestrutura associada.

Como apoio usa-se a norma ECSS- Q-ST-20-07 que fornece requisitos adicionais específicos para centros de testes espaciais no que tange a segurança dos mesmos [ECSS 2014].

O **Índice - Performance de testes de Subsistemas**

Este índice abrange os testes de subsistemas em nível de qualificação. Para os testes de qualificação é desenvolvido um plano de teste envolvendo: Testes de Medidas Físicas; Testes Funcionais Iniciais; Teste de Choque Mecânico; Testes Funcionais Pós Choque Mecânico; Teste de Aceleração; Testes Funcionais Pós Aceleração; Teste de Vibração Senoidal; Testes Funcionais Pós Vibração Senoidal; Teste de Vibração Randômica; Testes Funcionais Pós Vibração Randômica; Teste de Ciclagem Termo-vácuo; Testes Funcionais Pós de Ciclagem Termo-vácuo; Testes de Descarga Elétrica; Testes Funcionais Finais (ECSS, 1996a).

Para os testes de aceitação é desenvolvido um plano de testes típico para o modelo de voo que abrange: Teste de Medidas Físicas; Testes Funcionais Iniciais; Teste de Vibração Randômica; Testes Funcionais Pós Vibração Randômica; Teste de Ciclagem Termo-vácuo; Testes Funcionais Pós Ciclagem Termo-vácuo; Teste de Descarga Elétrica; Testes Funcionais Finais.

Ao desenvolver esses planos de testes deve-se levar em conta o planejamento eficaz dos recursos de teste, incluindo a utilização de equipamentos de suporte de solo (SGE) e instalações específicas para estrutura de teste.

Subíndice **Testes em nível de Sistema (Elétricos/Mecânicos/Ambientais)**



Os testes elétricos incluem os testes elétricos funcionais 1 e 2, compatibilidades com segmentos, simulações de missão, EMC - *Electromagnetic Interference* /EMC - *Electromagnetic Compatibility* e balanço magnético. Os testes mecânicos incluem os testes alinhamento, medidas de massa e inércia e detecção de vazamentos. Os testes ambientais incluem os testes de vibração, acústica, termo-vácuo [Silva Jr 2011a, ESA 1996].

Índice - Performance da logística refere-se às atividades da logística que no contexto espacial visam garantir o suporte necessário para que o desenvolvimento do sistema/satélite ocorra de acordo com o planejado e de maneira econômica. No que tange a Montagem, Integração e Testes essas atividades ocorrem durante as fases D e E da missão espacial ou seja fase de AIT e fase de operações.

Para dar apoio a execução dessas atividades é criado o plano de suporte logístico na fase A, a sua implementação e possíveis alterações/atualizações se darão na fase D. Os procedimentos de logística apresentados no plano e a maneira como operar durante sua execução abordam aspectos como manuseio, transporte, manutenção e armazenamento a longo prazo visando o sucesso da missão [NASA 2007]. A NASA Utiliza o *Integrated Logistics Support* (ILS) ou Suporte Logístico Integrado [NASA 2007, SMC 2005], como apoio ao plano de suporte logístico, Além da fase D de AIT, o ILS abrange todo o ciclo de vida do sistema, desde a implantação operacional até o seu descomissionamento, estando dividido em quatro áreas distintas: Engenharia de Sistemas Logísticos; Aquisição de produtos de logística; Operações práticas de logística e Gerenciamento de Programa de Suporte Logístico Integrado [SMC 2005].

De acordo com [SMC 2005] o suporte e logística contém dez elementos descritos como mini-disciplinas que devem ser levados em consideração no plano de suporte: *Maintenance Planning* - MP; *Manpower and Personnel* - MP; *Supply Support* - SS; *Support Equipment* - SE; *Technical Data* - TD; *Training and Training Support* - T&TS; *Computer Resource Support* - CRS; *Facilities* - FA; *Packaging, Handling, Storage Transportation* - PHS&T; *Design Interface* - DI.

O Índice **Transporte** trata dos requisitos para transporte que devem ser observados rigorosamente levando em conta as intemperes do meio e do ambiente de transporte ao qual o satélite será submetido. Devendo estes ser transportado em condições de temperatura, pressão, umidade e choque controlados e monitorados [Silva Jr 2011a]. Já o Índice **Serviços** é composto por serviços que envolvem calibração de instrumentos eletrônicos, calibração de sensores, metrologia dimensional, vídeo e gravação de imagens, entre outros.

O Índice **Suprimentos** é responsável pelo fornecimento pontual ao longo do processo de itens como: nitrogênio líquido para o condicionamento térmico de unidades de satélites; nitrogênio gasoso de alta pureza para o procedimento de purga de câmeras componentes do satélite; hélio gasoso de alta pureza para os testes de vazamento; adesivo de transferência com qualidade espacial e padrão para testes de vazamento [Silva Jr 2011a].

3. Resultados e Discussão

O trabalho está em fase de desenvolvimento e no momento estão sendo extraídos dados resultantes da segunda revisão sistemática realizada com foco em estudos que abordam métricas e indicadores (como os da seção 2.1.3) para mensurar a prontidão, o desempenho, comportamentos, tendências e estratégias por meio de uma coleção de dados específicos e gerais da AIT.

Espera-se nas próximas fases desse estudo:

- Identificar quem são os *stakeholders* envolvidos na AIT de um produto de uma organização do setor espacial;



- Entender quais são os processos para se fazer gestão de *stakeholders* em organização de AIT;
- Integrar requisitos do produto satélite e requisitos de uma organização para realizar o AIT de um sistema espacial;
- Mapear processos (quais processos a organização de AIT tem que ter para ser capaz de cumprir os requisitos da fase D);
- Desenvolver o *framework* proposto;
- Aplicar o *framework* de prontidão proposto no LIT/INPE para realizar o AIT de um sistema espacial ;
- Ter um panorama das medidas de efetividades da organização de AIT;
- Definir todas as métricas de gerenciamento necessárias para avaliação de prontidão da organização de AIT;
- Definir um índice de prontidão que leve em consideração a capacidade e maturidade dos processos da organização de AIT;
- Determinar o nível de prontidão do LIT/INPE para fazer a AIT de um determinado satélite.

4. Conclusão

A prontidão de uma organização de AIT em atender requisitos de seus *stakeholders* é um desafio em virtude desse tipo de organização desenvolver projetos complexos, que exige alto desempenho, acoplamento de distintas tecnologias nos diversos subsistemas, necessitando de materiais de alta qualidade, procedimentos de fabricação, testes, integração, e mão de obra muito especializada com longos ciclos de projeto e desenvolvimento e uma vez ocorrido o fracasso as consequências podem ser graves.

Os vários aspectos dos projetos dessa área e os fatores citados anteriormente apontam para que o método proposto deva ser capaz de: determinar o nível de prontidão da organização de AIT para integrar um determinado satélite bem como a maturidade dos processos atuais de desenvolvimento das suas atividades de modo que contribua para um gerenciamento adequado de requisitos, riscos e processos de engenharia, colaborando para que atinjam com segurança os requisitos de desempenho funcional, físico e operacional dos *stakeholders* nos ambientes de uso pretendido do sistema ao longo da vida planejada do mesmo, dentro das restrições de custo e cronograma.

Agradecimentos: À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Referências

- ECSS (2014). ECSS-Q-ST-20-07C: Space product assurance Quality and safety assurance for space test centres.
- ESA (1996). European Cooperation for space standardization. ECSS-E-10A: system engineering, Noordwijk.
- ESA (2008). Technology readiness levels handbook for space applications.
- INPE-CBERS (2015). CBERS 04A AIT Quality Assurance Plan.
- Loureiro, G. (1999). *A systems and concurrent engineering framework for the integrated development of space products*. PhD thesis.
- NASA (2007). *NASA Systems Engineering Handbook*. Washington, D.C., rev1 edition.



NASA (2013). NASA Procedural Requirements NASA Systems Engineering Processes and Requirements.

Silva Jr, A. C. (2011a). Amazonia 1 assembly, integration and test plan.

Silva Jr, A. C. (2011b). *Desenvolvimento integrado de sistemas espaciais - Design for AIT - Projeto para Montagem, Integração e Teste de Satélites D4AIT*. PhD thesis, Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

SMC (2005). *SMC System Engineering Primer Handbook: Concepts, Processes, and Techniques*. Space & Missile Systems Center U.S. Air Force, Los Angeles, 3º edição edition.

Venticinque, G. (2017). *Engenharia de sistemas aplicada ao desenvolvimento do equipamento de suporte em terra - GSE*. PhD thesis, Instituto Tecnológico de Aeronáutica.