

ANDREIA FATIMA SORICE GENARO

LEVANTAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE REQUISITOS DE
SEGURANÇA DE SISTEMAS ESPACIAIS DURANTE O CICLO
DE VIDA DE PROJETO DE SATÉLITES

São Paulo
2019

ANDREIA FATIMA SORICE GENARO

**LEVANTAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE REQUISITOS DE
SEGURANÇA DE SISTEMAS ESPACIAIS DURANTE O CICLO
DE VIDA DE PROJETO DE SATÉLITES**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo
2019

Dedico esse trabalho a Deus, Jesus e aos espíritos protetores que sempre estão ao meu lado por onde eu for.

Aos meus pais Alberto e Fatima pela vida e educação que me proporcionaram.
A minha irmã Michele, por nossa grande amizade.

Ao meu querido esposo Gino, pelo companheirismo, paciência, carinho e amor, que foram fundamentais para eu concluir mais este trabalho com sucesso.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a meus pais, irmã e esposo, por estarem mais uma vez me apoiando e compreendendo meus momentos de ausência nos últimos dois anos dedicados aos estudos de Engenharia de Segurança do Trabalho.

Agradeço em especial aos colegas de INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sr. Carlos Toshio Ueda, Sra. Sonia Mara de Souza e Dr. José Agnaldo Pereira Leite Junior, que me ajudaram a conseguir apoio financeiro do instituto e, em virtude disso, estar completando mais uma capacitação profissional. Também agradeço à Sra. Danusa Caramello que, além de ter me apoiado dentro do INPE, também foi a responsável por fazer todo o contato burocrático entre o INPE e a Universidade de São Paulo, durante o período do curso.

Agradeço aos colegas da Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial, em especial aos do Serviço de Engenharia da Qualidade, ao qual pertence o Grupo de Segurança de Sistemas Espaciais, onde atuo.

Finalizo estendendo os meus agradecimentos à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por manter uma infraestrutura exemplar de laboratórios e um excelente quadro de docentes e monitores que, durante 24 meses, nunca deixaram de nos orientar e compartilhar conosco suas experiências.

“There are no secrets to success. It is the result of preparation, hard work and learning from failures.”

Colin Powell - Secretário de Estado dos EUA
(2001-2005)

RESUMO

A área espacial pode ser dividida em diversos ramos, desde pesquisa científica teórica e aplicada, assim como atividades de desenvolvimento tecnológico com um viés mais voltado à fabricação de artefatos espaciais, tais como satélites e foguetes, cabendo ressaltar que em projetos espaciais a segurança de sistemas faz parte do corpo de disciplinas que deve ser estudado exaustivamente durante todo o ciclo de vida do projeto. Este trabalho tem por objetivo apresentar como se deu o levantamento de requisitos de segurança para projetos de satélites e como algumas ferramentas de segurança foram aplicadas quando da implementação de alguns requisitos. Este trabalho se justifica por haver a necessidade de se aplicar e de se validar ferramentas de trabalho que virão fazer parte das atividades rotineiras de segurança dos sistemas espaciais brasileiros e, como consequência, fomentar a cultura de segurança entre todos os profissionais envolvidos. Por meio de dois estudos de casos, sendo o primeiro referente à realização de uma análise de perigos em um dispositivo de suporte mecânico do satélite Amazônia-1 e o segundo, abordando inspeções de segurança no LIT - Laboratório de Integração e Testes do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais antes dos testes ambientais do satélite CBERS 04A, foi possível demonstrar que é possível impor e implementar alguns requisitos de segurança em projetos já em andamento dentro do instituto, já que, canonicamente, as atividades de segurança de sistemas devem ter início desde a Fase 0 de um projeto.

Palavras-chave: segurança de sistemas, satélites, requisitos de segurança, testes ambientais, centro de testes, área espacial.

ABSTRACT

The space area can be divided into several branches, from theoretical and applied scientific research, as well as technological development activities with a bias towards the manufacture of space artifacts such as satellites and rockets, and it should be emphasized that in space projects the systems safety is part of body of disciplines that must be studied thoroughly throughout the life cycle. This paper aims to present how some safety tools were applied when implementing some requirements. This paper is justified by the need to apply and validate work tools that will take part of the routine of safety activities within the Brazilian space systems projects and, as a consequence, to foster the culture of safety among all professionals involved. By presenting two case studies, the first one is about performing a hazard analysis in a mechanical ground support equipment of the Amazonia-1 satellite and the second one, addressing safety inspections at LIT – Laboratório de Integração e Testes of INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais before starting the environmental test campaign of CBERS 04A satellite, it was possible to demonstrate that is possible to impose and implement some safety requirements in projects already in progress within the institute, since canonically, safety systems activities shall start at Phase 0 of a project.

Keywords: systems safety, satellites, safety requirements, environmental testing, test center, space area.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Hierarquia de um Sistema Espacial	23
Figura 2 - Ciclo de vida de um produto de acordo com a ECSS	24
Figura 3 – Fases do ciclo de vida do projeto espacial ESA & NASA.....	25
Figura 4 - Configuração de lançamento do satélite Amazonia-1	29
Figura 5 - Configuração em órbita do satélite Amazonia-1	29
Figura 6 - Vista Explodida do satélite Amazonia-1	29
Figura 7 - Modelos estrutural, térmico e elétrico do satélite Amazonia-1	30
Figura 8 - Representação Artística do satélite CBERS 04A	31
Figura 9 - Sequência típica de montagem e integração mecânica.....	33
Figura 10 - Sequência geral de AIT de satélites.....	35
Figura 11 - Satélite CBERS-2 durante teste de vibração	36
Figura 12 - Câmara de Simulação Espacial do INPE	37
Figura 13: Satélite SAC-D/Aquarius durante testes de EMI/EMC	38
Figura 14 - População impactada pela segurança	40
Figura 15 - Manifestação de perigos e seus cenários	45
Figura 16 - Árvore de Perigo	45
Figura 17 - Árvore de Consequência de Perigo	46
Figura 18 - Redução de Perigos.....	46
Figura 19- Representação das Normas Regulamentadoras	48
Figura 20 - Árvore de documentos do padrão ECSS	53
Figura 21 - Carro de basculamento em testes de aceitação.	57
Figura 22 - As 9 atividades relacionadas com os 4 passos do processo de análise de perigo	58
Figura 23 - Sequência geral de atividades de AIT do CBERS 04A	63
Figura 24 - Sequência dos testes ambientais do satélite CBERS 04A.....	64
Figura 25 - Referência cruzada dos requisitos ECSS & ISO & INPE	66
Figura 26 - Vista da área de testes vacuotérmicos do LIT	68
Figura 27 - Modelo de formulário de análise de perigos	71
Figura 28 - Fluxograma do planejamento das inspeções de segurança	78
Figura 29 - Satélite CBERS 04A durante testes elétricos	81
Figura 30 - Laboratório de Qualificação e Testes de Ambientais do LIT	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronologia de Lançamento de satélites testados no INPE	21
Quadro 2 - Atividades do programa de segurança de um projeto espacial	26
Quadro 3 - Diferenças entre gerações dos satélites da série CBERS	31
Quadro 4 - Divisão de responsabilidades Brasil e China – CBERS 04A.....	32
Quadro 5 - Regulamentos de Segurança Espacial do Brasil	41
Quadro 6 - Esquema de pontuação de severidade de perigo	59
Quadro 7 - Esquema de pontuação de probabilidade	59
Quadro 8 - Índice de risco	60
Quadro 9 - Gerenciamento de risco	61
Quadro 10 – Organização dos passos e tarefas para análise de perigos	70
Quadro 11- Resultados das análises de perigos do carro de basculamento	72
Quadro 12 - Estrutura da primeira inspeção de segurança.....	80
Quadro 13 - Agentes Físicos: Consequência potencial para pessoal envolvido	82
Quadro 14 - Agentes Químicos: Consequência potencial para pessoal envolvido ...	82
Quadro 15- Agentes biológicos: Consequência potencial para pessoal envolvido....	84
Quadro 16 - Risco de acidente: Consequência potencial para pessoal envolvido	84
Quadro 17 - Risco ergonômico: Consequência potencial para pessoal envolvido	85
Quadro 18- Agentes físicos: Consequência potencial para hardware de voo	86
Quadro 19 - Agentes químicos: Consequência potencial para <i>hardware</i> de voo.....	86
Quadro 20 - Agentes biológicos: Consequência potencial para <i>hardware</i> de voo	86
Quadro 21 - Risco de acidente: Consequência potencial para <i>hardware</i> de voo.....	87
Quadro 22 - Risco ergonômico: Consequência potencial para <i>hardware</i> de voo.....	88
Quadro 23 - Agentes físicos: Consequência potencial para as instalações	89
Quadro 24 - Agentes químicos: Consequência potencial para as instalações	89
Quadro 25 - Agentes biológicos: Consequência potencial para as instalações	89
Quadro 26 - Risco de acidente: Consequência potencial para as instalações	90
Quadro 27 - Risco ergonômico: Consequência potencial para as instalações.....	90
Quadro 28 - Atividades perigosas durante os testes ambientais do satélite CBERS 04A.....	94
Quadro 29 - Medidas de redução da probabilidade de acidente em testes ambientais	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACDH	<i>Attitude, Control and Data Handling</i>
AEB	Agência Espacial Brasileira
AIT	<i>Assembly, Integration and Testing</i>
ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>
ALARP	<i>As Low As Reasonably Practicable</i>
AOCS	<i>Attitude and Orbit Control System</i>
AR	<i>Acceptance Review</i>
ASARP	<i>As Safe As Reasonably Practical</i>
AWDT	Subsistema de Transmissão de Dados
AWFI	<i>Advanced Wide Field Imager</i>
C.A.	Coluna d'água
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CCB	<i>Configuration Control Board</i>
CDR	<i>Critical Design Review</i>
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CLBI	Centro de Lançamentos da Barreira do Inferno
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CTA	Centro Técnica Aeroespacial
DCS	<i>Data Control System</i>
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DDR	<i>Digital Data Recorder</i>
DEPED	Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento
DETER	Detecção e Desmatamento em Tempo Real
DTS	<i>Data Transmitter System</i>
ECSS	<i>European Cooperation for Space Standardization</i>
EGSE	<i>Electrical Ground Support Equipment</i>
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ESA	<i>European Space Agency</i>
ESD	<i>Electro-Static Discharge</i>

FBC	<i>Faster Better and Cheaper</i>
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos
FMEA	<i>Failure, Mode and Effect Analysis</i>
FMECA	<i>Failure, Mode, Effect and Criticality Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
GGSSE	Grupo da Garantia de Segurança de Sistemas Espaciais
GN2	Nitrogênio Gasoso
GOCNAE	Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais
GSE	<i>Ground Support Equipment</i>
HSB	<i>Humidity Sensor for Brazil</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISS	<i>International Space Station</i>
IT	Instruções Técnicas
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
LIT	Laboratório de Integração e Testes
LN2	Nitrogênio Líquido
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações
MECB	Missão Espacial Completa Brasileira
MGSE	<i>Mechanical Ground Support Equipment</i>
MGSE	<i>Mechanical Ground Support Equipment</i>
MUX	Multi-espectral Camera
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NR	Norma Regulamentadora
NRB	<i>Non-conformance Review Board</i>
NUPAT	Núcleo de Prevenção de Acidentes de Trabalho
NVR	<i>Non-Volatile Residue</i>
OBDH	<i>On-Board Data Handling</i>
PCDU	<i>Power Control and Distribution Unit</i>
PDR	<i>Preliminary Design Review</i>
PEB	Programa Espacial Brasileiro
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PMM	Plataforma Multimissão

PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais
PNDAE	Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais
PRA	<i>Probabilistic Risk Assessment</i>
PROP	<i>Propulsion</i>
PSS	<i>Power Supply Subsystem</i>
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RISC	<i>Risk-informed Safety Case</i>
RN	Rio Grande do Norte
S&QA	<i>Safety and Quality Assurance</i>
SAC	Satélite de Aplicaciones Científicas
SACI	Satélite Científico
SATEC	Satélite Tecnológico
SCD	Satélite de Coleta de Dados
SEM	<i>Space Environmental Monitor</i>
SESMET	Serviço Especializado em Eng. Segurança e em Medicina do Trabalho
STR	<i>Structure</i>
SVTL	<i>Safety Verification Tracking Log</i>
TCS	<i>Thermal Control System</i>
TQCM	<i>Thermoelectric Quartz Crystal Microbalances</i>
TRB	<i>Test Readiness Board</i>
TT&C	<i>Tracking, Telemetry and Command</i>
VLS	Veículo Lançador de Satélites
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>
WFI	<i>Wide Field Imager</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVO	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1 HISTÓRICO DAS ATIVIDADES ESPACIAIS NO BRASIL.....	19
2.2 O CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO ESPACIAL	22
2.3 OS PROJETOS AMAZONIA-1 E CBERS 04A.....	27
2.3.1 Descrição geral do satélite Amazonia-1	27
2.3.2 Descrição geral do satélite CBERS 04A.....	30
2.4 MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES DE SATÉLITES.....	32
2.4.1 Testes realizados em satélites.....	33
2.4.1.1 Sequência de testes.....	34
2.4.2 Infraestrutura necessária para realização dos testes ambientais	35
2.4.2.1 Instalação para testes de vibração de satélites	35
2.4.2.2 Instalação para testes acústicos de satélites	36
2.4.2.3 Instalação para testes vacuotérmicos	36
2.4.2.4 Instalação para testes de EMI/EMC.....	37
2.5 IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA EM PROJETOS ESPACIAIS	38
2.6 GERENCIAMENTO DE PERIGOS NA ÁREA ESPACIAL.....	42
2.7 NORMAS REGULAMENTADORAS	47
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	52
3.2 COLETA DE INFORMAÇÕES	52
3.3 METODOLOGIA DE LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE SEGURANÇA DE SISTEMAS ESPACIAIS	54
3.3.1 Metodologia para projetos de satélites	54
3.3.2 Metodologia para testes ambientais de satélites	55
3.4 METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS REQUISITOS DE SEGURANÇA.....	56
3.4.1 Metodologia: Case 01 – Carro de basculamento do satélite Amazonia-1	

3.4.1.1	Descrição do carro de basculamento do satélite Amazonia-1	56
3.4.1.2	Metodologia de análise de perigos e riscos do Case 01	58
3.4.2	Metodologia: Case 02 – Atividades de segurança durante testes ambientais de satélites	61
3.4.2.1	Testes ambientais do satélite CBERS 04A	61
3.4.2.2	Metodologia de inspeção de segurança no centro de testes	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.1	RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE SEGURANÇA DE SISTEMAS ESPACIAIS	65
4.1.1	Projetos de satélites	65
4.1.2	Testes ambientais de satélites	67
4.2	RESULTADOS DO CASE 01.....	69
4.2.1	Atividades de análise dos perigos e riscos do carro de basculamento do satélite Amazonia-1	69
4.3	RESULTADOS DO CASE 02.....	77
4.3.1	Atividades de segurança durante testes ambientais de satélites	77
4.3.1.1	Resultados da primeira inspeção de segurança do Case 01.....	79
4.3.1.2	Resultados da segunda inspeção de segurança do Case 02	93
5	CONCLUSÕES.....	98
5.1	CONSECUÇÃO DO OBJETIVO GERAL DO TRABALHO.....	98
5.2	CONCLUSÕES DOS RESULTADOS DOS CASES 01 E 02.....	99
5.3	DESAFIOS E PROPOSTAS DE MELHORIA PARA PRÓXIMOS PROJETOS	101
REFERÊNCIAS.....	103	
APÊNDICE A	107	
APÊNDICE B	120	
APÊNDICE C	126	

1 INTRODUÇÃO

O ambiente de trabalho na área espacial oferece inúmeros riscos aos trabalhadores provocados por agentes físicos, químicos, ergonômicos e inclusive psicossociais, o que pode ser evidenciado pelo enorme número de acidentes graves ocorridos na área espacial conhecidos do público em geral, onde alguns deles se tornaram filmes famosos, como o caso da falha da missão Apollo 13 (LOFTUS, 2013).

Durante seu famoso discurso perante o Congresso em 25 de maio de 1961, o presidente John F. Kennedy disse: "*Acredito que esta nação deve se comprometer a atingir o objetivo de, antes do final desta década, pousar um homem na Lua e devolvê-lo em segurança à Terra*". Nesse discurso, foi colocado um objetivo para a comunidade espacial que era ao mesmo tempo excitante e quase impossível. O fato de termos sido capazes de enviar homens à Lua e trazê-los de volta em segurança foi uma combinação de trabalho duro e de extrema boa sorte. Apenas o ato de levar os homens para fora da Terra e para o espaço é uma das empreitadas mais perigosas já tentadas (BABCOCK, 2015).

Para diminuir o risco de acidentes, as empresas que atuam na área espacial conduzem extensas atividades de segurança como parte de suas responsabilidades gerais de garantia de missão, destacando as percepções de segurança coletadas a partir de acidentes ocorridos no passado (TONSEY e CHENG 2015).

Uma preocupação atual é o acesso público ao espaço por meio de voos espaciais comerciais. Em 2010 a NASA (Agência Espacial Americana) estabeleceu o Programa de Tripulação Comercial para fornecer acesso humano à Estação Espacial Internacional (ISS) e à órbita terrestre baixa por empresas do setor privado (não governamental). Um desafio especial para a NASA é como determinar se o sistema de transporte do fornecedor privado atende aos requisitos de segurança exigidos, bem como permitir flexibilidade para que o prestador do serviço possa demonstrar a conformidade com os requisitos por meio de padrões e métodos alternativos (KIRKPATRICK e VASSBERG, 2015).

No entanto, atividades espaciais são perigosas não somente quando se pensa em missões tripuladas. Muitas atividades realizadas em solo, que envolvem a fabricação de subsistemas (ex: baterias, painéis solares, etc.) e sistemas espaciais (ex: satélites e foguetes lançadores) já podem envolver procedimentos extremamente perigosos, os quais precisam ser identificados e monitorados pela equipe responsável pela garantia da segurança do sistema.

Em 2003 o Brasil entrou para a triste estatística de acidentes da área espacial envolvendo vítimas fatais, quando do trágico acidente ocorrido na base de lançamento de foguetes de Alcântara, no Maranhão, que causou a morte de 21 técnicos e engenheiros do DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial) devido a um incêndio ocorrido no VLS – Veículo Lançador de Satélites, por conta do acionamento intempestivo de um dos motores do primeiro estágio do foguete (WINTER, 2007; PALMERIO, 2016). O relatório oficial que avaliou as causas daquele acidente aponta que, caso as normas mínimas de segurança tivessem sido observadas, ou o acidente poderia ter sido evitado, ou ao menos não teria ceifado tantas vidas (BRASIL, 2004).

Em agências espaciais como a americana NASA, a europeia ESA e a japonesa JAXA, a disciplina de Segurança de Sistemas é considerada uma das mais importantes em projetos de sistemas espaciais (satélites, veículos lançadores, centros de lançamento, etc.). Os processos oriundos da disciplina de segurança de sistemas permeiam o projeto de um sistema espacial desde a sua fase de concepção até o final de seu ciclo de vida (descomissionamento).

Garantir a segurança de um sistema espacial é uma atividade de extrema importância durante a fabricação de qualquer dispositivo que será colocado em órbita da Terra, incluindo seu meio de transporte (foguetes lançadores) e seus meios de operação/comunicação (estações terrenas, centros de controle), pois, caso um equipamento crítico para a segurança venha a falhar ou operar fora das especificações, poderá causar acidentes levando inclusive a perdas de vidas de trabalhadores.

Empresas com alto grau de maturidade nas atividades de garantia de segurança de sistemas espaciais realizam análises com base em outros projetos, por meio da

extração de lições aprendidas, de melhores práticas e compartilha sua ampla base de conhecimento na comunidade espacial (TONSEY e CHENG 2015).

A NASA mudou consideravelmente sua estrutura organizacional ao longo dos últimos anos. Isso se deu após se analisar e se chegar a conclusões de que as tragédias envolvendo os ônibus espaciais *Challenger* e *Columbia* exibiam características de falha organizacional (HALL, 2016).

O Brasil é um país onde a cultura de segurança ainda precisa avançar muito, inclusive dentro de grandes organizações, haja vista os acidentes recentes em Mariana (2015) e em Brumadinho (2019), ambos envolvendo falhas no *sistema* de contenção de resíduos de rejeitos de minério, o que aponta para uma falha não somente de segurança do sistema em si, mas em nível gerencial, corroborando a afirmativa de HALL (2016).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma análise crítica de como se deu o levantamento de requisitos de segurança para projetos de satélites no INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, bem como a utilização de algumas das ferramentas de análise de segurança aplicadas durante a fase de implementação destes requisitos.

Ao final são apresentados os desafios, discussão dos resultados e sugestões de melhoria da segurança de sistema para os próximos projetos de satélites do INPE.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como o Grupo da Garantia da Segurança de Sistemas Espaciais (GGSSE) do INPE foi criado em 2016, no momento em que os dois maiores projetos de satélites do instituto já se encontravam em sua Fase D, ou seja, fase em que as atividades de montagem, integração e testes finais de aceitação de equipamentos de voo e de

equipamentos de suporte de solo já estavam em andamento, havendo o desafio de se definir requisitos de segurança e implementá-los de uma forma "não canônica", ou seja, introduzindo-se requisitos de segurança em projetos já em estágio avançado.

Além de ter sido uma oportunidade de melhoria de processos já existentes, onde a disciplina de segurança de sistema não estava implementada, também foi a oportunidade para se validar metodologias nunca antes aplicadas em projetos de satélites desenvolvidos pelo instituto.

Este trabalho se justifica por haver a necessidade de se aplicar e de se validar ferramentas de trabalho que virão fazer parte das atividades rotineiras de segurança dos sistemas espaciais brasileiros. Como consequência, há de se fomentar a cultura de segurança entre todos os profissionais envolvidos, desde o nível gerencial, até o nível de profissionais de "chão de fábrica". Esta cultura de segurança também precisa se estender às empresas fornecedoras de subsistemas espaciais para os projetos espaciais brasileiros, resultando na redução de retrabalho, perdas materiais e humanas durante o ciclo de vida de qualquer produto que venha a ser desenvolvido para atender ao Programa Espacial Brasileiro (PEB).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção está dividida em seis partes, onde na primeira é apresenta um breve histórico das atividades espaciais no Brasil, na segunda apresenta-se o ciclo de vida de um produto espacial mostrando o seu relacionamento com as atividades de segurança de sistemas dentro de um projeto espacial, na terceira faz-se uma breve descrição dos satélites Amazonia-1 e CBERS 04A, utilizados nos estudos de caso. Na quarta parte apresentam-se as atividades de Montagem, Integração e Testes de satélites, onde se envolve um grande número de profissionais altamente qualificados em uma empreitada multidisciplinar, na quinta apresenta-se a importância da segurança no desenvolvimento de atividades na área espacial, mostrando tratar-se de uma área cercada de atividades bastante perigosas, e, a sexta e última parte, se trata do gerenciamento de perigos destas áreas.

2.1 HISTÓRICO DAS ATIVIDADES ESPACIAIS NO BRASIL

As atividades espaciais no Brasil surgiram em 1961, por meio de um decreto do então presidente Jânio Quadros que criava o Grupo de Organização da GOCNAE - Comissão Nacional de Atividades Espaciais, que mais tarde viria a ser chamado de INPE (OLIVEIRA, 1991), tendo como motivação as expectativas que estavam sendo criadas na época em torno das primeiras conquistas espaciais obtidas pela extinta União Soviética e pelos Estados Unidos. (OLIVEIRA, 1991; WINTER, 2007).

O principal foco do Brasil foi em atividades espaciais dedicadas às ciências espaciais e atmosféricas, porém, em 1965, após acordo do INPE com o Ministério da Aeronáutica, foi inaugurado o atual CLBI – Centro de Lançamentos da Barreira do Inferno, no município de Natal (RN), com o objetivo de se lançar foguetes de sondagem com cargas úteis científicas, sendo que o primeiro lançamento realizado foi do foguete Nike-Apache, da NASA, no mesmo ano (PALMERIO, 2016).

Já a decisão de se construir satélites no Brasil nasceu com o desenvolvimento da MECB (Missão Espacial Completa Brasileira), assinada em 1979 (OLIVEIRA, 1991)

quando ficou estabelecido que o INPE desenvolveria quatro satélites com aplicações ambientais (WINTER e PRADO, 2007), já que o instituto acumulara experiência significativa em pesquisas de ciências espaciais e atmosféricas e aplicações com o uso de dados de satélites meteorológicos desde a década de 1960 (OLIVEIRA, 1991). Para completar a missão, estes satélites deveriam ser colocados em órbita por um foguete nacional que seria lançado também do território nacional (WINTER e PRADO, 2007). Cabe ressaltar que desde a década de 1960 o Centro Técnico Aeroespacial (CTA), atualmente denominado Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), situado em São José dos Campos (SP) e subordinado ao Ministério da Defesa, iniciara atividades de desenvolvimento de foguetes de sondagem (PALMERIO, 2016). Nesse ínterim, o governo fez enormes esforços para a construção do Centro de Lançamentos de Alcântara (CLA), localizado no estado do Maranhão, iniciando-se atividades de desenvolvimento para a construção do foguete VLS – Veículo Lançador de Satélites, o qual deveria ser capaz de colocar em órbita equatorial a uma altitude de aproximadamente 750 km, os satélites que seriam construídos pelo INPE. Como parte destes esforços estava incluída a construção do Laboratório de Integração e Testes (LIT), destinado à montagem, integração e testes de satélites, simulando os ambientes de lançamento, órbita e operação. (WINTER e PRADO, 2007).

No tocante a atividades de satélites no Brasil, a parceria com a China, que completou 30 anos em 2018, rendeu grandes avanços por meio do desenvolvimento, fabricação e lançamento de cinco satélites da série CBERS – *China-Brazil Earth Resources Satellite* (AEB, 2012).

Todas essas parcerias do Brasil com outras nações como a China, Índia e Estados Unidos, ajudaram no desenvolvimento de atividades espaciais em algumas áreas do conhecimento ao longo das últimas cinco décadas, como nas ciências espaciais, atmosféricas, engenharias, sensoriamento remoto e clima espacial.

A Agência Espacial Brasileira (AEB), autarquia vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), foi criada em fevereiro de 1994, e trabalha para empreender os esforços do governo brasileiro na promoção da autonomia do setor espacial (AEB, 2012), sendo a Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE) a que estabelece objetivos e

diretrizes para os programas e projetos nacionais relativos à área espacial. Além disso, o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) é o seu principal instrumento de planejamento.

O Quadro 1 apresenta o histórico de lançamentos de satélites em que houve envolvimento direto do INPE.

Quadro 1 - Cronologia de Lançamento de satélites testados no INPE

Satélite	Ano de lançamento	Status
SCD-1	09/02/1993	Sucesso
Brasilsat 01	10/08/1994	Sucesso
Brasilsat 02	28/03/1995	Sucesso
SAC-B	04/11/1996	Falha no lançamento
SCD-2A	02/11/1997	Falha no lançamento
SCD-2B	22/10/1998	Sucesso
CBERS-1	14/10/1999	Sucesso
SACI-1	14/10/1999	Falha do satélite
SACI-2	11/11/1999	Falha no lançamento
SAC-C	22/11/2000	Sucesso
HSB	04/05/2002	Sucesso
SATEC	22/08/2003	Falha no lançamento
CBERS-2	21/10/2003	Sucesso
CBERS-2B	19/09/2007	Sucesso
SAC-D	10/06/2011	Sucesso
CBERS-3	09/12/2013	Falha no lançamento
CBERS-4	07/12/2014	Sucesso
CBERS 04A	Lançamento agendado para 2019	
Amazonia-1	Lançamento agendado para 2020	

Fonte: Adaptado de LIT/INPE (2019)

2.2 O CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO ESPACIAL

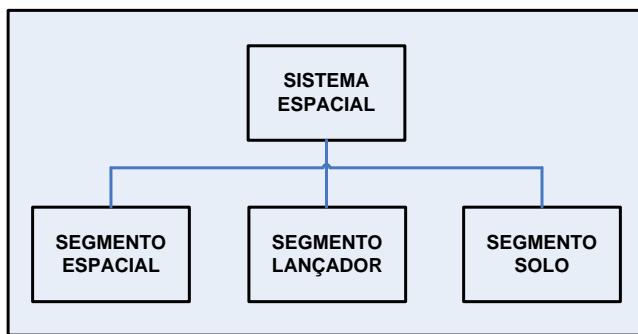
YASSUDA (2010) cita que a exploração do espaço exterior (*outer space*) envolve riscos de diversas naturezas e oferece desafios científicos, tecnológicos e, sobretudo, gerenciais extraordinários. Segundo o autor, as missões são diferentes umas das outras, sendo únicas em sua essência, contendo uma estrutura própria de requisitos de forma complexa e extensa. LOUREIRO (1999) reitera que a incorporação destes requisitos ao produto espacial é de suma importância, dado que pequenos desvios podem resultar em grandes perdas para a missão, uma vez que não há possibilidade de se consertar os sistemas espaciais quando em órbita. Ainda dentro deste contexto, existe pressão no tocante a custo, prazo e cronograma. Historicamente, já ficou demonstrado que uma missão espacial envolve a monta de centenas de milhões de dólares e que um projeto espacial pode levar mais de uma década, desde o desenvolvimento até a o lançamento, sendo que qualquer erro no planejamento pode ter como resultado grandes perdas de sistemas ou humanas, culminando por colocar em descrédito não somente instituições, como as equipes envolvidas. (PAXTON, 2007) pontua que a NASA tentou fazer coisas “mais rápidas, melhores e mais baratas”. Mundialmente o mantra do FBC – *Fast, Better and Cheaper*, levou a algumas falhas e, mais significativamente, a um aumento na cadênciadas missões. Segundo o autor, a cadênciada missão é um importante facilitador da inovação e o condutor para o treinamento e teste da próxima geração de gerentes, engenheiros e cientistas. Além disso, uma alta cadênciade missão é necessária para manter e desenvolver competência no projeto, gerenciamento e execução de missões e, para uma organização orientada para a exploração, desenvolver e treinar a próxima geração de líderes: o tempo entre as missões deve ser curto o suficiente para que as carreiras possam completar a vida de mais de algumas missões.

Para um gerenciamento de projeto efetivo na área espacial existem normas que são utilizadas como referência para guiar as equipes de gerenciamento, sendo as mais conhecidas os padrões de gerenciamento da ECSS – *European Cooperation for Space Standardization*, adotados por todos os países europeus que desenvolvem atividades espaciais, incluindo a ESA – *European Space Agency* e seus parceiros. O

Brasil também utiliza os padrões ECSS em seus projetos espaciais, assim como alguns países asiáticos, como a Índia e a China.

O projeto de um sistema espacial geralmente abrange pelo menos três segmentos: segmento espacial (satélite), segmento solo (centros de controle) e segmento lançador (foguete), ou seja, para se ter um artefato espacial (ex.: satélite ou sonda) colocado no espaço, se faz necessário um sistema de transporte espacial, ou seja, um foguete para colocá-lo na órbita correta, além de centros de controle e rastreio para se fazer o *uplink/downlink* de dados, por meio de antenas e algoritmos específicos, para se obter o recebimento das informações úteis do satélite, bem como para se fazer seu controle em órbita. A Figura 1 apresenta a hierarquia de um sistema espacial.

Figura 1 - Hierarquia de um Sistema Espacial



Fonte: Adaptado de SILVA, 2015

Segundo o Guia PMBoK (*Project Management Body of Knowledge*), tanto a organização quanto os gerentes de programas podem dividir os projetos em fases, como forma de se obter um melhor controle gerencial e ligações adequadas com as operações em andamento na organização executora. O Guia enfatiza também que o ciclo de vida é caracterizado, entre outras coisas, por fases sequenciais marcadas por entregas pré-definidas (PMI, 2013).

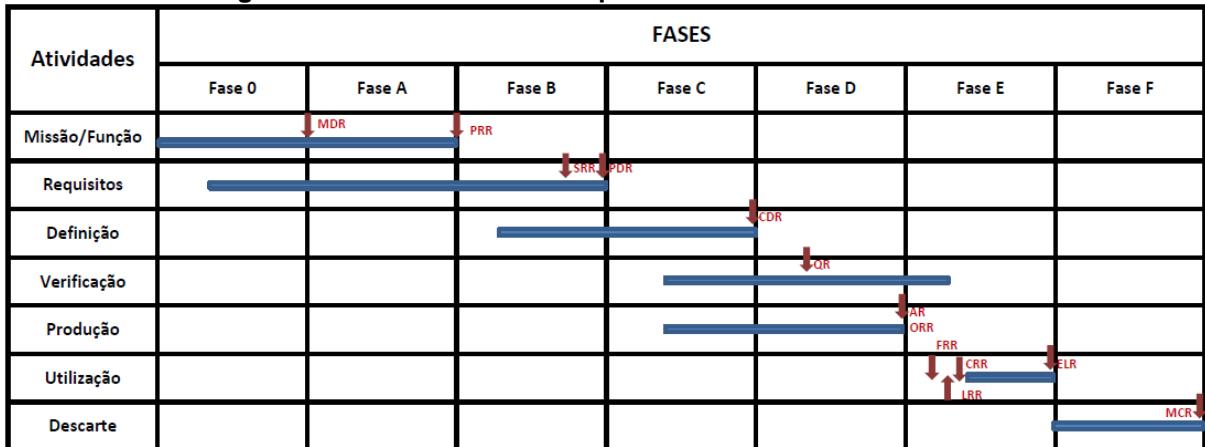
Segundo SILVA (2015), tanto a abordagem como a metodologia de gerenciamento de projetos que serão utilizadas durante todo o ciclo de vida do projeto são definidas no Plano de Gerenciamento do Projeto. Este plano apresenta uma visão geral de todas as disciplinas envolvidas, incluindo as definições de engenharia de sistemas e as abordagens utilizadas para a garantia do produto (ECSS, 2009b), devendo ser identificados os produtos finais, as infraestruturas gerenciais e técnicas necessárias

para o desenvolvimento. SILVA (2015) complementa afirmando que neste plano também devem estar presentes as decisões de se comprar ou de se desenvolver algum item/subsistema, assim como no plano que trata da maturidade tecnológica.

Assim como o PMI – *Project Management Institute*, a ECSS também recomenda que seja utilizada a abordagem de ciclo de vida de projetos divididos por fases, com o intuito de se ter um maior controle gerencial do projeto. Desta forma, para cada uma das fases se faz necessário especificar entregas claras e bem definidas. O ciclo de vida proposto pela ECSS para projetos espaciais, apresentado na Figura 2, é tipicamente dividido da seguinte maneira:

- Fase 0 – Análise de Missão;
- Fase A – Viabilidade do Projeto;
- Fase B – Definição Preliminar;
- Fase C – Definição Detalhada;
- Fase D – Qualificação e Produção;
- Fase E – Operações;
- Fase F – Descarte (Descomissionamento)

Figura 2 - Ciclo de vida de um produto de acordo com a ECSS



Fonte: Adaptado de ECSS, 2009b

Canonicamente, ao término de uma fase (*milestones* ou eventos contratuais), são conduzidas reuniões de avaliação das atividades desenvolvidas (revisões de projeto), onde são esperados itens entregáveis (ex: documentação, protótipos testados, modelo de qualificação, modelo de voo) e que variam de uma fase para outra. Ao final

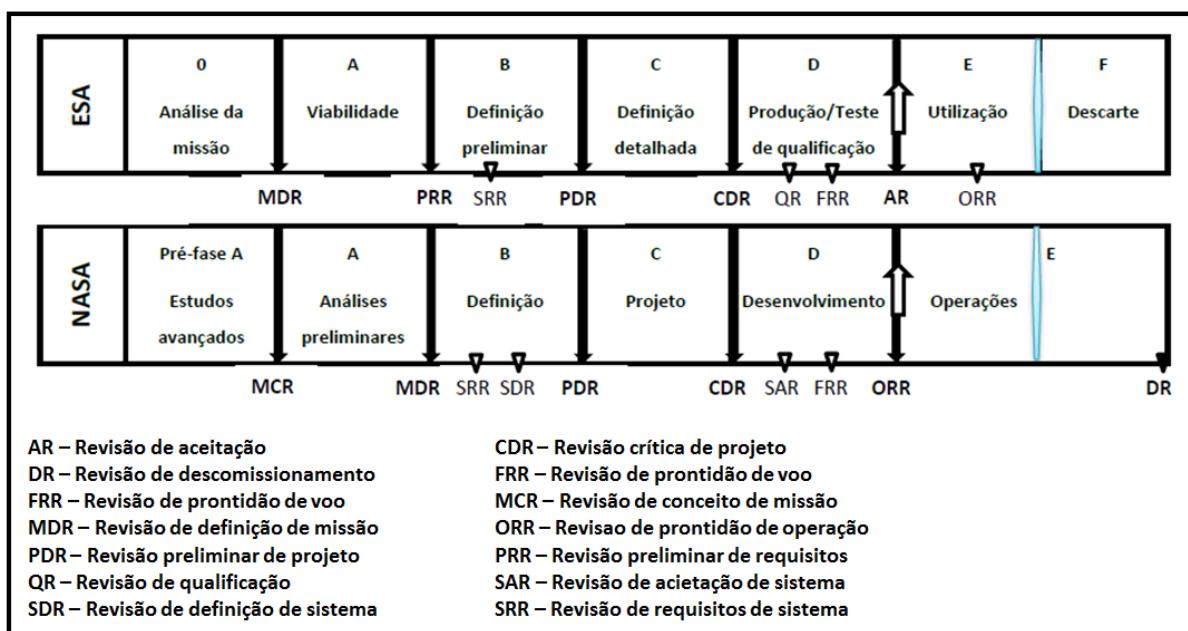
de cada evento, se ficar concluído que a entrega foi satisfatória, então é autorizado o início da fase seguinte.

Assim como o padrão europeu ECSS, a NASA também divide as atividades de segurança por fases de projeto, no entanto, sua filosofia é um pouco mais complexa, conforme pode ser observado no Diagrama de Segurança de Sistemas, apresentado na Figura 2-3 do Manual de Segurança de Sistemas da NASA, onde se apresenta orientações sobre as atividades que devem ser realizadas para satisfazer aos objetivos de segurança definidos (NASA, 2011).

Em resumo, os principais processos apresentados no Diagrama de Segurança de Sistemas, que objetivam apoiar as atividades de segurança em alcançar e demonstrar sua implementação, são os seguintes: estabelecer os objetivos da segurança; conduzir as atividades de segurança de sistemas e desenvolver e avaliar o caso de segurança informado pelo risco (RISC).

Cabe ressaltar que, no tocante às fases do ciclo de vida de um projeto, nota-se na parte superior do Diagrama de Segurança de Sistemas algumas diferenças em termos de números de fases, quando se compara com o padrão europeu ECSS utilizado pela ESA. A Figura 3 apresenta estas diferenças de forma simplificada.

Figura 3 – Fases do ciclo de vida do projeto espacial ESA & NASA



Fonte: Adaptado de GENARO (2017)

A norma ECSS-Q-ST-40 – *Space Product Assurance - Safety* possuiu um capítulo dedicado ao ciclo de vida de um projeto espacial e relaciona quais as atividades e os itens entregáveis de segurança para cada fase do projeto (ECSS, 2017). Um resumo destes itens entregáveis são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Atividades do programa de segurança de um projeto espacial

Fase do projeto	Descrição das atividades	Itens entregáveis
Fase 0: Análise da missão	Realizar a análise preliminar de perigos e de segurança em nível de missão, baseada em histórico de missões anteriores.	Análise preliminar de perigo para a missão espacial.
Fase A: viabilidade do projeto	Propor os requisitos preliminares de segurança do projeto, baseado nas análises de <i>trade-off</i> e de missões anteriores.	Documento preliminar de requisitos de segurança do projeto.
Fase B: Definição preliminar	Realizar análises de segurança mais detalhadas e voltadas ao projeto e operações do sistema espacial. As análises devem fornecer entradas para a avaliação dos riscos de segurança e identificação dos colaboradores para o risco no projeto.	Análise de segurança (primeiras avaliações de riscos de segurança para o projeto em estudo).
Fase C/D: Definição detalhada / qualificação e produção	Realizar análises de segurança focadas no projeto detalhado, produção, qualificação e testes do sistema espacial. Análises de segurança com foco na otimização de segurança, avaliação da implementação de requisitos de segurança, verificação da redução dos riscos e aceitação dos perigos e riscos. Análises de segurança para dar suporte na identificação de uma situação de emergência, plano de contingência e requisitos de treinamento e elaboração de procedimentos.	Versão final dos documentos de requisitos de segurança em alto nível. Análise dos perigos envolvidos nas atividades de produção e testes. Registros das auditorias de verificação da correta implementação das atividades de redução dos perigos e riscos identificados. Plano de emergência. Evidências de treinamentos de conscientização de segurança para a equipe. Procedimentos de segurança
Fase E: Operação	Análises de segurança para avaliar o projeto e mudanças operacionais que impactem na segurança, como forma de assegurar que as margens de segurança serão mantidas e que as operações serão realizadas dentro do risco aceitável.	Análise de segurança durante a operação de segurança. Registros de monitoramento do risco.
Fase F: Descarte / Descomissionamento	Análises de segurança para avaliar operações de descarte e perigos associados. Identificar as melhores soluções de descarte que atendam aos requisitos de segurança do projeto.	Avaliações dos perigos associados ao descarte do sistema espacial. Documento apresentando as soluções de descarte para o projeto.

Fonte: Adaptado da ECSS (2017)

Analisando-se o Quadro 2 fica evidente que as atividades referentes à disciplina segurança permeia o ciclo de vida do projeto espacial desde a fase de concepção até a fase de descarte/descomissionamento.

2.3 OS PROJETOS AMAZONIA-1 E CBERS 04A

2.3.1 Descrição geral do satélite Amazonia-1

O principal objetivo da Missão Amazônia é fornecer imagens de sensoriamento remoto para observar e monitorar o desmatamento, para melhorar os sistemas de detecção em tempo real (ex.: Sistema DETER – Detecção e Desmatamento em Tempo Real) de desmatamento do território brasileiro, especialmente na região amazônica, e também monitorar a agricultura diversificada em todo o país com alta taxa de reexame, levando em conta a sinergia com outros programas brasileiros existentes. Além disso, os dados do satélite Amazonia-1 podem ser úteis para outras aplicações relacionadas, como monitoramento da costa oceânica, reservatórios, florestas naturais e cultivadas e desastres naturais, entre outros (AMAZONIA-1/INPE, 2019).

O Amazonia-1 será o primeiro satélite brasileiro baseado na plataforma multimissão (PMM), com o objetivo de fornecer dados não apenas para monitoramento ambiental, mas também para validar o módulo de serviço da PMM em voo. Além disso, com o desenvolvimento da família de satélites da série Amazônia, o Brasil será capaz de adquirir conhecimento em todo o ciclo de vida de desenvolvimento de satélite estabilizado em três eixos. A Missão Amazônia é a primeira totalmente desenvolvida pelo Brasil com esse nível de complexidade. Sua carga é o WFI (*Wide Field Imager*) que foi desenvolvido para o Programa CBERS e já possui herança de voo.

Do ponto de vista do sistema, o satélite foi organizado em nove arquiteturas: Arquitetura ACDH (que compreende o manuseio de dados a bordo e Arquitetura de Missão), Arquitetura Elétrica, Arquitetura Térmica, Arquitetura de Telecomunicações,

Arquitetura de Carga Útil, Arquitetura Mecânica, Arquitetura de Verificação, Integração e Arquitetura de Teste e Engenharia de Solo.

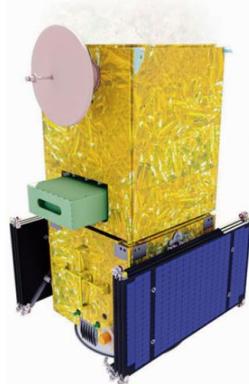
No que diz respeito aos subsistemas, o módulo de serviço é composto por subsistema de estrutura (STR), subsistema de controle térmico (TCS), subsistema de controle de atitude e tratamento de dados (ACDH), subsistema de propulsão (PROP), subsistema de suprimento de energia (PSS) e subsistema de telemetria e telecomando (TT&C). O módulo de carga útil é composto pelo subsistema de estrutura (STR), subsistema de imagem de campo largo (WFI), subsistema de gravador de dados digitais (DDR), subsistema de transmissor de dados AWFI (AWDT) e subsistema de controle térmico.

O satélite foi projetado para realizar o conceito de “defesa em profundidade”. Deste ponto de vista, o automatismo de bordo foi reduzido no mínimo necessário para manter o satélite em condições seguras, mesmo em condições de falha. A maior parte da ação crítica foi projetada para ser retirada do solo. Além disso, sob condições normais, depois de detectar uma situação anômala, o satélite pode se mover de qualquer atitude para uma condição de potência positiva sem qualquer intervenção no solo e permanece lá por tempo ilimitado aguardando a ação do solo.

Finalmente, os propulsores são usados apenas para propósito de incremento de velocidade delta sob programação e supervisão de solo.

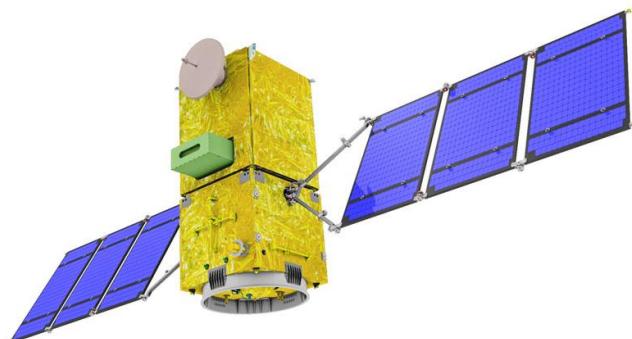
A Figura 4 apresenta a Plataforma Multimissão do satélite Amazonia-1 fixada ao seu módulo de carga útil (configuração de lançamento). A Figura 5 apresenta a Plataforma Multimissão do satélite Amazonia-1 acoplado à carga útil (configuração em órbita). A Figura 6 apresenta a vista explodida do satélite.

Figura 4 - Configuração de lançamento do satélite Amazonia-1



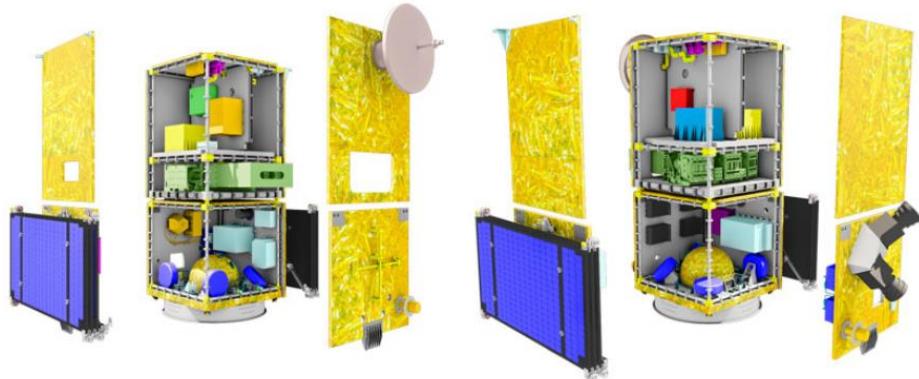
Fonte: AMAZONIA-1/INPE (2019)

Figura 5 - Configuração em órbita do satélite Amazonia-1



Fonte: AMAZONIA-1/INPE (2019)

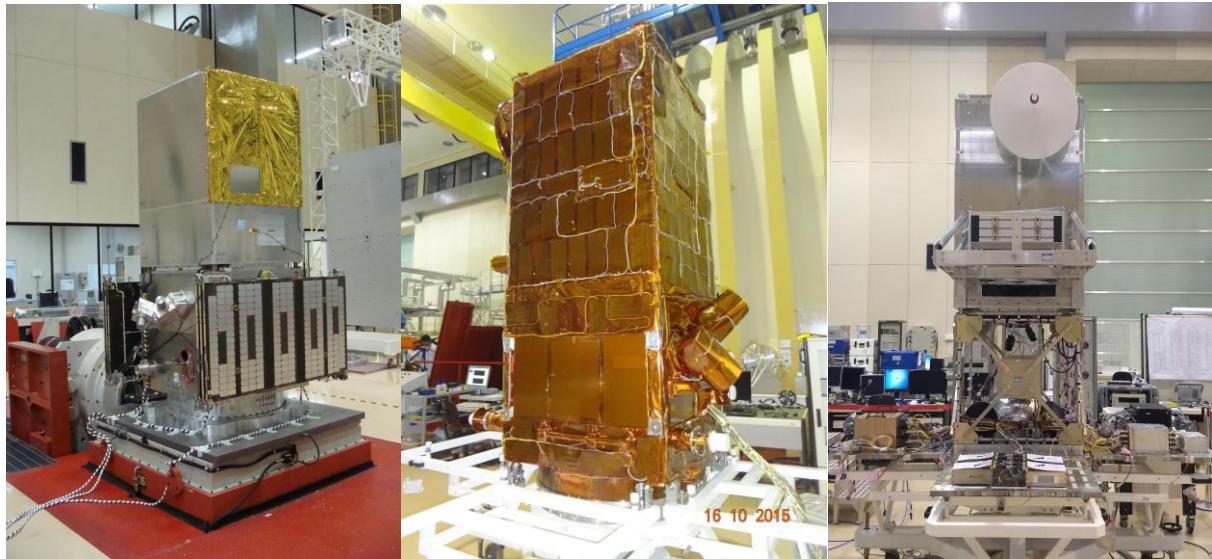
Figura 6 - Vista Explodida do satélite Amazonia-1



Fonte: AMAZONIA-1/INPE (2019)

Como o projeto de desenvolvimento do satélite Amazonia-1 é o primeiro de uma série de satélites previstos para o futuro, se faz necessário o uso da teoria dos modelos. Neste sentido, antes do modelo de voo foi necessário validar seu modelo estrutural, modelo térmico e modelo elétrico. A Figura 7 apresenta os modelos estrutural, térmico e elétrico, respectivamente.

Figura 7 - Modelos estrutural, térmico e elétrico do satélite Amazonia-1



Fonte: Arquivo INPE

2.3.2 Descrição geral do satélite CBERS 04A

O satélite CBERS 04A é fruto de uma cooperação na área espacial firmada entre o Brasil e a China em 1988 (OLIVEIRA, 2009). No âmbito desta cooperação o Brasil já lançou cinco satélites entre os anos de 1999 e 2014.

Os satélites da série CBERS fornecem imagens para o monitoramento do meio ambiente, de desmatamentos, desastres naturais, expansão da agricultura e das cidades (PRATES, 2015).

O CBERS 04A será um satélite de sensoriamento remoto de média resolução, dotado de cargas úteis ópticas operando no espectro visível com resoluções na faixa de 2 a 60 metros (INPE, 2019).

A configuração do Satélite CBERS 04A será parecida com a dos satélites anteriores, com algumas melhorias para acomodar a nova câmera imageadora chinesa, que possui qualidade superior na resolução geométrica e espectral.

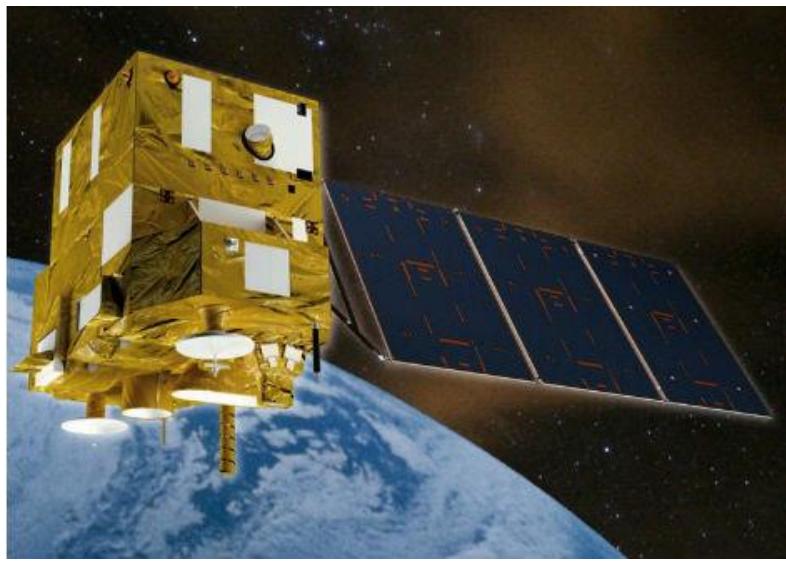
O Quadro 3 apresenta as diferenças entre todos os satélites da série CBERS já construídos por meio desta parceria de cooperação. A Figura 8 apresenta uma ilustração artística do satélite CBERS 04A.

Quadro 3 - Diferenças entre gerações dos satélites da série CBERS

Diferenças entre os Satélites da 1^a e 2^a Geração			
Característica	1^a Geração	2^a Geração	
	CBERS-1, 2 e 2B	CBERS-3 e 4	CBERS-04A
Massa total [kg]	1450	2080	1980
Potência gerada [W]	1100	2300	2100
Taxa de dados [Mbps/s]	100	300	900
Vida útil projetado [anos]	2	3	5
Participação brasileira [%]	30	50	50

Fonte: CBERS/INPE (2018)

Figura 8 - Representação Artística do satélite CBERS 04A



Fonte: CBERS/INPE (2018)

A divisão de responsabilidades entre Brasil e China é de 50% para cada país, assim como a divisão de responsabilidades no fornecimento dos subsistemas e equipamentos, conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 - Divisão de responsabilidades Brasil e China – CBERS 04A

Divisão de responsabilidades para o CBERS-04A		
	Subsistema	Responsabilidade
Módulo de Serviço	Estrutura (STRU)	Brasil
	Suprimento de Energia	Brasil
	Comunicação em Banda-S (TTCS)	Brasil
	Controle Térmico (TCSS)	China
	Controle de Atitude e Órbita (AOCS)	China
	Supervisão de Bordo (OBDH)	China, mas equipamentos CTU e RTUs são fornecidos pelo Brasil
	Cablagem (SYCS)	China
Módulo de Carga Útil	Câmera Multiespectral (MUX)	Brasil
	Câmera Imageadora de Campo Largo (WFI)	Brasil
	Gravador Digital de Dados (DDR)	Brasil
	Subsistema de Coleta de Dados (DCS)	Brasil
	Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM)	China
	Sistema Transmissor de Dados (DTS)	China
	Monitor de Ambiente Espacial (SEM)	China
	Cablagem (SYCS)	China

Fonte: CBERS/INPE (2018)

2.4 MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES DE SATÉLITES

As etapas de montagem, integração e testes fazem parte das atividades de engenharia de sistemas e servem principalmente para construir o *hardware* de voo (subsistema ou sistema – satélite) e verificar, por meio de testes, se o que foi produzido na etapa anterior está de acordo com requisitos e especificações do projeto.

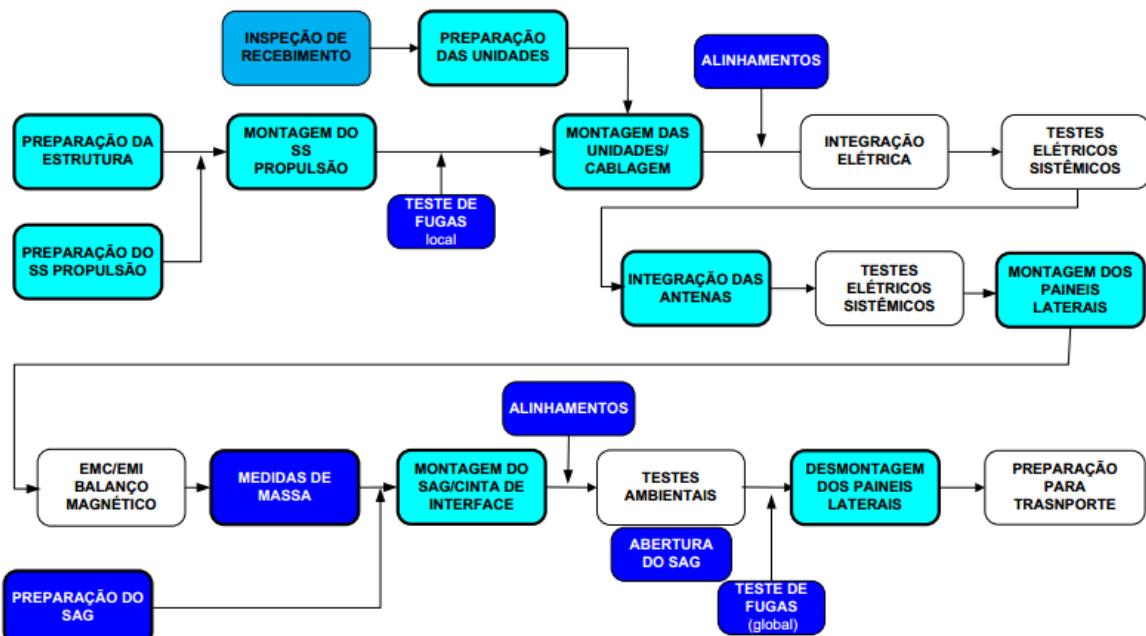
Segundo SILVA (2011), no que se refere ao sistema satélite, o termo montagem está relacionado às operações mecânicas executadas para posicionar, fixar e interligar fisicamente cada uma das unidades pertencentes ao satélite. No entanto, esta

montagem obedece a uma sequência lógica, conforme a função e acessibilidade do item que será montado (PISACANE, 2005).

PISACANE (2005) define o termo integração como sendo um processo de montagem de unidades em um subsistema, seguido da certificação de que cada parte instalada esteja funcionando quando totalmente interligada.

A Figura 9 apresenta a sequência típica de montagem e integração mecânica de um satélite.

Figura 9 - Sequência típica de montagem e integração mecânica.



Fonte: SILVA (2011)

Segundo BÜRGUER (2014), os testes fazem parte do conjunto de alternativas disponíveis para a verificação de requisitos, sendo considerados métodos caros, porém eficazes. Normalmente, para a condução de testes, se faz necessária a utilização de equipamentos que simulam o ambiente a que o sistema estará exposto, medindo seu desempenho, funções e possíveis defeitos (NASA, 2007).

2.4.1 Testes realizados em satélites

Os testes realizados em satélites já montados podem ser divididos em três categorias: testes ambientais, testes funcionais e testes de desempenho.

Os testes ambientais têm o objetivo de simular as diversas situações (simultâneas ou isoladas) às quais o satélite estará exposto durante sua vida operacional (ECSS, 2014). Os testes funcionais são testes elétricos reduzidos que têm o objetivo de verificar se as funções e o desempenho do satélite não foram afetados pela exposição a uma determinada situação - testes, transporte, ou ambiente espacial (ECSS, 2009a; SILVA, 2011). Os testes de desempenho consistem de testes elétricos e mecânicos executados em condições iguais ou mais brandas que os descritos nas especificações de projeto com o objetivo de verificar se o sistema atendeu aos requisitos verificáveis pela metodologia utilizada para o teste (SILVA, 2011).

Segundo a ECSS (2014), o objetivo das atividades da garantia de qualidade e segurança nas instalações de um centro de testes é o de garantir que todos os riscos técnicos e programáticos associados aos testes ambientais de produtos espaciais realizados sejam adequadamente gerenciados através da implementação de um programa de garantia de segurança.

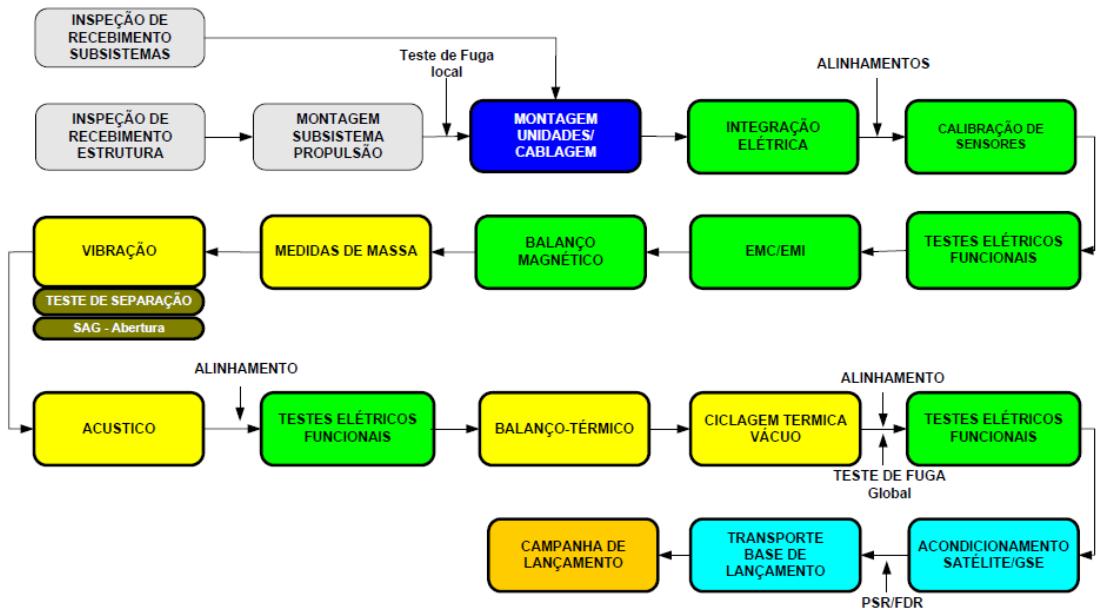
A ECSS (2014) define o centro de testes como sendo a entidade responsável por demonstrar que um programa de garantia de segurança abrangendo a definição, projeto, desenvolvimento, implementação e melhoria contínua de competências, processos e instalações seja estabelecido, implementado e mantido durante toda a prestação do serviço de teste a um cliente.

2.4.1.1 Sequência de testes

Para a determinação da sequência de testes deve-se considerar: preservação da ordem dos ambientes que o satélite encontrará durante seu ciclo de vida e detecção de falhas ou defeitos o mais cedo possível durante a sequência de testes (ECSS, 2012).

A sequência geral típica de AIT (*Assembly, Integration and Test* – Montagem, Integração e Testes) de satélites é ilustrada na Figura 10.

Figura 10 - Sequência geral de AIT de satélites



Fonte: SILVA (2011)

2.4.2 Infraestrutura necessária para realização dos testes ambientais

Para se realizar a campanha de testes ambientais de um satélite é necessária a utilização de diferentes tipos de instalações. Segundo PISACANE (2005), para se garantir que requisitos sejam verificados de maneira satisfatória, a infraestrutura do centro de testes deve ser composta de sala limpa, vibrador (*shaker*), câmara acústica reverberante, instalações para realização de medidas de propriedades de massa, câmara vacuotérmica e câmaras anecoicas blindadas.

2.4.2.1 Instalação para testes de vibração de satélites

Segundo LIT/INPE (2019), os testes dinâmicos de vibração constituem uma ferramenta de extrema importância para a qualificação e aprimoramento da qualidade mecânica de um produto em suas fases de projeto e desenvolvimento.

Os testes de vibração em satélites têm por objetivo verificar o comportamento estrutural do sistema quando da fase de lançamento em veículo lançador, ou seja, simular os esforços que o sistema irá receber durante o período de ascensão dentro da coifa do veículo, com base em valores típicos de aceleração e esforços já

conhecidos do foguete. A Figura 11 apresenta uma foto do satélite CBERS-2 posicionado sobre a mesa de um vibrador eletrodinâmico de 160KN.

2.4.2.2 Instalação para testes acústicos de satélites

Os testes acústicos de um satélite têm como principal objetivo medir a resposta da estrutura do satélite ao ambiente ruidoso oriundo dos motores do foguete durante a fase de lançamento. Os testes são realizados em grandes câmaras acústicas reverberantes, sendo que a instalação encontrada no INPE chega a atingir nível acústico nominal de 156,5 dB.

Figura 11 - Satélite CBERS-2 durante teste de vibração



Fonte: Arquivo INPE

2.4.2.3 Instalação para testes vacuotérmicos

Os testes vacuotérmicos são realizados em câmaras de simulação espacial que reproduzem as condições ambientais de vácuo e variação de temperatura que o satélite irá experimentar durante o período de permanência no espaço. Segundo

ALMEIDA et al. (2016) as câmaras de simulação espacial recriam o ambiente frio utilizando as paredes frias da câmara, porém mantendo altas propriedades de absorção térmica, impõem cargas térmicas orbitais em termos de radiação térmica absorvida pelas superfícies do satélite e medem o calor dissipado pelos equipamentos eletrônicos, de acordo com seus modos de operação. Estes testes costumam durar cerca de três semanas, pois durante este período todas as condições de operação em órbita são simuladas pela câmara, enquanto as funções do satélite são testadas em solo. A Figura 12 apresenta uma foto da maior câmara vacuotérmica do hemisfério sul, localizada no INPE, em São José dos Campos.

Figura 12 - Câmara de Simulação Espacial do INPE



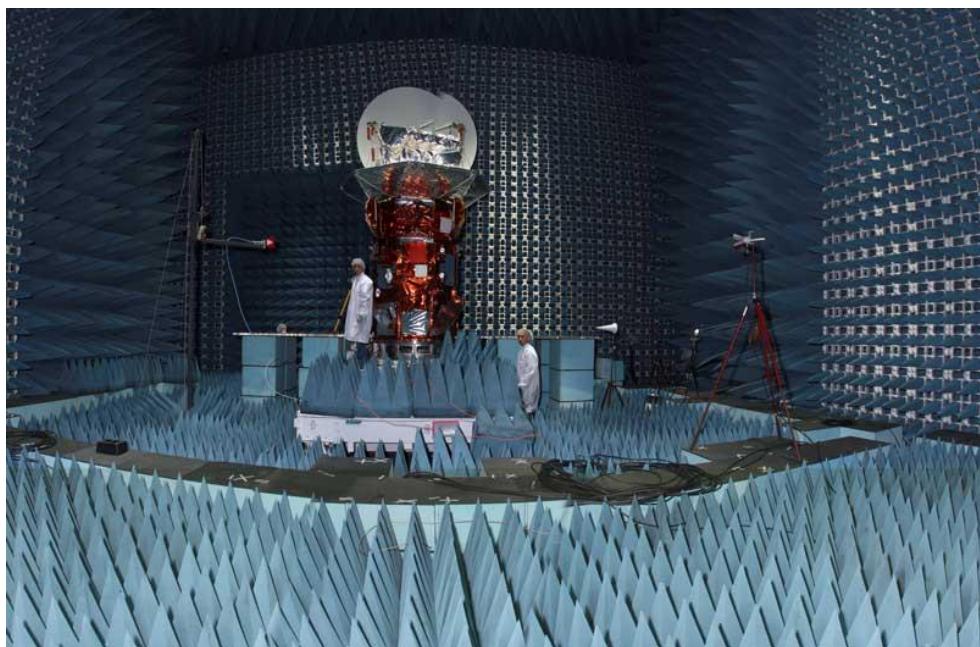
Fonte: Arquivo INPE

2.4.2.4 Instalação para testes de EMI/EMC

O teste de EMI/EMC RE/RS (*Electromagnetic Interference/Electromagnetic Compatibility – Radiated Emission and Radiated Susceptibility – Interferência e Compatibilidade Eletromagnética – Emissão Irradiada e Susceptibilidade Irradiada*) tem como função principal medir se o espectro de emissão do satélite é suscetível a emissões irradiadas, quando estiver operando nos modos previstos em órbita (ECSS, 1996a *apud* SILVA, 2011).

O principal objetivo de se realizar medições do espectro de irradiação é verificar se o satélite não causará interferência no foguete lançador durante as operações na base de lançamento e durante o próprio lançamento (SILVA, 2011). Segundo o autor, no teste de emissão irradiada, medidas do espectro são realizadas em vários modos de operação do satélite, e não apenas na configuração de lançamento. A Figura 13 apresenta uma das câmaras anecoicas blindadas utilizadas para testes de EMI/EMC nas instalações do INPE.

Figura 13: Satélite SAC-D/Aquarius durante testes de EMI/EMC



Fonte: Arquivo INPE

2.5 IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA EM PROJETOS ESPACIAIS

Segundo a NASA (2014), a segurança do sistema é a aplicação de princípios, critérios e técnicas de engenharia e gerenciamento com o objetivo de otimizar a segurança dentro das limitações de eficácia operacional, tempo e custo em todas as fases do ciclo de vida do sistema, sendo uma busca racional de segurança dentro de uma perspectiva sistêmica. No entanto a aplicação destes princípios, critérios e técnicas não é tão simples, pois a questão “o quanto seguro é seguro o suficiente?” é muito subjetivo e difícil de ser respondido (DEZFULI et. al., 2012).

A área espacial é conhecida por suas grandes façanhas de sucesso, mas também com os casos de acidentes envolvendo veículos espaciais, instalações e pessoas.

O Manual de Segurança do Sistema da NASA apresenta dois princípios fundamentais de segurança que juntos constituem segurança adequada.

Segundo a NASA (2011), um sistema adequadamente seguro é avaliado como atendendo a um nível mínimo de segurança, conforme determinado pela análise, experiência operacional ou uma combinação de ambos. Abaixo deste nível, o sistema é considerado inseguro. Este nível mínimo de segurança não é necessariamente fixo ao longo da vida de um sistema. À medida que um sistema é operado e se obtém informações sobre seus pontos fortes e fracos, geralmente são feitas modificações de projeto (*hardware* e *software*) e operacionais que, em longo prazo, melhoram seu desempenho de segurança. Em particular, um nível inicial de desempenho de segurança pode ser aceito para um sistema de desenvolvimento, com a expectativa de que ele será melhorado à medida que os modos de falha forem diminuindo ao longo do tempo.

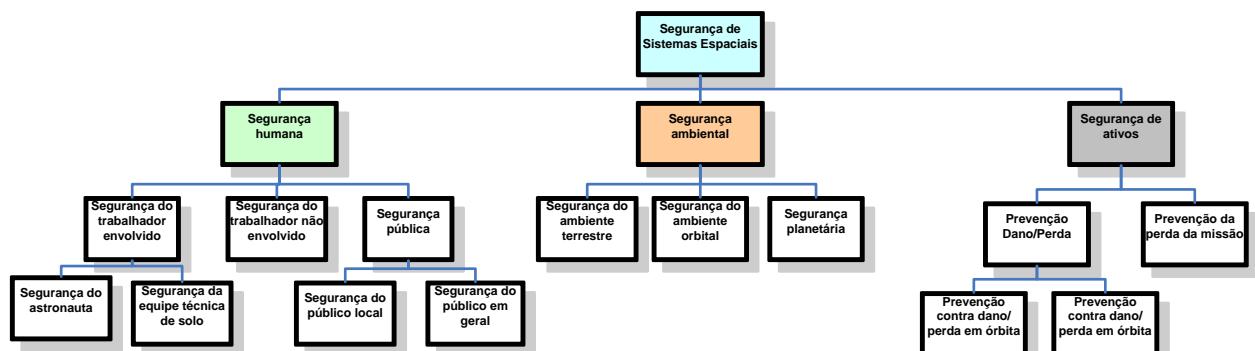
Um sistema adequadamente seguro é o ASARP – *as safe as reasonably practical*. O conceito ASARP está intimamente relacionado aos conceitos de “tão baixo quanto razoavelmente possível” (ALARA) e “tão baixo quanto razoavelmente praticável” (ALARP) que são comuns nas aplicações nucleares dos Estados Unidos da América e na lei de Saúde e Segurança do Reino Unido, respectivamente (U.S CODE OF FEDERAL REGULATION, 1991; PARLIAMENT OF THE UNITED KINGDOM, 1974). A determinação de que um sistema é ASARP implica levar em consideração o seu desempenho de segurança em relação ao sacrifício necessário para melhorá-lo. O sistema é ASARP se uma melhoria incremental na segurança exigir uma deterioração desproporcional do desempenho do sistema em outras áreas, incluindo técnica, custo e cronograma.

Projetos espaciais geralmente são caros devido à especificidade das atividades, pois muitas vezes o sistema que será construído é o primeiro da categoria, o que implica em custos de desenvolvimento, fabricação e testes de protótipos até se chegar ao modelo de voo. Além disso, envolve grande número de pessoas em uma atividade multidisciplinar que envolve técnicas de gerenciamento sofisticadas. Dentro deste

contexto a segurança e a confiabilidade dos sistemas precisam ser cuidadosamente analisadas, pois a falha de um sistema espacial gera um impacto muito grande. A Figura 14 apresenta a população impactada pelas atividades de segurança de sistemas espaciais, ou seja, pessoas, meio ambiente e ativos.

No tocante à segurança humana, a segurança de sistemas espaciais zela pela segurança de trabalhadores envolvidos e não envolvidos pelas atividades, assim como a segurança do público em geral. Devido ao fato de que a NASA está envolvida com voos espaciais tripulados, a segurança do astronauta aparece no diagrama. A segurança pública também é levada em consideração, visto que um projeto espacial não pode impactar a comunidade e seu entorno.

Figura 14 - População impactada pela segurança



Fonte: Adaptado de (NASA, 2011)

A segurança ambiental zela não somente pelo ambiente terrestre, mas pelos ambientes orbital e planetário. Existe o tratado sobre *Princípios Reguladores das Atividades Espaciais dos Estados na Exploração e Uso do Espaço Cósmico*, inclusive da Lua e demais corpos celestes, de 1967, conhecido como o “Tratado do Espaço”, que foi assinado por 27 países e ratificado por 98 - dados de 1º/2/08; e o *Acordo que Regula as Atividades dos Estados na Lua e em outros Corpos Celestes*, de 1979, conhecido como o “Acordo da Lua”, assinado por quatro países e ratificado por 13 (AEB, 2019).

Estes instrumentos internacionais demonstram que a Lua, como qualquer outro corpo celeste, e o próprio espaço exterior são temas de natureza internacional, não sendo por acaso que o Tratado do Espaço reconhece “o interesse que apresenta para toda a humanidade o programa da exploração e uso do espaço cósmico para fins pacíficos” e enfatiza o desejo dos Estados-Partes de “contribuir para o desenvolvimento de

ampla cooperação internacional no que concerne aos aspectos científicos e jurídicos da exploração e uso do espaço cósmico para fins pacíficos”.

A segurança de ativos trabalha para garantir que não haja dano e perdas de instalações do sistema espacial em solo ou em órbita, o que pode levar, no limite, à perda da missão.

No Brasil, após o trágico acidente com o foguete VLS, a AEB por meio de um corpo técnico constituído por representantes do Conselho Superior da AEB, INPE, DEPED – Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, Comando do Exército, Comando da Aeronáutica, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Ministério das Relações Exteriores e do Setor Industrial, divulgou e aprovou os Regulamentos de Segurança Espacial em 2007. Estes regulamentos de segurança são conjuntos de documentos estruturados, conforme relacionados no Quadro 5, e que estão disponíveis para *download* no portal da agência.

Quadro 5 - Regulamentos de Segurança Espacial do Brasil

Volume	Parte/Título	Status
01	Parte 1: Regulamento geral da segurança espacial	Em revisão
02	Parte 1: Regulamento técnico geral da segurança espacial	Em revisão
	Parte 2: Regulamento técnico da segurança ambiental	Em revisão
	Parte 3: Regulamento técnico da segurança para lançamento e voo	Em revisão
	Parte 4: Regulamento técnico da segurança para carga útil	Em revisão
	Parte 5: Regulamento técnico da segurança para complexo de lançamento	Em revisão
	Parte 6: Regulamento técnico da segurança para veículo lançador	Em revisão
03	Parte 7: Regulamento técnico da segurança para intersítios	Em revisão
	Parte 1: Regulamento de investigação e prevenção de acidentes	Elaboração

Fonte: A autora

Os regulamentos de segurança espacial do Brasil estão bem alinhados com a Figura 14, que mostra a população impactada segundo visão da NASA.

2.6 GERENCIAMENTO DE PERIGOS NA ÁREA ESPACIAL

Na NASA, as atividades de gerenciamento de perigos e riscos são realizadas pelas equipes de segurança, garantia de qualidade e gerenciamento de risco para se ter sistemas, funções, projetos ou programas bem sucedidos por meio da avaliação da probabilidade de executar atividades com segurança, conforme especificações e sob condições predeterminadas, mantendo-se um mínimo aceitável de perda por acidente (NASA, 2019).

Um programa de segurança e controle de qualidade mostra uma visão geral dos riscos para reduzir o custo do sucesso da missão e promover um ambiente de trabalho saudável. Para manter o seu histórico de sucessos, a NASA usa de metodologias analíticas e um conjunto de profissionais treinados.

O Gerenciamento de Riscos é tratado como um sistema formalizado para o gerenciamento de riscos (identificação de riscos, análise e abordagem planejada). Por meio de um processo contínuo de gerenciamento de riscos, a NASA controla melhor o risco por meio de tomadas de decisão informadas.

A Engenharia de Segurança é usada durante todo o ciclo de vida de um sistema para ajudar a identificar e eliminar riscos que podem ferir pessoas ou danificar o *hardware*. Segundo a NASA, a complexidade dos sistemas em constante crescimento, as análises de segurança e o controle de riscos são vitais para o sucesso da missão.

Em paralelo, os Engenheiros de Qualidade produzem e/ou verificam os produtos para garantir que os requisitos adequados de projeto e fabricação estejam sendo seguidos. Já os Engenheiros de Confiabilidade garantem o desempenho correto e a operação bem-sucedida de um produto ou sistema, participando de atividades de projeto, desenvolvimento e garantia do produto.

A Avaliação Probabilística de Riscos (PRA) é vista na NASA como sendo uma abordagem abrangente, estruturada e disciplinada para identificar, analisar e quantificar riscos em sistemas projetados. A PRA é usada principalmente como uma ferramenta de suporte a decisões que revela o design e a fraqueza operacional em

sistemas projetados e, em seguida, ajuda a identificar e priorizar sistematicamente melhorias de segurança.

Os especialistas em Garantia de Qualidade implementam as funções de garantia de qualidade definindo e impondo requisitos para compras governamentais. Os especialistas usam técnicas de garantia de qualidade para verificar se os processos e produtos do contratado atendem ou excedem os requisitos contratados.

O desenvolvimento, a verificação e a integração de *software* com o *hardware* apresentam risco significativo para o custo, cronograma e gerenciamento técnico de um projeto ou programa. Na NASA, ao se implementar um programa de garantia de *software*, um programa pode garantir e verificar melhor a qualidade e a confiabilidade do *software*, reduzindo os riscos do programa.

A nível institucional, a segurança e a garantia de qualidade (S&QA – *Safety and Quality Assurance*) da NASA oferecem especialização em segurança e saúde em atividades de solo para avaliar os sistemas e os ambientes de segurança de diversos testes. A função de “oficial de segurança de teste” é composta por profissionais experientes e altamente qualificados e com uma capacidade ímpar de identificar perigos exclusivos e oferecer soluções sob medida.

Todos na NASA são responsáveis pelo uso de procedimentos estabelecidos para relatar suspeitas de riscos de segurança ou de saúde para os funcionários. Nenhum funcionário estará sujeito a restrição, interferência, coerção, discriminação ou represália por registrar um relatório de uma condição de trabalho inseguro ou insalubre, pois existe um comprometimento em proteger a segurança e a saúde do público em geral e da força de trabalho, bem como evitar danos ou destruição dos ativos de alto valor, seja no solo ou fora dele (NASA, 2019).

Na ESA, as atividades de gerenciamento de perigos e riscos são realizadas de forma bem estrutura, sendo que os fornecedores para o programa espacial europeu são orientados a seguir o padrão ECSS.

A ECSS (2008b), recomenda que o processo de análise de perigos a ser utilizado pelos programas espaciais europeus comprehende as etapas e tarefas necessárias

para identificar e classificar perigos, para alcançar a redução de risco. Os passos básicos são:

- Passo 1: definir os requisitos de implementação da análise de perigos;
- Passo 2: identificar e classificar os perigos;
- Etapa 3: decidir e agir sobre os perigos;
- Passo 4: acompanhar, comunicar e aceitar os perigos.

A ECSS (2008b), cita que a implementação da análise de perigos em um projeto é baseada em aplicação única ou múltipla, ou seja, interativa, do processo de análise de perigo. As tarefas associadas às etapas individuais do processo de análise de perigo variam de acordo com o escopo e os objetivos especificados para a análise de perigos. O escopo e os objetivos da análise de perigos dependem do tipo e da fase do projeto.

A análise de perigos requer comprometimento de cada profissional da organização e do estabelecimento de papéis e responsabilidade bem definidos.

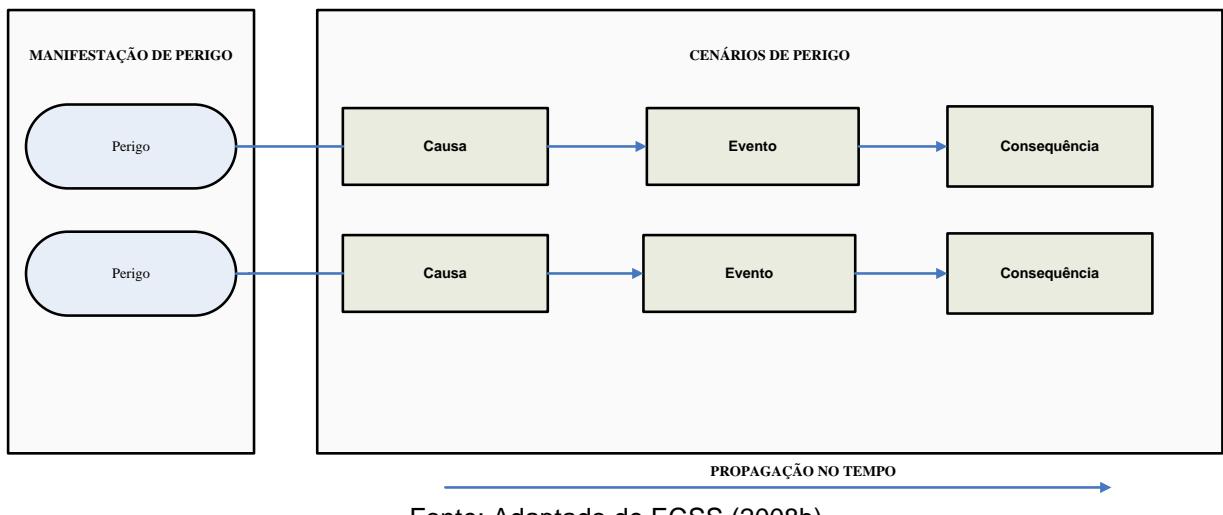
Segundo a ECSS (2008b), as atividades de análises de perigos são realizadas em diferentes níveis da cadeia cliente-fornecedor. As atividades de análises de perigos de mais baixo nível são integradas com as atividades de análises de perigos em nível de sistema.

No Brasil se utiliza o padrão ECSS para realizar as análises de perigos dos hardwares de voo. Os requisitos de segurança dos contratos industriais remetem às análises de perigos conforme o padrão ECSS-Q-ST-40-02C.

Cabe ressaltar que, segundo a ECSS, os cenários de perigo refletem o comportamento do sistema para os perigos iniciados em termos de propagação das causas, eventos e consequências para a segurança, conforme ilustrado na Figura 15.

A ocorrência de eventos está junto com os sintomas observáveis no sistema. As consequências de segurança são caracterizadas por sua severidade.

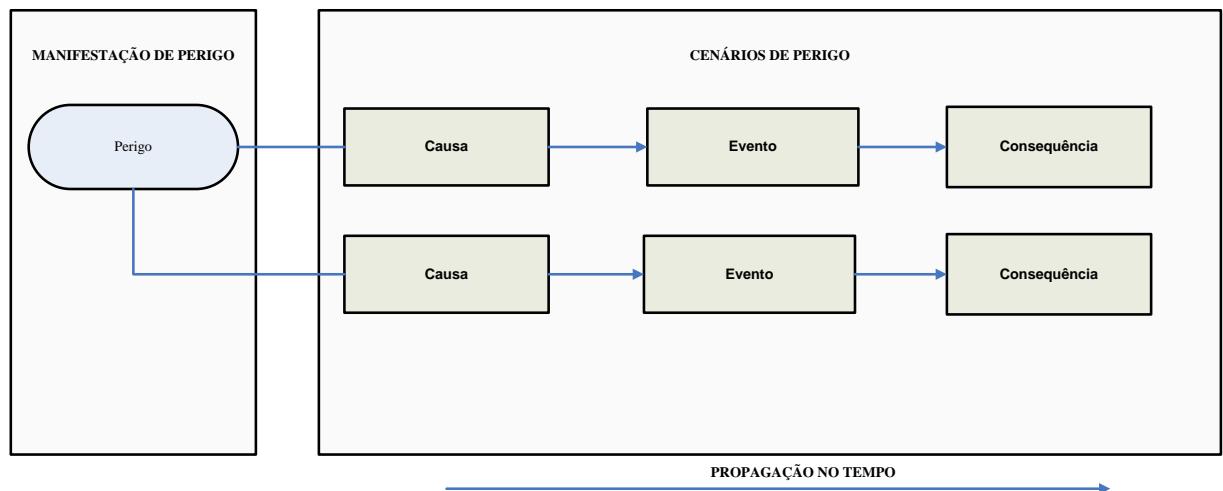
Figura 15 - Manifestação de perigos e seus cenários



Fonte: Adaptado de ECSS (2008b)

O conjunto de cenários dos perigos oriundos da mesma manifestação de perigo é agrupado em uma árvore de perigo, conforme ilustrado na Figura 16.

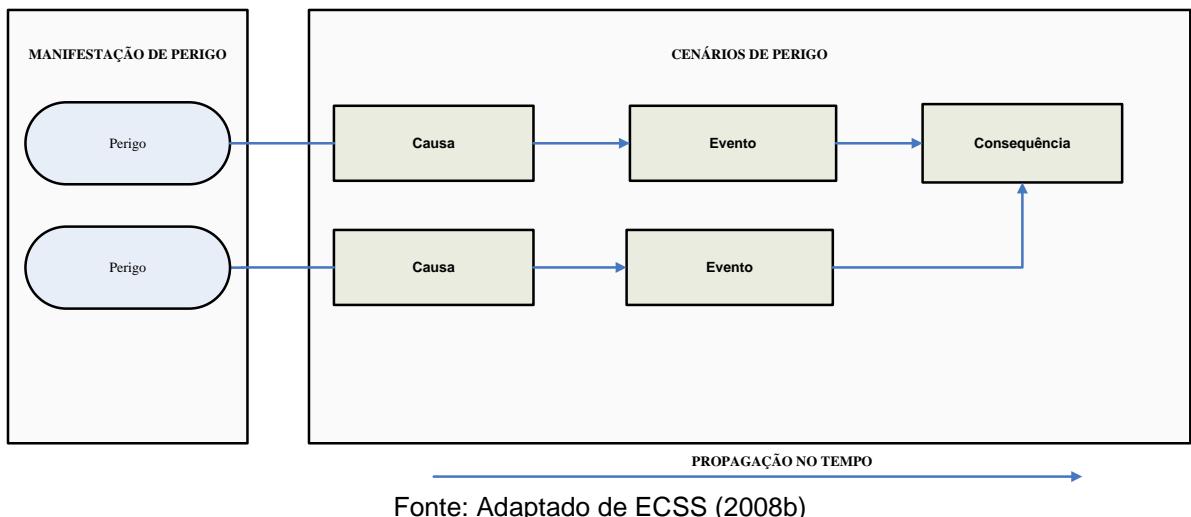
Figura 16 - Árvore de Perigo



Fonte: Adaptado de ECSS (2008b)

O conjunto de cenários de perigos que levam à mesma consequência de perigo é agrupado em uma árvore de consequências, conforme ilustrado na Figura 17.

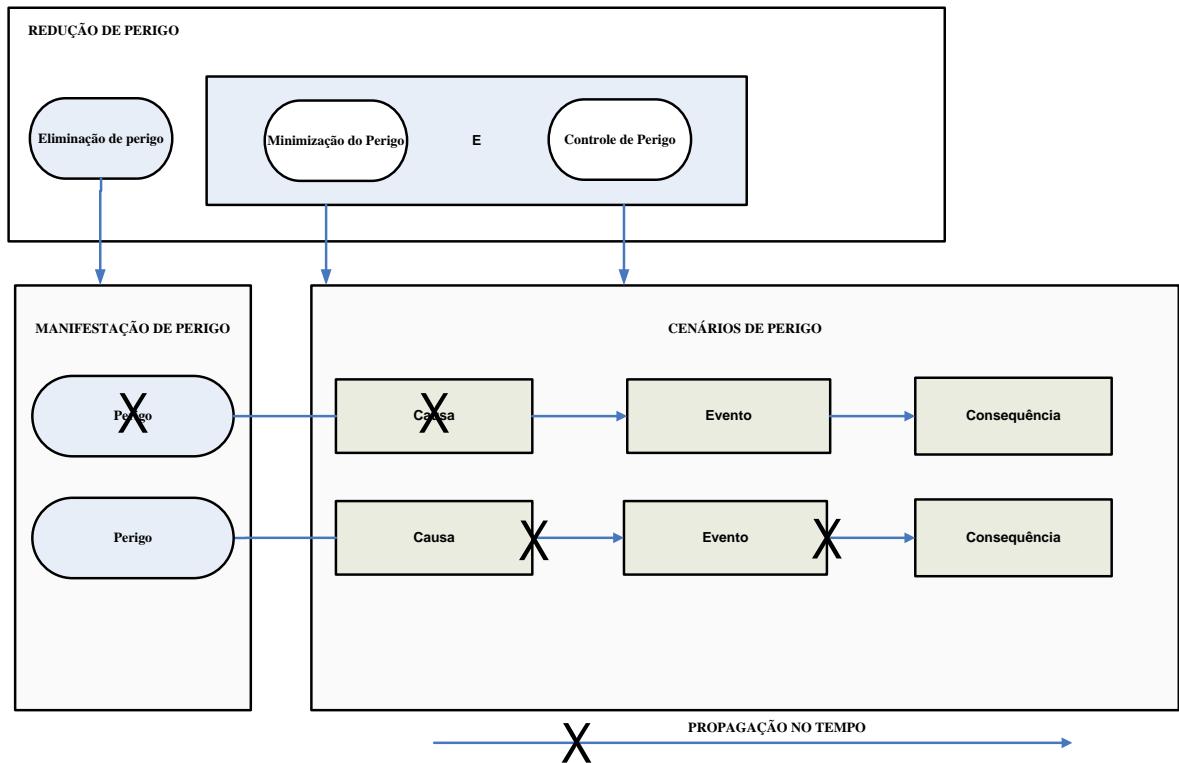
Figura 17 - Árvore de Consequência de Perigo



Fonte: Adaptado de ECSS (2008b)

Os perigos são reduzidos eliminando-os ou, se isso não for possível, minimizando-os e controlando-os, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Redução de Perigos



Remover ou alterar os perigos, eliminação de evento ou interrupção do evento

Fonte: Adaptado de ECSS (2008b)

2.7 NORMAS REGULAMENTADORAS

De acordo com a Escola Nacional da Inspeção do Trabalho da Secretaria de Inspeção do Trabalho, as Normas Regulamentadoras (NR) são disposições complementares ao capítulo V da CLT – Consolidação das Leis do Trabalho, consistindo em obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos por empregadores e trabalhadores com o objetivo de garantir trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho (BRASIL, 2019). A elaboração/revisão das NR é realizada sob a supervisão da Fundacentro, adotando o sistema tripartite paritário por meio de grupos e comissões compostas por representantes do governo, de empregadores e de empregados.

Os principais objetivos das NRs são:

- a) Orientar os empregados e empregadores sobre as devidas precauções que devem ser tomadas como forma de se evitar e prevenir os acidentes de trabalho ou mesmo as doenças ocupacionais;
- b) Preservar e promover a integridade física dos trabalhadores;
- c) Estabelecer a regulamentação pertinente à segurança e saúde do trabalho;
- d) Promover a política de segurança e saúde do trabalho dentro das empresas.

A Figura 19 apresenta a relação das 36 normas regulamentadoras existentes e disponíveis para consulta na internet no sítio da Escola Nacional da Inspeção do Trabalho (BRASIL, 2019).

Atividades de montagem, integração e testes de satélites envolvem uma quantidade significativa de atividades perigosas onde se faz necessário a observância e o atendimento de algumas normas regulamentadores como forma de atender as demandas de segurança impostas em documentos de requisitos de projetos.

A nova NR-5 – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes é uma norma que entrou em vigor no ano de 1999 (USP, 2018) e estabelece que organizações com número acima de 20 trabalhadores são obrigadas a manter uma CIPA, que tem como atribuição: identificar os riscos dos processos de trabalho; elaborar mapas de riscos com assessoria do SESMT; elaborar um plano que trabalho que possibilite a ação

preventiva na solução de problemas de segurança e saúde no trabalho; fazer vistorias periódicas nos ambientes de trabalho, entre outras (BRASIL, 2019).

Figura 19- Representação das Normas Regulamentadoras



Fonte: Sintracoop (2019)

A NR-9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais tem o objetivo de preservar a saúde dos trabalhadores, antecipando, reconhecendo e avaliando riscos ambientais existentes no ambiente de trabalho, levando em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais (USP, 2018).

Em atividades de montagem, integração e testes de satélites existem muitas atividades onde o trabalhador precisa entrar o contato com eletricidade. A NR-10 –

Instalações e Serviços de Eletricidade foca na segurança dos trabalhadores que trabalham com eletricidade, inclusive em projeto, execução, operação, manutenção, reforma e ampliação, incluindo contratados e usuários (USP, 2018).

Operações logísticas são consideradas exemplos de operações perigosas e críticas em projetos espaciais e por isso se faz necessário o atendimento da NR-11 – Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais. Segundo (USP, 2018), o objetivo desta norma é de se operar em segurança equipamentos de elevação (ex: plataformas pantográficas), guindastes, etc.

A NR-12 – Segurança no Trabalho com Máquinas e Equipamentos estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes de trabalho nas fases de projeto e utilização de máquinas e equipamentos de qualquer tipo (USP, 2018), podendo ser aplicada quando do projeto e utilização de dispositivos de suporte mecânicos comumente utilizados em todas as operações onde existe movimentação de satélites e foguetes.

A NR-15 - Atividades e operações insalubres, é uma norma regulamentadora de extrema importância para todos os ramos de atividades laborais e está estruturada em 14 anexos (BRASIL, 2019), conforme discriminados abaixo:

- a) Anexo 1: Limites de tolerância para ruído contínuo e intermitente;
- b) Anexo 2: Limites de tolerância para ruídos de impacto;
- c) Anexo 3: Limites de tolerância para exposição ao calor;
- d) Anexo 4: Revogado
- e) Anexo 5: Radiações ionizantes;
- f) Anexo 6: Trabalho sob condições hiperbáricas;
- g) Anexo 7: Radiações não ionizantes;
- h) Anexo 8: Vibração;
- i) Anexo 9: Frio
- j) Anexo 10: Umidade

- k) Anexo 11: Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho;
- l) Anexo 12: Limite de tolerância para poeiras minerais;
- m) Anexo 13: Agentes químicos
- n) Anexo 13A: Benzeno
- o) Anexo 14: Agentes biológicos

A NR-17 – Ergonomia estabelece parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo conforto, segurança e desempenho eficiente (BRASIL, 2019). As condições de trabalho podem estar relacionadas ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho. A norma cita que o empregador é o responsável por realizar uma análise ergonômica das condições de trabalho dos funcionários e garantir condições de trabalho conforme estabelece esta norma (USP, 2018).

A NR-19 considera como explosivo qualquer material ou substância que, quando iniciada, sofre decomposição muito rápida em produtos mais estáveis, com grande liberação de calor e desenvolvimento súbito de pressão (BRASIL, 2019). Esta norma regulamentadora orienta sobre fabricação, armazenamento e transporte de explosivo e está dividida em dois anexos. O Anexo I aborda a segurança e saúde na indústria e comércio de fogos de artifício e outros artefatos pirotécnicos, enquanto que o Anexo II apresenta uma tabela de quantidade – distância (USP, 2018).

A NR-23 – Proteção contra incêndios cita que os empregadores devem adotar medidas de prevenção de incêndios conforme a legislação estadual e normas aplicáveis. A norma cita que o empregador deve providenciar informações sobre utilização de equipamentos de combate a incêndios; procedimentos de evacuação e apresentar os dispositivos de alarmes e saídas de emergência existentes (USP, 2018).

Segundo Brasil (2019), espaço confinado é qualquer local não projetado para que se tenha ocupação humana contínua, com meios limitados de entrada e saída e que não existe um sistema de ventilação eficiente que remover os contaminantes que levam a deficiência de oxigênio. A NR-33 – Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados tem o objetivo de estabelecer requisitos mínimos para se identificar um espaço confinado, assim como reconhecer, avaliar, monitorar e controlar os riscos existentes, de modo a garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que exercem atividades direta ou indiretamente nestes espaços (USP, 2018).

Partindo-se do pressuposto que qualquer trabalho realizado acima de 2 metros do nível inferior havendo risco de queda é considerado trabalho em altura, a NR-35 – Trabalho em altura apoia no sentido de estabelecer os requisitos mínimos e as medidas de proteção para este tipo de trabalho, por meio de planejamento, organização e execução do trabalho em altura de forma a garantir a segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos direta e indiretamente (USP, 2018; BRASIL, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O estudo apresentado nesta monografia foi realizado no INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Unidade Regional de São José dos Campos, no estado de São Paulo, onde a pesquisadora que subscreve este documento atua profissionalmente por mais de duas décadas e, atualmente é a responsável pelo GGSSE - Grupo de Garantia da Segurança de Sistemas Espaciais do SESEQ - Serviço de Engenharia da Qualidade da Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial.

Para tal, serão apresentados dois estudos de caso (cases) envolvendo a implementação de requisitos de segurança específicos dos satélites Amazonia-1 e CBERS 04A, cujos projetos se encontravam em fases de desenvolvimento distintas. Para o projeto Amazonia-1 o case apresenta o uso de uma ferramenta de análise de perigos e riscos para a atividade de operação de um dispositivo de suporte mecânico (MGSE – *Mechanical Ground Support Equipment*) para atender a um requisito de segurança em nível de projeto. Já o estudo de caso envolvendo o satélite CBERS 04A focou especificamente em verificar o atendimento de requisitos de segurança impostos ao centro de testes com um viés voltado não apenas a segurança dos meios de testes e ao satélite, mas principalmente no tocante a segurança dos profissionais envolvidos direta ou indiretamente.

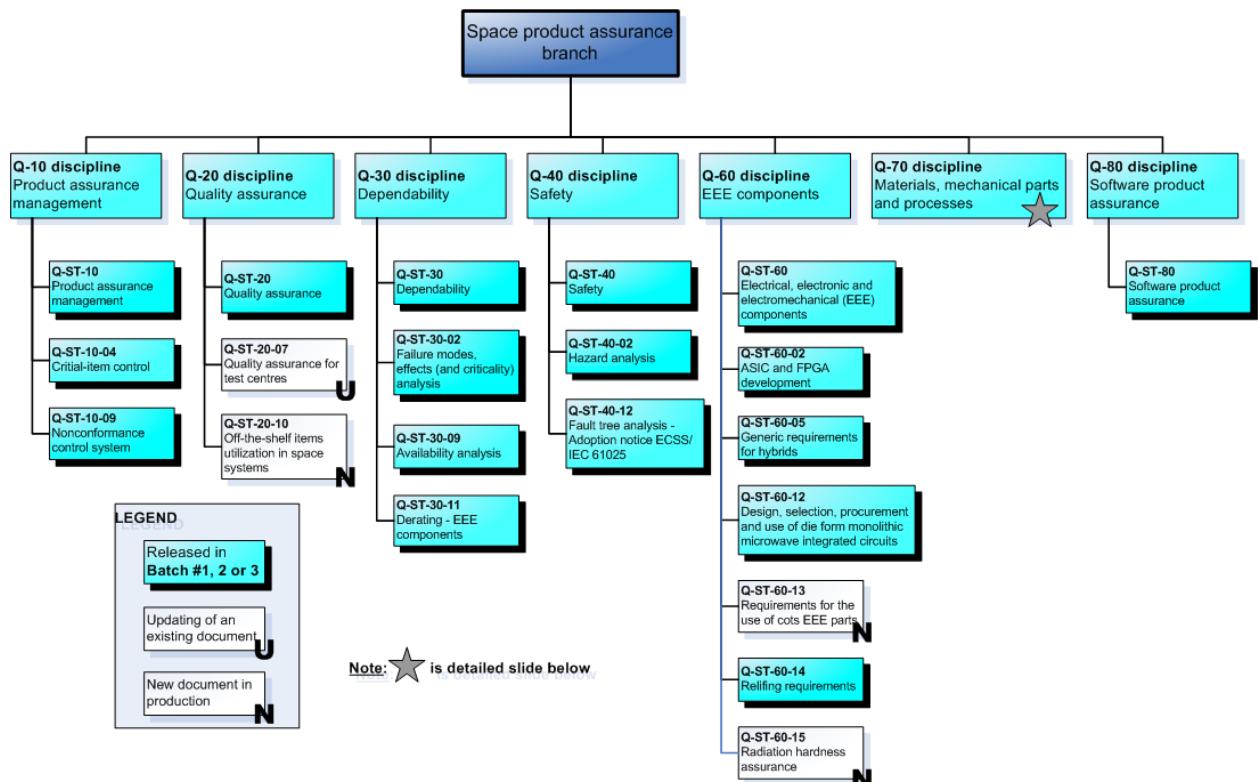
3.2 COLETA DE INFORMAÇÕES

A coleta de informações se deu por meio do estudo sistematizado de normas do padrão ECSS (Figura 20) referentes à garantia do produto espacial, dos documentos de garantia da missão e segurança da NASA (ex.: manuais de segurança de sistemas), normas regulamentadoras do extinto Ministério do Trabalho e Emprego, além de documentos específicos de dois projetos espaciais de satélites em andamento no INPE.

Com base nas informações coletadas das normas ECSS e ISO foi possível realizar o levantamento de um conjunto de requisitos mínimos de segurança para um projeto espacial de satélite dentro do escopo do Programa Espacial Brasileiro.

No entanto, para se poder implementar alguns desses requisitos em projetos em andamento foi necessário realizar algumas adaptações nos requisitos, focando-se somente na Fase D, pois não haveria tempo hábil de se realizar um estudo de caso em prazo de 12 meses, período em que este trabalho foi desenvolvido, haja vista que um projeto espacial de satélite pode levar pelo menos quatro anos, o que tornaria inviável a apresentação dos resultados neste trabalho.

Figura 20 - Árvore de documentos do padrão ECSS



Fonte: ECSS (2019)

Também foi necessário coletar informações adicionais por meio do estudo da documentação dos projetos dos satélites Amazonia-1 e CBERS 04A para entender o escopo dos projetos.

3.3 METODOLOGIA DE LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE SEGURANÇA DE SISTEMAS ESPACIAIS

3.3.1 Metodologia para projetos de satélites

A metodologia utilizada para se prospectar os requisitos de segurança de sistemas para projetos de satélite do INPE foi por meio de um estudo comparativo entre alguns padrões internacionais de segurança na área espacial (ECSS e ISO), sendo que os requisitos iniciais de segurança tomados para estudo estavam descritos em documentos de requisitos de garantia do produto do satélite CBERS 04A e do satélite Amazonia-1. No entanto, os requisitos de segurança definidos para estes projetos estavam aquém das exigências atuais da legislação de segurança e saúde ocupacional brasileira, assim como dos requisitos de segurança específicas para projetos espaciais descritos nas normas da ECSS e da ISO.

Os requisitos de segurança, ou mesmo as mudanças na interpretação dos requisitos de segurança, no ambiente internacional são realizadas com base em fatores como a experiência e melhor compreensão do ambiente. Alguns elementos para melhoria do requisito de segurança, tais como definição, rastreabilidade e mudanças para futuros programas complexos e longos são propostos para se reduzir o número de não conformidades de segurança ou soluções alternativas.

Para o estudo comparativo foram utilizadas as normas ECSS-Q-ST-40C:2017- *Space product assurance – Safety* e ISO 14620-1:2018 - *Space systems – Safety Requirements - Part 1: System Safety*. Cabe ressaltar que também se pensou em realizar um cruzamento de requisitos com o documento *Air Force Space Command Manual 91-710 Volume 3 - Safety*, mas após análise decidiu-se em focar no padrão ECSS, substituindo o documento supracitado da força aérea americana pela norma ECSS-Q-ST-20-07C - *Space product assurance – Quality and Safety Assurance for Space Test Centres*, que detalha requisitos de segurança para o sistema espacial durante as atividades de testes ambientais (Fases C/D citadas no Quadro 2).

Com a utilização da ferramenta Microsoft Excel foi possível estruturar uma planilha fazendo a referência cruzada entre os requisitos da ECSS-Q-ST-40C e ISO 14620-1:2018. No entanto, houve a preocupação de se levar em consideração somente os requisitos que estão dentro do escopo de atividades do instituto, o que exclui, por exemplo, requisitos aplicáveis a atividades de lançamento de foguetes ou mesmo de envio de astronautas ao espaço.

A redação dos requisitos seguiu o modelo apresentado no Apêndice C do *NASA Systems Engineering Handbook*, intitulado “*How to Write a Good Requirement*”. Segundo o manual (NASA, 2007) é importante: se ter claro entendimento dos requisitos; se ter apenas um entendimento por requisito; se garantir a completude do requisito; e se ter premissas claras e restrições definidas.

3.3.2 Metodologia para testes ambientais de satélites

A metodologia utilizada para se prospectar os requisitos de segurança de sistemas para testes ambientais de satélites também foi por meio de um estudo comparativo entre alguns padrões internacionais de qualidade e segurança para centro de testes (ECSS e ISO). No entanto, houve o cuidado de se definir requisitos de segurança que pudessem ser factíveis por meio da implementação das normas regulamentadoras e da legislação de segurança e saúde ocupacional brasileira.

Para este estudo comparativo foi utilizada a norma *ECSS-Q-ST-20-07C - Space product assurance – Quality and Safety Assurance for Space Test Centres*, e que apresenta requisitos de segurança para o sistema espacial durante as atividades de testes ambientais (Fases C/D citadas no Quadro 2). A norma *ISO 18322:2018 – Space Systems – General Management Requirements for Space Test Centres*, que tem um viés voltado para as questões de gerenciamento do centro de testes, incluindo alguns requisitos para garantir a segurança do sistema também foi utilizada.

A ferramenta Microsoft Excel foi utilizada para se tornar possível a estruturação de uma planilha para visualizar a referência cruzada entre os requisitos da ECSS-Q-ST-20-07C e ISO 18322:2018.

Da mesma maneira que na metodologia apresentada no item 3.3.1, a redação dos requisitos obedeceu ao modelo apresentado no Apêndice C do *NASA Systems Engineering Handbook*, intitulado “*How to Write a Good Requirement*”.

Para apoiar na verificação destes requisitos durante inspeções de segurança em centros de testes, um *check-list* também foi preparado como forma de apoiar na busca por evidências objetivas de implementação de requisitos por meio de perguntas diretas.

3.4 METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS REQUISITOS DE SEGURANÇA

Para esta monografia serão apresentados dois cases com o objetivo de demonstrar a implementação de requisitos. O primeiro refere-se às análises dos perigos do carro de basculamento do satélite Amazonia-1, mostrando a aplicação de uma ferramenta de análise de segurança para atender a um dos requisitos de segurança para um MGSE. Cabe ressaltar que este carro de basculamento é um projeto interno do INPE e que inclusive sua fabricação foi feita por engenheiros e técnicos do próprio instituto.

O segundo case refere-se às vistorias de segurança realizadas nas instalações do Laboratório de Integração e Testes quando da preparação para os testes ambientais do satélite CBERS 04A, haja vista que a implementação dos requisitos de segurança previstos eram de responsabilidade do próprio centro de testes, não cabendo ao GGSSE do projeto, que atua como cliente interno neste caso, exercer esta tarefa.

3.4.1 Metodologia: Case 01 – Carro de basculamento do satélite Amazonia-1

3.4.1.1 Descrição do carro de basculamento do satélite Amazonia-1

O Carro de Basculamento do Satélite Amazonia-1 é classificado como um Equipamento de Suporte Mecânico de Solo e tem como principal função fazer a

movimentação do satélite da posição vertical para a horizontal e vice-versa. Este movimento é feito para que seja realizada a montagem final dos dois painéis solares. A massa total do carro sem os contrapesos é de aproximadamente 1100Kg. Existem também contrapesos que são utilizados em conjunto que somam aproximadamente 550Kg, sem contar o peso do próprio satélite, com cerca de 700Kg, ou seja, o conjunto formado pelo carro de basculamento, contrapesos e satélite pode totalizar pouco mais de duas toneladas, ficando evidente que a falha deste dispositivo durante sua operação pode, no limite, levar à perda do satélite ou mesmo de vidas.

O Carro de Basculamento é composto de base, suporte da flange de interface, flange de interface, balança, contrapesos, eixo de basculamento, redutor, volante, rodízios, sapatas e travas de segurança para a posição vertical e horizontal. A Figura 21 mostra uma foto de basculamento durante testes de aceitação.

Figura 21 - Carro de basculamento em testes de aceitação.



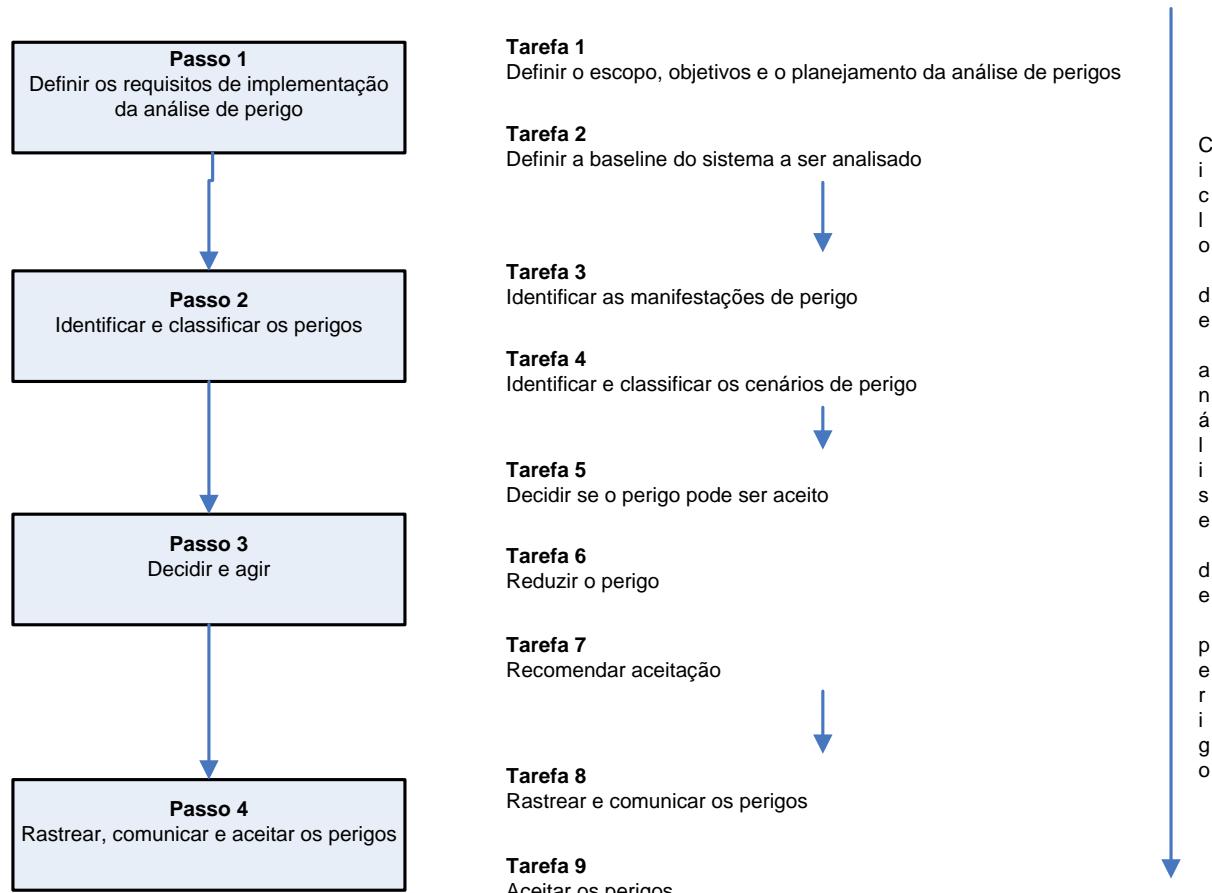
Fonte: Arquivo INPE

3.4.1.2 Metodologia de análise de perigos e riscos do Case 01

Para as análises realizadas no carro de basculamento do satélite Amazonia-1, projeto que estava na fase final de desenvolvimento dentro do instituto, o modelo adotado para a realização das análises das condições perigosas obedeceu a conceitos definidos na norma ECSS-Q-ST-40-02 – *Hazard Analysis*.

Para realizar as análises de perigo do carro de basculamento foram realizados quatro passos principais e nove atividades relacionadas. A Figura 22 apresenta, de forma simplificada, o processo de análise de perigo.

Figura 22 - As 9 atividades relacionadas com os 4 passos do processo de análise de perigo



Fonte: Adaptado de ECSS (2008b)

Para as análises das condições perigosas quando da operação do carro de basculamento do satélite Amazonia-1 foi utilizado o esquema de pontuação de severidade de perigo conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Esquema de pontuação de severidade de perigo

Categoria	Pontuação	Severidade	Severidade da consequência de segurança
I	4	Catastrófico	<ul style="list-style-type: none"> - Perda de vida, risco de vida, lesão permanente ou doença ocupacional; - Perda de instalações do local de lançamento ou perda do sistema; - Efeitos ambientais prejudiciais graves.
II	3	Crítico	<ul style="list-style-type: none"> - Lesão temporária, mas que não ameaça a vida; - Danos maiores aos sistemas de voo ou danos maiores às instalações de solo; - Danos maiores às propriedades públicas e privadas; - Efeitos ambientais prejudiciais maiores
III	2	Marginal	<ul style="list-style-type: none"> - Lesão, incapacidade ou doença ocupacional menor; - Dano menor ao sistema e/ou ao meio ambiente.
IV	1	Insignificante	<ul style="list-style-type: none"> - Menos que uma lesão, incapacidade ou doença ocupacional menor; - Menos que um dano menor ao sistema e/ou ao meio ambiente.

Fonte: Adaptado de ECSS (2008b)

Além da gravidade, a probabilidade do evento perigoso também foi considerada durante a análise. Por exemplo, um perigo identificado como catastrófico pode ter probabilidade extremamente baixa de ocorrer. Sendo assim, optou-se em classificar a probabilidade de um evento em cinco categorias. Um resumo do esquema de pontuação para a probabilidade é mostrado no Quadro 7.

Quadro 7 - Esquema de pontuação de probabilidade

Categoria	Pontuação	Probabilidade	Probabilidade de ocorrência
A	5	Máxima	Certo de ocorrer, vai ocorrer uma ou mais vezes por projeto
B	4	Alta	Ocorrerá com frequência , cerca de 1 em cada 10 projetos
C	3	Média	Ocorrerá às vezes , cerca de 1 em 100 projetos
D	2	Baixa	Raramente ocorre, cerca de 1 em 1000 projetos
E	1	Mínimo	Quase nunca irá ocorrer, 1 em 10000 ou mais

Fonte: Adaptado ECSS (2008a)

Ao se combinar a gravidade e a probabilidade (produto da pontuação de gravidade pela pontuação da probabilidade), o índice de risco de um evento perigoso pode ser determinado, conforme ilustra a Matriz de Severidade e Probabilidade mostrado no Quadro 8.

Quadro 8 - Índice de risco

		Índice de risco			
Probabilidade	A (5)	5	10	15	20
	B (4)	4	8	12	16
	C (3)	3	6	9	12
	D (2)	2	4	6	8
	E (1)	1	2	3	4
	IV (1)	III (2)	II (3)	I (4)	
Severidade					

Fonte: Fonte: Adaptado ECSS (2008a)

No Quadro 8 é destacado em verde, amarelo e vermelho para representar a gravidade do risco. Os riscos destacados em verde são, em geral, considerados aceitáveis, os riscos destacados em amarelo exigem atenção por meio de treinamento, procedimentos de monitoramento ou melhoria de projeto. No entanto, os riscos destacados em vermelho são inaceitáveis. O Quadro 9 apresenta propostas de ações para cada classificação de risco encontrada.

Quadro 9 - Gerenciamento de risco

Índice de risco	Magnitude do risco	Proposta de ações
AI, AII, BI	Risco muito alto	Risco inaceitável: implementar novos processos para a equipe. Buscar atenção no nível adequado de gerenciamento, conforme definido no plano de gerenciamento de risco.
AIII, BII, CI	Risco alto	Risco inaceitável: Ver o item anterior.
AIV, BIII, CII, DI	Risco médio	Risco inaceitável: gerenciar de forma agressiva. Buscar atenção no nível adequado de gerenciamento, conforme definido no plano de gerenciamento de risco.
BIV, CIII, DII, EI	Baixo risco	Risco aceitável: controlar e monitorar. Buscar atenção do responsável pelo gerenciamento do pacote de trabalho.
CIV, DIV, DIII, EIV, EIII, EII	Risco muito baixo	Risco aceitável: ver o item anterior.

Fonte: Adaptado ECSS (2008a)

3.4.2 Metodologia: Case 02 – Atividades de segurança durante testes ambientais de satélites

3.4.2.1 Testes ambientais do satélite CBERS 04A

Como o programa CBERS faz parte de um acordo de cooperação entre Brasil e China, os equipamentos (subsistemas) do satélite foram fabricados por empresas chinesas e brasileiras. Por meio do acordo firmado entre os dois países o satélite CBERS 04A seria integrado e testado no LIT, o único centro de testes espaciais do Brasil.

O planejamento de atividades de AIT de satélites envolve uma equipe multidisciplinar composta de gerentes, incluindo o gerente de projeto do lado brasileiro, um responsável técnico pelas instalações de AIT, equipe formada por engenheiros e técnicos da área de montagem, testes, garantia do produto, garantia da qualidade, controle de configuração, logística e segurança.

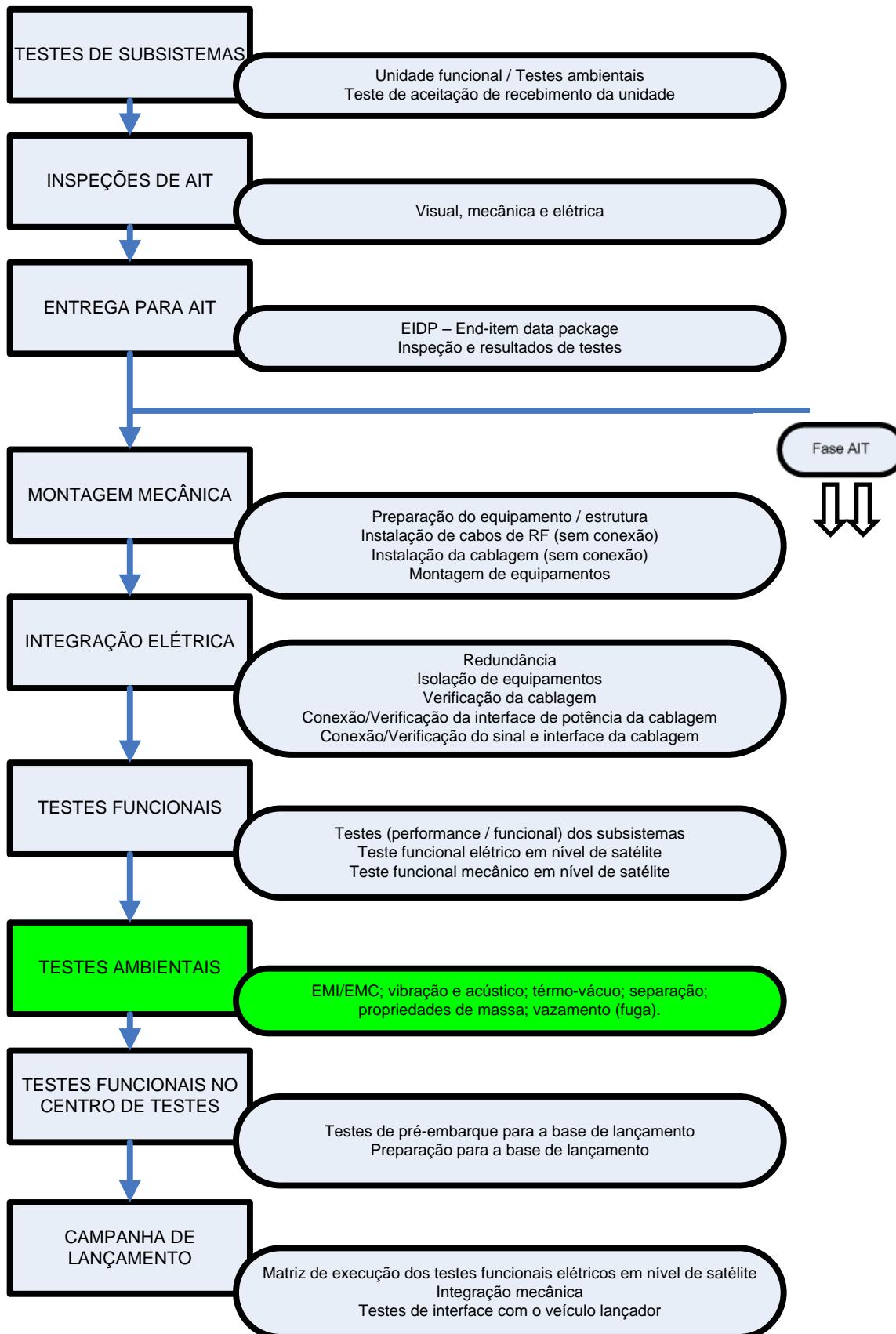
Para que todo esse conjunto complexo de atividades ocorra com sucesso é indispensável que toda a equipe esteja em sinergia e que as questões de segurança das atividades e dos meios de teste tenham sido analisadas e treinamentos e simulações realizadas para se manter a equipe alerta e consciente.

3.4.2.2 Metodologia de inspeção de segurança no centro de testes

A metodologia para realização das inspeções de segurança no LIT é composta das seguintes etapas:

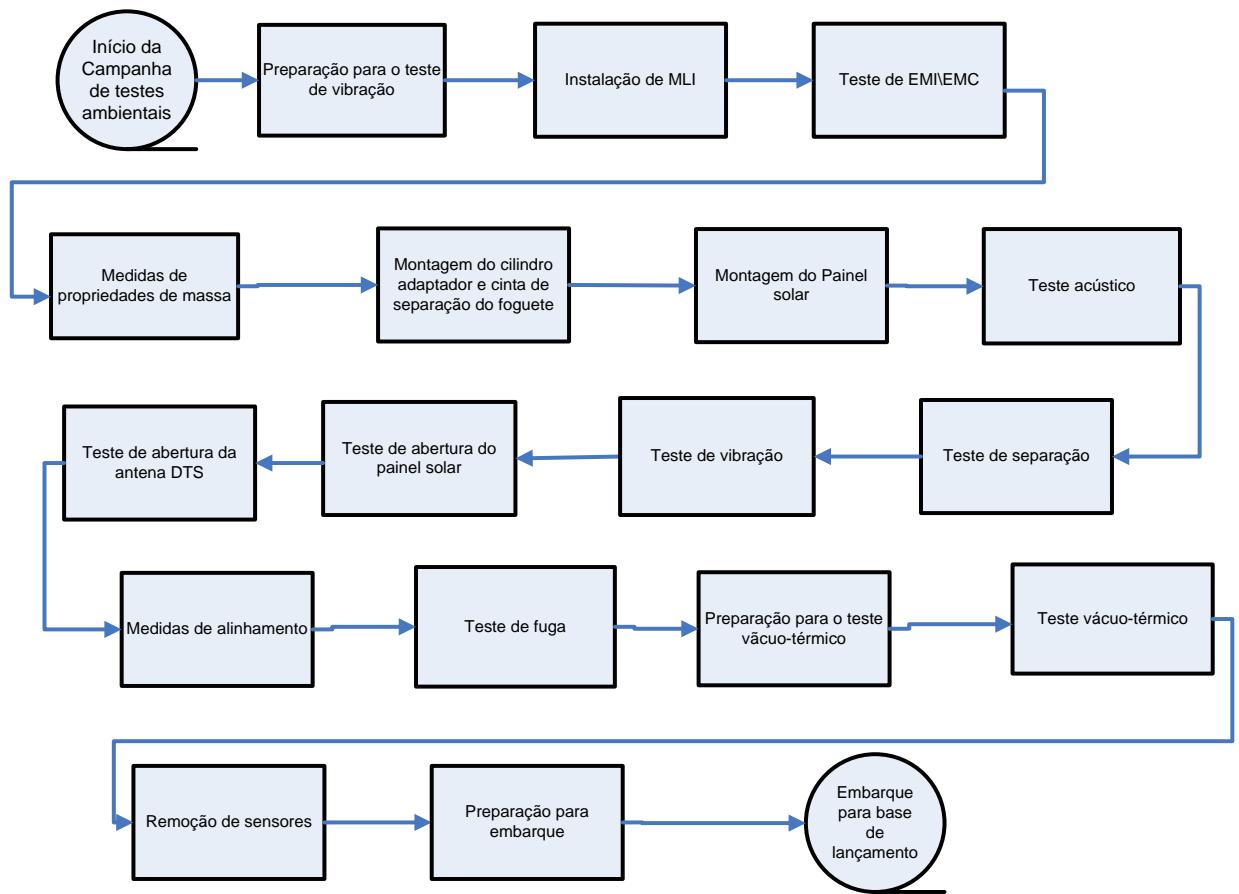
- a) Estudo do satélite CBERS 04A com base na documentação de projeto: Os documentos estudados foram especificações, manuais, planos, procedimentos e requisitos de garantia do produto e garantia da qualidade.
- b) Entender a sequência geral das atividades de AIT do satélite, conforme apresentado na Figura 23.
- c) Elaboração de um planejamento de inspeções de segurança com base no fluxograma da sequência de testes ambientais apresentado na Figura 24;
- d) Identificar os perigos e riscos envolvidos nas atividades de AIT do satélite CBERS 04A antes do início das atividades de montagem do satélite com base na NR-09;
- e) Identificar as atividades perigosas envolvidas especificamente para os testes ambientais, ou seja: atividades de preparação para os testes de vibração; instalação de MLI; teste de EMI/EMC; medidas de propriedades de massas; montagem do cilindro adaptador e cinta de separação do foguete; montagem do painel solar; teste acústico; teste de separação; teste de vibração; teste de abertura do painel solar; teste de abertura da antena DTS; medidas de alinhamento; teste de fuga; preparação para o teste vacuotérmico; teste vacuotérmico; remoção dos sensores e preparação para embarque;
- f) Realizar as inspeções de segurança, com base nos requisitos de segurança para testes ambientais prospectados conforme metodologia apresentada na Seção 3.3.2.

Figura 23 - Sequência geral de atividades de AIT do CBERS 04A



Fonte: A autora

Figura 24 - Sequência dos testes ambientais do satélite CBERS 04A



Fonte: A autora

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para apresentar os resultados obtidos nesta pesquisa de maneira estruturada optou-se por dividir o capítulo em quatro partes. Na primeira parte são apresentados os resultados do levantamento de requisitos de um projeto de satélites enquanto que a segunda parte se dedica a apresentar os resultados do levantamento de requisitos de segurança para testes ambientais de satélites.

A terceira parte apresenta os resultados da implementação de requisitos de segurança para o Case 01, referente às análises dos perigos previstos quando da operação do carro de basculamento do satélite Amazonia-1. A quarta e última parte apresenta os resultados do Case 02, que diz respeito à implementação de requisitos de segurança por meio de inspeções de segurança no LIT do INPE para a realização dos testes ambientais do satélite CBERS 04A.

4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE SEGURANÇA DE SISTEMAS ESPACIAIS

4.1.1 Projetos de satélites

Após a aplicação da metodologia citada na Seção 3.3.1 foi possível se levantar um conjunto de requisitos. A Figura 25 é uma representação da planilha de trabalho utilizada para consolidar todas as informações onde, no terceiro bloco da planilha, encontra-se a saída dos requisitos de segurança para um projeto espacial, ou seja, os requisitos de segurança mínimos e necessários que devem ser atendidos em projetos de satélites dentro do escopo do PEB.

O resultado final deste trabalho foi um conjunto mínimo de requisitos que devem ser atendidos em projetos de satélites em que o INPE esteja envolvido. No entanto, ajustes podem ser feitos no tocante a tornar requisitos mais rigorosos em função do sistema espacial em estudo, pois satélites podem variar desde algumas dezenas de quilos até várias toneladas.

Figura 25 - Referência cruzada dos requisitos ECSS & ISO & INPE

1			2			3		
ECSS SPACE PRODUCT ASSURANCE - SAFETY ECSS-Q-ST-40C Rev.1 15 February 2017			SPACE SYSTEMS - SAFETY REQUIREMENTS PART1: SYSTEM SAFETY ISO/IEC 14620-1:2018(E)			REQUISITOS DE SAFETY PARA NOVOS PROJETOS DO INPE July 2018		
Chapter	Rqt		Chapter	Rqt		Chapter	Rqt	
			4.3.3	To properly control risk, the safety representative of an organization shall have the delegated authority to interrupt hazardous operations of this organization and make the system under consideration safe again when it becomes clear that the operation does not conform to the agreed measures.				
5.4.3	SAFETY AUDITS	4.3.4		CONFORMANCE		6.4.3	Safety Audits	
5.4.3	5.4.3a	The supplier shall perform safety audits or reviews to verify compliance to project safety policy and requirements.	4.3.4	The supplier shall ensure conformance of his own and his sub-suppliers' project activities with project safety policy and requirements.		6.4.3a	The supplier shall perform safety audits or reviews to verify compliance to project safety policy and requirements.	
	5.4.3b	The safety audits shall be in accordance with ECSS-M-ST-10 and ECSS-Q-ST-10. NOTE The safety audits can be part of the project audits.				6.4.3b	The safety audits shall be in accordance with [AD 2] and [AD 3]	
	5.4.3c	The customer shall be informed of the audit schedule.				6.4.3c	The customer shall be informed of the audit schedule.	
5.4.4	APPROVAL OF DOCUMENTATION	4.3.5		APPROVAL OF REPORTS		6.4.4	Approval of Reports	
5.4.4	5.4.4a	Documentation related to safety shall be approved by the safety manager upon his verification of completeness, compliance with stated safety requirements and formal closeout of open safety verification items (as defined and agreed during safety audits and reviews).	4.3.5	The supplier shall not permit project reports that address matters related to safety certification to be issued without signed approval of the safety representative.			The supplier shall only permit project reports that address matters related to safety certification to be issued with signature of the safety representative.	
5.4.5	APPROVAL OF HAZARDOUS OPERATIONS	4.3.6		REVIEW				
5.4.5	5.4.5a	The safety manager (or a designated representative) shall have concluded the review of, and approved, any hazardous operation before it is executed.	4.3.6	No project hazardous operation or system mission shall be permitted to proceed without prior review and approval by the safety representative.				
5.4.6	REPRESENTATION ON BOARDS	4.3.7		REPRESENTATION ON BOARDS		6.4.5	Representation on Boards	
5.4.6	5.4.6a	The safety manager or designated delegate shall be represented at configuration control boards (CCBs), nonconformance review boards (NRBs), test review board (TRBs), and at qualification, and acceptance reviews, where safety requirements and safety critical functions are involved. Safety shall be further represented at medical boards or equivalent where exposure or endurance limits are defined	4.3.7	Safety should be represented at configuration control boards (CCBs), non-conformance review boards (NRBs), test review board (TRBs), and at qualification, and acceptance reviews, where safety requirements and safety critical functions are involved. Safety shall be further represented at medical boards or equivalent where exposure or endurance limits are defined			Safety shall be represented at configuration control boards (CCBs), non-conformance review boards (NRBs), test review board (TRBs), and at qualification, and acceptance reviews, where safety requirements and safety critical functions are involved.	

Fonte: A autora

O quadro apresentado no Apêndice A mostra a relação dos 88 requisitos originados deste trabalho, onde na primeira coluna é apresentada a identificação e descrição do requisito, enquanto que na segunda são apresentadas, de maneira geral, recomendações para se implementar na prática os requisitos prospectados de forma a se atender às normas e à legislação vigentes no Brasil dentro do escopo da segurança e saúde do trabalho.

Para fins de organização da apresentação dos resultados no Apêndice A, os requisitos foram estruturados em cinco grandes grupos, a saber:

- a) Programa de Segurança de Sistema;
- b) Engenharia de Segurança;
- c) Segurança Operacional;
- d) Requisitos e Técnicas de Análise de Segurança e
- e) Verificação de Segurança.

Ao se analisar a segunda coluna do quadro apresentado no Apêndice A fica evidente que, em nível de projeto, a maioria dos requisitos pode ser atendida por meio da utilização de ferramentas de análise de segurança, tais como Análises de Perigos e Gerenciamento de Riscos, FMEA, FTA, entre outras.

No entanto, é desejável que os requisitos de segurança apresentados acompanhem o projeto espacial desde a sua fase inicial (Fase 0) até o descarte (Fase F), ou seja, cada subsistema (equipamentos de voo, software, equipamentos de suporte de solo, etc.) Como exemplo, pode-se citar um satélite (sistema) composto de 30 subsistemas/equipamentos (ex.: baterias, painéis solares, PCDU, sistema de propulsão, sensores de estrela, etc.) em que se têm, então, 30 projetos ocorrendo em paralelo, sendo que cada um destes projetos precisa atender aos requisitos apresentados no Apêndice A, cabendo ao responsável pela segurança de sistemas do INPE a gestão de todas as informações recebidas de cada subsistema, para compor a análise de perigos/riscos do satélite (sistema principal), pois estas informações são dados de entrada a serem apresentados à entidade responsável pelo foguete quando da contratação do serviço de lançamento do satélite.

4.1.2 Testes ambientais de satélites

Para se garantir a segurança das operações das atividades de testes ambientais do satélite CBERS 04A, bem como das pessoas envolvidas e das facilidades do LIT, foi necessário o levantamento de requisitos de segurança específicos para esta fase do processo de AIT, conforme metodologia proposta na Seção 3.3.2.

O LIT possui diversos laboratórios e áreas limpas com meios de testes classificados como áreas insalubres do ponto de vista de segurança do trabalho (ex: alta tensão, trabalho em altura, radiação ionizante, etc.). A Figura 26 apresenta uma vista ampla das facilidades para testes vacuotérmicos do LIT.

Desta forma, para se atender à demanda de segurança do projeto CBERS 04A durante a Fase D, um documento de requisitos de segurança para atividades de testes ambientais foi preparado e encaminhado à gerência do LIT. Esta imposição de requisitos fez com que o laboratório, por meios de planos e procedimentos, se adequasse de modo a se garantir a segurança das pessoas, das facilidades de testes, do satélite e do meio ambiente.

Figura 26 - Vista da área de testes vacuotérmicos do LIT



Fonte: INPE

Os perigos das diversas áreas do LIT (ex: mecanismos, estruturas, vasos de pressão, linhas e conexões pressurizadas, dispositivos de elevação, console de segurança operacional, equipamentos de manuseio de material, riscos acústicos, fontes de radiação não ionizantes, fontes radioativas, materiais perigosos, equipamentos elétricos e eletrônicos, veículos automotores, sistemas de computador, software, entre outros) devem ser controlados pelas propriedades e características relacionadas à segurança do projeto, como margem ou fatores de segurança. Os requisitos de tolerância a falhas devem ser aplicados ao projeto para se garantir que falhas que possam afetar o projeto não invalidem as propriedades relacionadas à segurança.

O quadro apresentado no Apêndice B mostra a relação dos 33 requisitos mínimos de segurança impostos ao centro de testes. Para realizar este trabalho foram utilizadas as normas ECSS-Q-ST-20-07C e ISO 18322:2018, específica para garantia da qualidade e segurança em centro de testes. Na primeira coluna é apresentada a identificação e a descrição do requisito, enquanto que na segunda são apresentadas, de maneira geral, as recomendações para se implementar, na prática, os requisitos levantados de forma a se atender às normas e à legislação vigente no Brasil dentro do escopo da segurança e saúde do trabalho.

Como forma de estruturar, de maneira lógica, estes requisitos, os mesmos foram divididos em 12 blocos, a saber:

- a) Organização da Segurança;
- b) Documentação;
- c) Treinamento de Segurança;
- d) Auditoria de Segurança;
- e) Programa de Segurança do Centro de Testes;
- f) Política de Segurança do Centro de Testes;
- g) Conformidade;
- h) Manual de Segurança;
- i) Infraestrutura do Ambiente de Trabalho;
- j) Instalação de Testes;
- k) Avaliação do Risco das Instalações de Testes;
- l) Gestão de Segurança durante Campanha de Testes.

Os requisitos de segurança para os testes ambientais mostrados no Apêndice B foram entregues ao responsável da segurança do centro de testes por meio de documento formal do projeto CBERS 04A.

4.2 RESULTADOS DO CASE 01

4.2.1 Atividades de análise dos perigos e riscos do carro de basculamento do satélite Amazonia-1

O Quadro 10 apresenta de forma resumida como os passos e tarefas para realizar as análises de perigos foram estrategicamente organizados, conforme previsto na Figura 22.

Quadro 10 – Organização dos passos e tarefas para análise de perigos

Passo 1: Definir requisitos de implementação de análise perigo	
Tarefa 1: Definir o escopo, objetivos e o planejamento da análise de perigo	Escopo: Operações do carro de basculamento. Objetivo: Identificar e analisar perigos associados às operações. Planejamento: Por meio de acompanhamento das operações do carro de basculamento em operação e de reuniões com um representante do projeto, dois representantes da segurança de sistema e um da garantia do produto. Utilizando requisitos da norma ECSS-Q-ST-40-02C
Tarefa 2: Definir a <i>baseline</i> do sistema a ser analisado.	<i>Baseline</i> : Carro de basculamento na fase final de fabricação.
Passo 2: Identificar e classificar perigos	
Tarefa 3: Identificar a manifestação de perigo	Identificação da manifestação de perigo: Por meio de acompanhamento dos testes de funcionamento do carro de basculamento.
Tarefa 4: Identificar e classificar os cenários de perigo	Identificação e classificação dos cenários de perigo: Por meio de acompanhamento dos testes de funcionamento do carro de basculamento.
Passo 3: Decidir e agir	
Tarefa 5: Decidir se o perigo pode ser aceito	Decisão: Por meio de reuniões conduzidas pelo grupo de segurança de sistemas com a participação de um representante do projeto e um representante da garantia do produto.
Tarefa 6: Reduzir o perigo.	Redução: Por meio de reuniões conduzidas pelo grupo de segurança de sistemas com a participação de um representante do projeto e um representante da garantia do produto.
Tarefa 7: Recomendar aceitação	Aceitação: Por meio de reuniões conduzidas pelo grupo de segurança de sistemas com a participação de um representante do projeto e um representante da garantia do produto.
Passo 4: Rastrear, comunicar e aceitar perigos	
Tarefa 8: Rastrear, comunicar perigos	Rastreamento/Comunicação: treinamentos, briefing e publicação de procedimento operacional.
Tarefa 9: Aceitar os perigos	Aceitação: publicação de relatório de análise de perigos assinado pelo grupo de segurança de sistemas e encaminhado à gerência do projeto Amazonia-1.

Fonte: a autora

Após ter este cenário claro, rodadas de reuniões multidisciplinares para discutir as manifestações de perigo, causa, eventos e as consequências para a segurança foram realizadas por meio do formulário apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Modelo de formulário de análise de perigos

Descrição de Perigo e Magnitude do Risco de Segurança								
Case No.	Título de Cenário de Perigo: Mau uso do carro de basculamento							
Manifestação de Perigo Colocação dos contrapesos incorretos.		Causa Cálculo incorreto da quantidade dos contrapesos.						
Eventos -Queda do satélite		Consequência de Segurança Dano grave do satélite; Lesão ou ameaça à vida.						
Severidade (S)				Probabilidade (P)				
Insignificante	Marginal	Crítico	Catastrófico	Mínima	Baixa	Média	Alta	Máxima
IV (1)	III (2)	II (3)	I (4)	E (1)	D (2)	C (3)	B (4)	A (5)
4				3				
Índice de Risco (R = S x P)				12				
Magnitude do Risco ¹				RISCO ALTO				
DECISÃO E AÇÃO DE RISCO DE PERIGO E SEGURANÇA								
Mais mitigação é requerida? ²				Sim				
Abordagem de redução de risco				Eliminação / Minimização / Controle / Não aplicável				
Medidas de redução de perigo (recomendações gerais)				-Cálculo correto dos contrapesos; Uso da cinta fixada à ponte rolante, e na outra extremidade fixada à parte inferior da parte basculante, do lado oposto ao giro do satélite; Isolamento da área do satélite; Revisar manual do carro de basculamento; Colocação de uma massa maior de contrapesos, checar se o peso do satélite é conhecido, verificação quanto a torque do volante está mais pesado na direção das massas durante a operação de ajuste fino.				
Severidade Revisada (S)				Status -Fórmula do cálculo dos contrapesos revisada. -Uso da cinta já faz parte do procedimento, porém deve constar no manual do carro de basculamento; Revisão do manual em andamento.				
3				3				
Índice de Risco Revisado (R = S x P)				9				
Magnitude do Risco Revisada ¹				RISCO MÉDIO				

Fonte: A autora

Foram identificados nove perigos associados à operação do carro de basculamento. Estas análises foram possíveis após a integração entre as equipes de segurança de

sistemas espaciais, garantia do produto e o responsável pelo projeto mecânico do carro, por meio de três reuniões de *hazard*. Para a realização destas reuniões, primeiramente a equipe foi orientada pelo responsável da segurança de sistemas sobre qual o objetivo das análises, a teoria envolvida para o levantamento de perigos e qual a dinâmica que seria utilizada, ou seja, identificar os possíveis cenários de perigo, como estes se manifestariam e como seriam causados, e quais os eventos e consequências do perigo identificado. Os resultados destas análises foram reunidos em formulários conforme modelo apresentado na Figura 27, sendo que cópias de seus originais não serão apresentadas neste trabalho. No entanto, de modo a apresentar os resultados destas análises, o Quadro 11 sumariza todos os dados coletados pela equipe supracitada.

Quadro 11- Resultados das análises de perigos do carro de basculamento

Cenário de perigo	Manifestação	Causa	Eventos	Consequências	Magnitude do risco inicial	Magnitude do risco final
Mau uso do carro de basculamento	Colocação incorreta dos contrapesos.	Cálculo incorreto da quantidade de contrapesos.	Queda do satélite	Dano maior ao dispositivo; dano maior ao satélite; lesão ou ameaça à vida.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO
	Falha do redutor	Giro do volante do redutor com um desbalanceamento maior do que torque admissível de 72Kgf.m.	Travamento ou "giro em falso" do redutor.	Dano maior ao dispositivo; dano maior ao satélite; lesão ou ameaça à vida.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO

Quadro 11: Continuação

Cenário de perigo	Manifestação	Causa	Eventos	Consequências	Magnitude do risco inicial	Magnitude do risco final
Má fixação do satélite à flange do carro de basculamento	Uso incorreto do carro de basculamento.	Falta de treinamento do operador	Travamento do carro de basculamento; queda do satélite.	Dano maior ao dispositivo; dano maior ao satélite; lesão ou ameaça à vida.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO
Içamento incorreto do Satélite	Dificuldade na fixação.	Torque incorreto nos parafusos; uso de parafusos danificados ou impróprios; desconhecimento do procedimento.	Queda do satélite	Dano maior ao satélite; lesão ou ameaça à vida.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO
	Má operação da ponte rolante; má operação da plataforma elevatória.	Operadores da ponte rolante e da plataforma elevatória não treinados; mau funcionamento e falta de manutenção da ponte rolante; utilização incorreta dos cabos de içamento.	Queda do satélite.	Dano maior ao dispositivo; dano maior ao satélite; lesão ou ameaça à vida.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO

Quadro 11 - Continuação

Cenário de perigo	Manifestação	Causa	Eventos	Consequências	Magnitude do risco inicial	Magnitude do risco final
 içamento incorreto do Satélite	Má operação da ponte rolante; má operação da plataforma elevatória.	Operadores da ponte rolante e da plataforma elevatória não treinados; mau funcionamento da ponte rolante; falta de manutenção da ponte rolante; utilização incorreta dos cabos de içamento.	Queda do satélite.	Dano maior ao dispositivo; dano maior ao satélite; lesão ou ameaça à vida.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO
Não utilização das travas de segurança	Manipulação insegura do satélite devido à não utilização das travas de segurança	Desconhecimento do procedimento.	Queda do satélite.	Dano maior ao dispositivo; dano maior ao satélite; lesão ou ameaça à vida.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO
Má colocação dos contrapesos	Dificuldade na instalação dos contrapesos.	Manuseio incorreto; levantar o contrapeso sem auxílio de dispositivo de manipulação.	Queda do contrapeso	Lesão permanente.	09 MÉDIO	03 RISCO MUITO BAIXO

Quadro 11 - Conclusão

Cenário de perigo	Manifestação	Causa	Eventos	Consequências	Magnitude do risco inicial	Magnitude do risco final
Dificuldade de movimentação do carro de basculamento	Operador necessita exercer um esforço excessivo para movimentar o carro	Uso do puxador manual; uso incorreto (carro imobilizado devido às sapatas abaixadas); travamento das rodas.	Carro fica imóvel ou difícil de ser movimentado	Lesão temporária, como dor nas costas ou queda devido a escorregamento.	09 MÉDIO	RISCO MUITO BAIXO
Impacto com a plataforma elevatória	Choque entre a plataforma elevatória e o satélite.	Operadores da ponte rolante e da plataforma elevatória; falta de comunicação entre os operadores.	Queda do operador; dano em alguma parte do satélite.	Dano maior ao dispositivo; dano maior ao satélite; lesão permanente.	12 RISCO ALTO	06 RISCO BAIXO

Fonte: A autora

Nota-se no Quadro 11 que apesar de terem sido identificados nove perigos para o uso do carro de basculamento, um destes perigos identificados apresenta dois cenários diferentes, ou seja, o cenário de perigo “Mau uso do carro de basculamento” poderá ser manifestado pela “Colocação incorreta dos contrapesos” ou por uma “falha no redutor”, o que corrobora a Figura 16, que apresenta esta situação na forma de “Árvore de Perigos”.

O Quadro 11 apresenta duas colunas coloridas, onde uma indica a magnitude do risco inicial, ou seja, o valor quantificado pela equipe durante as reuniões de análise

de *hazard* e levando-se em conta que nenhuma ação seja tomada para diminuir o risco, enquanto a outra coluna apresenta o resultado da magnitude do risco após implementação de medidas de redução do perigo.

Para o conjunto de perigos identificados e elencados no Quadro 11, a redução da magnitude do risco só é condição verdadeira se forem implementadas as ações listadas abaixo:

- a) Utilização do peso medido do satélite para o cálculo dos contrapesos; cálculo correto dos contrapesos; verificação dos contrapesos através do ajuste fino; manter o torque de desbalanceamento mais alto no lado da balança; uso da cinta de segurança; isolamento da área do satélite; colocação de um aviso na estrutura do carro de basculamento alertando sobre a leitura do manual antes da operação.
- b) Se o volante estiver muito "pesado", rever os cálculos e os contrapesos; colocar aviso próximo ao volante do redutor indicando que este somente pode ser girado se o sistema estiver na condição segura de trabalho; adicionar ao aviso alerta para leitura do manual antes da operação; isolamento da área de trabalho.
- c) Sempre manter uma cópia do manual de operação junto ao carro de basculamento; treinamento para o pessoal que irá executar as tarefas; isolamento da área de trabalho; colocação de um aviso na estrutura do carro de basculamento.
- d) Treinamento para o operador da ponte rolante; isolamento da área; treinamento para o operador da plataforma elevatória; reunião e *briefing* de segurança da equipe antes do trabalho; realização da manutenção recomendada na ponte rolante.
- e) Utilizar dispositivo de manipulação dos contrapesos com massa acima de 15 kg utilizando o dispositivo e a ponte rolante, colocação de aviso na estrutura do carro de basculamento alertando para a leitura do manual antes da operação.

- f) Recomendação do uso de carro rebocador para movimentação do carro de basculamento; caso não haja espaço para utilizar o rebocador, movimentar o carro com mais pessoas; colocação de um aviso na estrutura do carro de basculamento para leitura do manual antes da operação.

4.3 RESULTADOS DO CASE 02

4.3.1 Atividades de segurança durante testes ambientais de satélites

Antes de se efetivar as atividades de inspeção de segurança no LIT, foi necessário o estudo da documentação do projeto do satélite CBERS 04A, incluindo o plano de AIT que aborda, inclusive, todos os testes elétricos que devem ser realizados durante os testes ambientais.

Cabe ressaltar que o Case 02 se refere às atividades de inspeções de segurança durante os preparativos das atividades de AIT, com foco principal na campanha de testes ambientais do satélite CBERS 04A, destacada na cor verde na Figura 23.

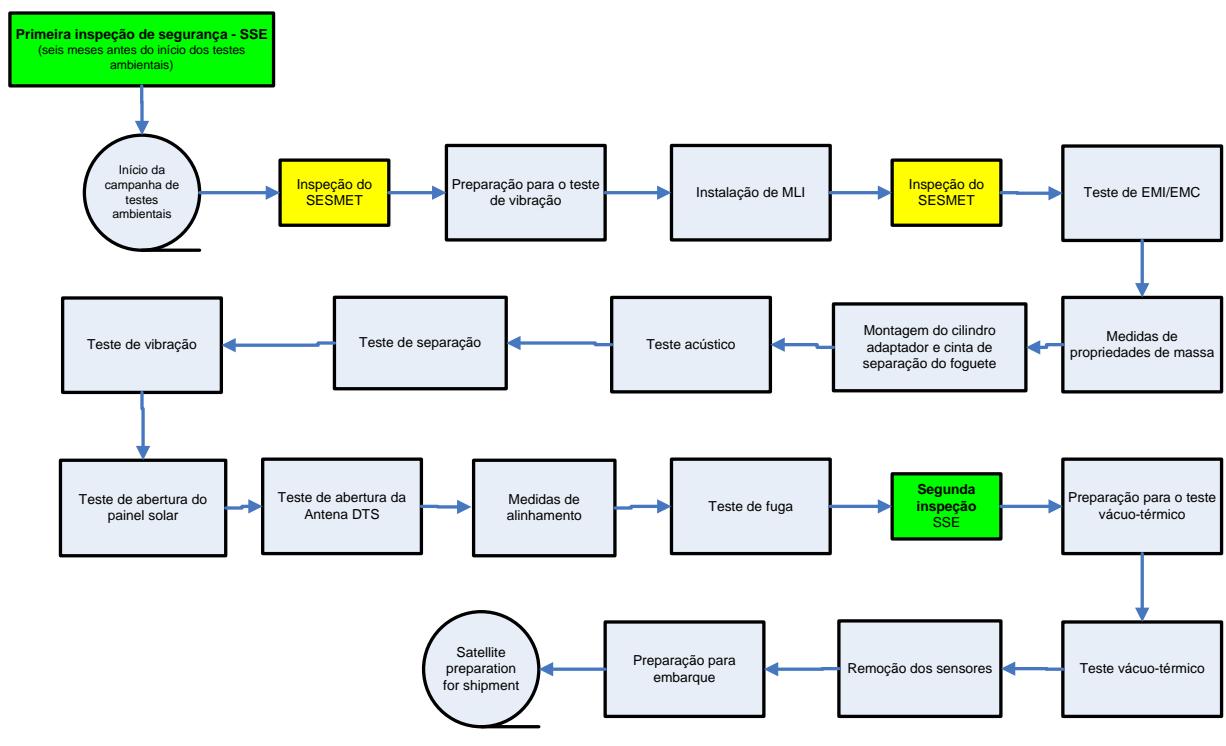
A campanha de testes ambientais compreende uma sequência de atividades que envolve uma série de tarefas perigosas que podem causar desde danos à infraestrutura, meio ambiente e equipamentos de voo, como também danos leves, moderados e fatais nas pessoas envolvidas com tais tarefas.

Testes ambientais de satélites geralmente obedecem à mesma sequência lógica, embora ajustes possam ser implementados. O principal objetivo destes testes é simular o ambiente hostil em que o satélite estará sujeito desde o lançamento até sua operação em órbita, conforme apresentado na seção 2.3.1. A sequência de atividades de preparação e realização dos testes ambientais previstos para o satélite CBERS 04A está apresentada Figura 24.

Com base no estudo desta documentação foi definido um planejamento de inspeções de segurança conforme apresentado na Figura 28.

Segundo mostra a Figura 28, a primeira inspeção às instalações do centro de testes espaciais (destacada na cor verde), a ser realizada pelo grupo de segurança de sistemas espaciais, se daria seis meses antes do início das atividades de AIT do satélite CBERS 04A, de maneira que o centro de testes tivesse tempo hábil para fechar qualquer não conformidade relacionada ao não atendimento a algum requisito de segurança. Uma segunda inspeção da equipe de segurança de sistemas espaciais, também destacada na cor verde, foi prevista para ocorrer antes dos preparativos para o teste vacuotérmico do satélite, lembrando que este teste é o de maior duração e que envolve o maior risco de ocorrência de acidentes, inclusive fatais.

Figura 28 - Fluxograma do planejamento das inspeções de segurança



Fonte: A autora

Destacados na cor amarela estão outras duas inspeções de segurança previstas, no entanto, a serem realizadas pelo SESMET – Serviço Especializado de Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho, com apoio da CIPA, focando na segurança dos trabalhadores envolvidos nas tarefas. Cabe ressaltar que durante todas as atividades relacionadas aos testes ambientais, um profissional de segurança do trabalho foi destacado para ficar acompanhando e orientando os

trabalhadores do centro de testes para garantir a segurança na execução das tarefas.

4.3.1.1 Resultados da primeira inspeção de segurança do Case 01

As inspeções de segurança realizadas pelo grupo de segurança de sistemas espaciais tiveram início quando restavam aproximadamente seis meses para o início das atividades de AIT do satélite CBERS 04A.

A primeira inspeção teve como foco principal relacionar, por natureza, os diferentes tipos de perigo (condições perigosas) e suas consequências potenciais (riscos) para as pessoas, hardware de voo, instalações e meio ambiente, tomando como referência a NR-09 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.

A coleta de dados se deu por meio de uma planilha que relacionava os perigos (condições perigosas) e suas consequências, conforme apresentado no Quadro 12.

O LIT é um centro de testes espaciais que possui uma área construída de 20.000m² e que abriga áreas limpas, salas de controle, laboratórios de apoio e escritórios.

As áreas limpas estão instaladas no pavimento térreo (Laboratório de Qualificação de Sistemas e Testes Ambientais e Laboratório de Integração e Testes Funcionais) e no subsolo (Laboratório de Tratamento de Superfícies, Laboratório de Qualificação de Vestimentas e Laboratório de Solda Espacial).

As salas de controle, localizadas no pavimento térreo, possuem visada para o Laboratório de Qualificação de Sistemas e Testes Ambientais (Sala de Controle de Satélites, Comando Vibração e Comando Térmica) e para o Laboratório de Integração e Testes Funcionais (Sala de Controle de Satélites). Os Laboratórios de Aquisição e Processamento de Dados estão localizados no primeiro pavimento do prédio e possuem visada para o Laboratório de Qualificação de Sistemas e Testes Ambientais. O segundo andar acomoda laboratórios diversos, secretaria e auditório. Os escritórios estão distribuídos nos três pavimentos do LIT.

A primeira inspeção de segurança a que se refere o Case 02 apresenta somente o resultado da inspeção de segurança realizada no Laboratório de Integração e Testes

Funcionais do LIT, haja vista que é justamente neste laboratório que se iniciariam as atividades de montagem mecânica e integração elétrica do satélite CBERS 04A.

Quadro 12 - Estrutura da primeira inspeção de segurança

Natureza do risco	
Agentes físicos	Consequência potencial para pessoal envolvido
Agentes químicos	
Agentes biológicos	
Risco de acidente	
Risco ergonômico	
Agentes físicos	Consequência potencial para o hardware de voo
Agentes químicos	
Agentes biológicos	
Risco de acidente	
Risco ergonômico	
Agentes físicos	Consequência potencial para as instalações
Agentes químicos	
Agentes biológicos	
Risco de acidente	
Risco ergonômico	

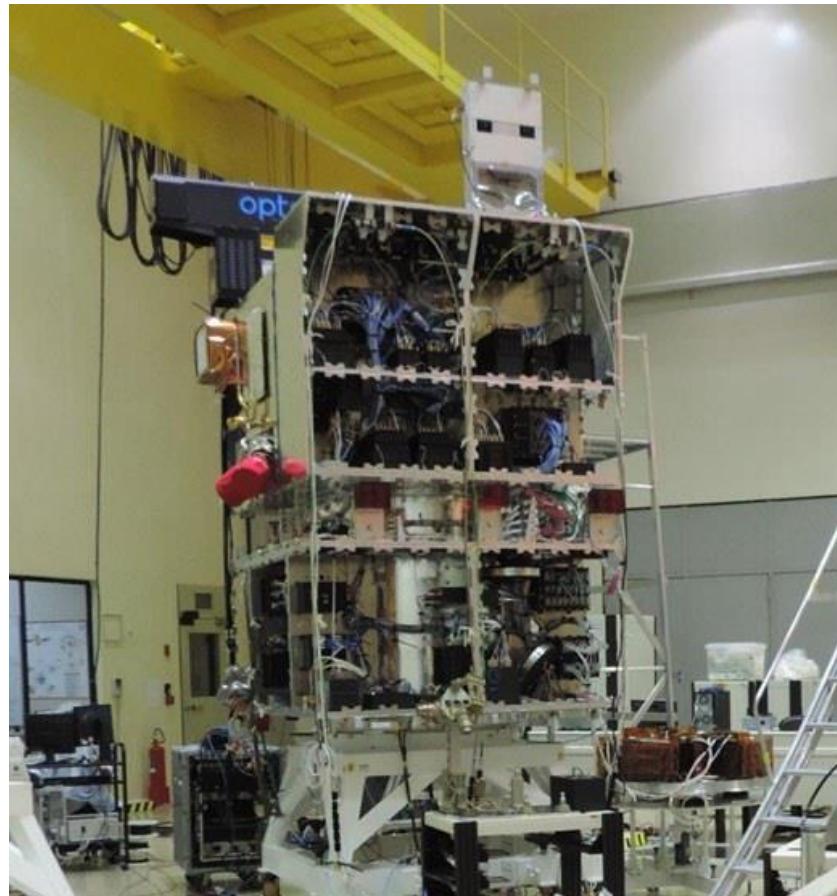
Fonte: A autora

A primeira inspeção de segurança a que se refere o Case 02 apresenta somente o resultado da inspeção de segurança realizada no Laboratório de Integração e Testes Funcionais do LIT, haja vista que é justamente neste laboratório que se iniciariam as atividades de montagem mecânica e integração elétrica do satélite CBERS 04A.

Cabe ressaltar que o Laboratório de Integração e Testes Funcionais possui uma área de 432m² e pé direito de 12 metros. Este laboratório consiste de uma área limpa com sobrepressão de 3 mm C.A., de classe 7 (ISO 14644-1 Part 1: *Classification of air cleanliness*), montado sobre um bloco sísmico e que opera com temperatura e umidade relativa controladas (22°C ± 3°C / 50% ± 5%). Além disso, possui uma ponte rolante com capacidade de 2,0 toneladas e ganho de 6,0 m. Faz parte deste laboratório, ainda, uma sala de controle adjacente de 88m² com visada para seu interior (LIT/INPE, 2019). A Figura 29 apresenta o satélite CBERS 04A

durante sua integração elétrica no Laboratório de Integração e Testes Funcionais do LIT.

Figura 29 - Satélite CBERS 04A durante testes elétricos



Fonte: OBT/INPE (2018)

A seguir são apresentados os Quadros 13, 14, 15, 16 e 17 com os resultados obtidos durante a primeira inspeção de segurança. Estes quadros relacionam, por natureza, os diferentes tipos de perigos e suas consequências para o pessoal envolvido nas atividades de AIT de satélites no interior do Laboratório de Integração e Testes do INPE.

Quadro 13 - Agentes Físicos: Consequência potencial para pessoal envolvido

Perigo	Consequência
Frio	Não aplicável
Ruído	Não aplicável
Vibrações	Não aplicável
Radiações ionizantes	Não aplicável.
Radiações não ionizantes	Não aplicável
Ambiente espacial	Não aplicável
Calor	Não aplicável
Pressão positiva	Não aplicável
Vácuo	Não aplicável.
Umidade	Não aplicável

Fonte: A autora

O Quadro 13 mostra que, apesar do perigo “radiações ionizantes” não se aplicar como consequência potencial para o pessoal envolvido nas atividades de AIT no LIT, existem registros do ano 2000 apontando que durante o projeto CBERS 2 houve medições de raios-x do sistema de propulsão do satélite dentro desta área. Sendo assim, houve uma recomendação para que o LIT mantenha um procedimento de segurança para tratar especificamente de trabalho com radiações ionizantes.

Quadro 14 - Agentes Químicos: Consequência potencial para pessoal envolvido

Perigo	Consequência
LN2 (nitrogênio líquido)	Não aplicável
GN2 (nitrogênio gasoso)	Não aplicável
Solventes químicos	Intoxicação por absorção e inalação.
Vapores de pintura	Intoxicação por absorção e inalação.
Falta de oxigênio	Não aplicável
Vapores	Intoxicação durante as atividades envolvendo solventes químicos (álcool e acetona).
Gases	Não aplicável
Gases ionizados	Não aplicável
Poeiras	Não aplicável.
Névoas	Não aplicável
Fumos	Intoxicação por inalação de fumos de solda de chumbo levando a doenças como saturnismo.
Substâncias e compostos químicos	Intoxicação (ver vapores e fumos)

Fonte: A autora

O Quadro 14 mostra que existem 4 (quatro) potenciais fontes de intoxicação, por solventes químicos, vapores de pintura, vapores de álcool e acetona e fumos de solda de chumbo.

A intoxicação por solventes químicos teria como consequência o ressecamento de pele devido ao uso de álcool isopropílico, álcool etílico e acetona no interior da sala limpa. O laboratório foi orientado a elaborar procedimentos de segurança para o manuseio destes produtos químicos, baseados em suas fichas de segurança (MSDS) e orientar os profissionais a sempre fazer uso de EPI (luvas e óculos de segurança).

No caso de atividades de retoque de pintura na fase final de integração do satélite, o laboratório deverá prover procedimentos específicos de segurança para atividades de pintura fora do laboratório de pintura. Recomenda-se uso de EPI (luvas, máscara com filtro, óculos de segurança) para evitar contaminação por vapores de pintura que podem levar a lesão do trato respiratório.

As atividades de limpeza da estrutura do satélite, que antecede a integração dos equipamentos, envolvem manuseio de altos volumes de álcool e acetona, para uso em tecidos embebidos com estes produtos. Durante este processo existe geração de altas concentrações de vapores que podem causar intoxicação, dor de cabeça, perda de olfato e paladar. Recomenda-se o uso de EPI (luvas, máscara com filtro e óculos de segurança).

Atividades de integração de satélite envolvem processo de solda de chumbo onde a exaustão local não é sempre possível. Como consequência mais grave, pode levar ao desenvolvimento de saturnismo, que é uma doença causada pela intoxicação por chumbo de um organismo. O chumbo pode se acumular no organismo adulto por vários meses ou anos antes de causar sintomas. Recomendou-se exames laboratoriais uma vez por ano para todos os profissionais que trabalham com solda, com o objetivo de se medir o nível deste metal no organismo quando não for possível a utilização de soldas do tipo *lead-free*.

Quadro 15- Agentes biológicos: Consequência potencial para pessoal envolvido

Perigo	Consequência
Microbiológico: vírus, bactérias, protozoários, fungos, parasitas e bacilos.	Ferimento com material cortante ou perfurante, podendo levar ao contágio de profissionais dentro do laboratório.

Fonte: A autora

Quadro 16 - Risco de acidente: Consequência potencial para pessoal envolvido

Perigo	Consequência
Animais peçonhentos	Não aplicável
Insetos peçonhentos	Não aplicável
Trabalho em altura	Corte, laceração, ferida contusa, punctura (ferida aberta), luxação, fratura, lesão imediata, concussão cerebral, lesão neurológica, distensão, torção, lesão medular (paraplegia, tetraplegia), choque elétrico, queda (ou da pessoa ou sobre a pessoa), morte.
Trabalho junto a reservatórios abertos	Não aplicável
Armazenamento e arranjo físico inadequados	Corte, laceração, ferida contusa, punctura (ferida aberta), lesão imediata, contusão, esmagamento, inflamação de articulação, de tendão e de músculo.
Trabalho a quente ou com fogo	Não aplicável
Trabalho com equipamento pressurizado	Não aplicável
Trabalho com eletricidade	Choque elétrico
Iluminação inadequada	Não aplicável.
Quedas de ferramentas, materiais e equipamentos.	Inflamação de articulação, tendão ou músculo, distensão, torção, corte, laceração, ferida contusa, punctura (ferida aberta), fratura, lesão imediata, luxação.
Ferramentas inadequadas e defeituosas	Não aplicável.
Máquinas e equipamentos sem proteção	Corte, laceração, ferida contusa, punctura (ferida aberta).
Superfície escorregadia	Não aplicável
Perigo de explosão	Não aplicável
Perigo de incêndio	Intoxicação, asfixia, choque, perda temporária ou permanente dos sentidos, morte.

Fonte: a autora

Foi recomendado o uso de escadas ou plataformas com guarda corpo durante atividades de AIT e uso de cinto de segurança com talabarte duplo, obrigatório para trabalhos realizados com altura superior a 2 metros e somente por profissional devidamente treinando segundo a NR – 35 (Trabalho em altura), assim como procedimentos de segurança que prevejam a necessidade de cuidados no manuseio de ferramentas, materiais e equipamentos durante as atividades de AIT. É importante a área possuir meios para se garantir a fixação de ferramentas, materiais

e equipamentos quando o trabalho for realizado em altura, para evitar acidentes com pessoas e danos ao hardware de voo.

Quadro 17 - Risco ergonômico: Consequência potencial para pessoal envolvido

Perigo	Consequência
Levantamento e transporte manual de pesos	Distensão, torção, inflamação de articulação, de tendão ou de músculo, doenças do stress, doenças ortopédicas e neurológicas (danos à coluna, dor e inflamação crônica).
Esforço físico intenso	Distensão, torção, inflamação de articulação, de tendão ou de músculo, doenças do stress, doenças ortopédicas e neurológicas (danos à coluna, dor e inflamação crônica).
Imposição de ritmo excessivo	Doenças do stress, fadiga, desgaste físico e mental que provoquem uma debilidade do corpo.
Controle rígido de produtividade	Doenças do stress, fadiga, desgaste físico e mental que provoquem uma debilidade do corpo.
Exigência de postura inadequada	Inflamações de articulação, de tendão ou de músculo, danos na coluna.
Trabalho em turno noturno	Doenças do stress, fadiga, desgaste físico e mental que provoquem uma debilidade do corpo.
Jornada de trabalho prolongada	Doenças do stress, fadiga, desgaste físico e mental que provoquem uma debilidade do corpo.
Monotonia e repetitividade	Não aplicável
Outras situações causadoras de stress físico e psíquico	Incertezas quanto ao futuro, ansiedade, depressão, descanso e lazer insuficiente podem levar a erros na condução de tarefas.

Fonte: A autora

Durante atividades de AIT o risco ergonômico é bastante alto, haja vista que existem atividades de:

- a) levantamento de peso manual;
- b) posição/posturas incômodas de trabalho;
- c) ritmo excessivo de trabalho com controle rígido de atividade associado a cronogramas apertados;

Para que o risco ergonômico seja minimizado, o gerente de AIT deve levar todos estes aspectos em consideração quando do planejamento das atividades. O conhecimento/estudo da NR-17 se faz mandatório.

A seguir são apresentados os Quadros 18, 19, 20, 21 e 22 relacionando, por natureza, os diferentes tipos de perigo e suas consequências para o *hardware* de voo nas atividades de AIT de satélites no interior do Laboratório de Integração e Testes.

Quadro 18- Agentes físicos: Consequência potencial para hardware de voo

Perigo	Consequência
Frio	Não aplicável
Ruído	Não aplicável
Vibrações	Não aplicável
Radiações ionizantes	Não aplicável
Radiações não ionizantes	Degradação de sensores sensíveis a RF ou campo eletromagnético, alteração de medidas, falha intermitente de equipamento.
Ambiente espacial	Magnetômetro pode sofrer interferência do vento solar.
Calor	Não aplicável
Pressão positiva	Não aplicável
Vácuo	Não aplicável
Umidade	Não aplicável

Fonte: A autora

Quadro 19 - Agentes químicos: Consequência potencial para hardware de voo

Perigo	Consequência
LN2	Não aplicável
GN2	Não aplicável
Solventes químicos	Solventes colorados atacam Alodine e revestimentos (pintura); podem atacar polímeros, encapsulamentos de componentes, resinas.
Vapores de pintura	Durante atividades de retoque de pintura, solventes e particulados suspensos podem contaminar partes sensíveis do hardware de voo (imageadores).
Falta de oxigênio	Não aplicável
Vapores	Durante atividades de retoque de pintura ou soldagem de pontos do satélite (atividades de AIT) pode haver geração de vapores e particulados suspensos levando à contaminação de partes sensíveis do hardware de voo (imageadores).
Gases	Não aplicável
Gases ionizados	Não aplicável
Poeiras	Contaminação por deposição de partículas (crítico para partes ópticas)
Névoas	Não aplicável
Fumos	Durante atividades de soldagem de pontos do satélite (atividades de AIT) pode haver geração de fumos e particulados suspensos levando à contaminação de partes sensíveis do hardware de voo (ex: imageadores)
Substâncias e compostos químicos	Equipamento como hardware de voo tem muitas restrições quanto ao uso de substâncias químicas. Checar e orientar operadores.

Fonte: A autora

Quadro 20 - Agentes biológicos: Consequência potencial para hardware de voo

Perigo	Consequência
Microbiológico: vírus, bactérias, protozoários, fungos, parasitas e bacilos	Formação de colônia de bactérias oriundas de gotículas de suor e saliva pelo não uso inadequado de máscaras faciais.

Fonte: A autora

Para evitar exposição ao perigo microbiológico para hardware de voo, recomenda-se o uso de máscaras faciais para evitar respingos de suor e saliva sobre equipamentos de voo sensíveis (ex: partes ópticas) o que geraria formação de colônias de fungos e bactérias comprometendo a missão do satélite (ex: câmeras imageadoras deterioradas).

Quadro 21 - Risco de acidente: Consequência potencial para hardware de voo

Perigo	Consequência
Animais peçonhos	Não aplicável
Insetos peçonhos	Não aplicável
Trabalho em altura	Perda ou dano do hardware de voo por choque, aceleração, desalinhamento, fratura, deformação plástica.
Trabalho junto a reservatórios abertos	Não aplicável
Armazenamento e arranjo físico inadequados	Redução da vida útil, defeitos intermitentes, necessidade de reparos, perda de confiabilidade, condenação do hardware de voo.
Trabalho a quente ou com fogo	Não aplicável
Trabalho com equipamento pressurizado	Verificar se o tanque de hidrazina será pressurizado com gás para testes de válvulas. Neste caso o tanque se transforma em um vaso de pressão e cuidados devem ser observados.
Trabalho com eletricidade	Incêndio, perda permanente, falha intermitente, falha que permite reparo, redução da confiabilidade
Illuminação inadequada	Defeitos provocados por processo impreciso, deficiente ou inadequado durante manuseio e operação do hardware de voo.
Quedas de ferramentas, materiais e equipamentos	Destrução por choque, aceleração, desalinhamento, fratura, deformação plástica.
Ferramentas inadequadas e defeituosas	Não aplicável.
Máquinas e equipamentos sem proteção	Dano por exposição a ESD
Superfície escorregadia	Não aplicável
Perigo de explosão	Não aplicável
Perigo de incêndio	Contaminação ou perda do hardware do voo.

Fonte: A autora

Em um satélite estabilizado em três eixos geralmente existe um sistema de propulsão responsável por gerar empuxo para manobras de correção de órbita. Nestes casos, o satélite é levado ao espaço com uma carga de hidrazina, um dos combustíveis mais utilizados pelos sistemas de propulsão. Pode-se citar também testes de fuga/vazamento utilizados em sistemas pressurizados, cilindros com gás hélio pressurizado utilizado em testes que pressurizam o sistema de propulsão para testes de vazamento. Para estas atividades, um procedimento de segurança deve ser preparado e a equipe orientada sobre os cuidados em atividades fazendo uso de vasos de pressão.

O isolamento da área e controle de acesso são medidas protetivas para se evitar efeitos de ESD (Descarga Eletrostática), que podem danificar um hardware de voo. Para tanto, foi recomendada a implementação de um plano de ESD durante a campanha de AIT.

Quadro 22 - Risco ergonômico: Consequência potencial para hardware de voo

Perigo	Consequência
Levantamento e transporte manual de pesos	Possibilidade de queda, amassamento, arranhamento e danos durante o manuseio.
Esforço físico intenso	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda intensa por atividades que podem vir acompanhadas de esforço físico intenso dos profissionais. <i>O gerente de AIT deve levar isso em consideração na escala de trabalho da equipe para evitar danos ao hardware de voo.</i>
Imposição de ritmo excessivo	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda intensa de atividades que podem vir acompanhadas de um ritmo excessivo de trabalho, levando a danos e perdas do hardware de voo.
Controle rígido de produtividade	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda intensa de atividades que podem vir acompanhadas de um controle rígido de produtividade, levando a danos e perdas do hardware de voo.
Exigências de postura inadequada	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda por postura inadequada, levando a danos e perdas do hardware de voo.
Trabalho em turno noturno	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda por trabalho em turno noturno, levando a danos e perdas do hardware de voo, no caso de profissional que não tenha descansado tempo suficiente.
Jornada de trabalho prolongada	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda por jornada de trabalho prolongada, levando a danos e perdas do hardware de voo, no caso de profissional que não tenha descansado tempo suficiente.
Monotonia e repetitividade	Não aplicável
Outras situações causadoras de stress físico e psíquico	Incertezas quanto ao futuro, ansiedade, depressão, descanso e lazer insuficientes podem levar a erros na condução de tarefas levando a danos e perda do hardware de voo.

Fonte: A autora

A seguir são apresentados os Quadros 23, 24, 25, 26 e 27 relacionando, por natureza, os diferentes tipos de perigo e suas consequências para as instalações (inclui os meios de teste e de trabalho) no interior do Laboratório de Integração e Testes Funcionais.

Quadro 23 - Agentes físicos: Consequência potencial para as instalações

Perigo	Consequência
Frio	Não aplicável
Ruído	Não aplicável
Vibrações	Não aplicável
Radiações ionizantes	Não aplicável
Radiações não ionizantes (RF, campo eletromagnético)	Não aplicável
Ambiente espacial (raios cósmicos, vento solar)	Não aplicável
Calor	Não aplicável
Pressão positiva	Não aplicável
Vácuo	Não aplicável
Umidade	Não aplicável

Fonte: A autora

Quadro 24 - Agentes químicos: Consequência potencial para as instalações

Perigo	Consequência
LN2	Não aplicável
GN2	Não aplicável
Solventes químicos	Os solventes disponíveis na área de integração (ex: álcool isopropílico e acetona) são inflamáveis e podem causar incêndio.
Vapores de pintura	Contaminação de filtros absolutos e ar condicionado
Falta de oxigênio	Não aplicável
Vapores	Não aplicável
Gases	Não aplicável
Gases ionizados	Não aplicável
Poeiras	Contaminação por deposição de partículas na área limpa, impossibilitando o uso de sensores e lentes.
Névoas	Não aplicável
Fumos	Contaminação de filtros absolutos e ar condicionado
Substâncias e compostos químicos	Não aplicável

Fonte: A autora

Quadro 25 - Agentes biológicos: Consequência potencial para as instalações

Perigo	Consequência
Microbiológico: vírus, bactérias, protozoários, fungos, parasitas e bacilos	Não aplicável

Fonte: A autora

Quadro 26 - Risco de acidente: Consequência potencial para as instalações

Perigo	Consequência
Animais peçonhos	Não aplicável
Insetos peçonhos	Não aplicável
Trabalho em altura	Dependendo da massa do objeto que sofreu a queda, pode haver danos a equipamentos de medição, EGSE, MGSE, piso e paredes.
Trabalho junto a reservatórios abertos	Não aplicável
Armazenamento inadequado	Redução da vida útil, defeitos intermitentes, necessidade de reparos, perda de confiabilidade, condenação para descarte de equipamentos utilizados para medições (ex: EGSE).
Trabalho a quente ou com fogo	Não aplicável
Trabalho com equipamento pressurizado	Não aplicável
Trabalho com eletricidade	Dano a meios de testes (ex: EGSE) por sobrecarga elétrica. Faísca pode gerar um foco de incêndio.
Iluminação inadequada	Não aplicável
Quedas de ferramentas, materiais e equipamentos	Danos a pisos e paredes.
Ferramentas inadequadas e defeituosas	Não aplicável
Máquinas e equipamentos sem proteção	Não aplicável
Superfície escorregadia	Não aplicável
Arranjo físico inadequado	Não aplicável
Perigo de explosão	Danos irreversíveis na infraestrutura
Perigo de incêndio	Contaminação ou perda da área limpa.

Fonte: A autora

Quadro 27 - Risco ergonômico: Consequência potencial para as instalações

Perigo	Consequência
Levantamento e transporte manual de pesos	Possibilidade de queda, amassamento, arranhamento e danos durante o manuseio.
Esforço físico intenso	Não aplicável
Imposição de ritmo excessivo	Não aplicável
Controle rígido de produtividade	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda intensa de atividades que podem vir acompanhadas de um controle rígido de produtividade, levando a danos à estrutura e perda de equipamentos (gases, medidores, etc.) devido a manuseio inadequado e erros do operador na condução das atividades.
Exigências de postura inadequada	Não aplicável
Trabalho em turno noturno	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda intensa de atividades que podem vir acompanhadas de um controle rígido de produtividade, levando a danos à estrutura e perda de equipamentos (gases, medidores, etc.) devido a manuseio inadequado e erros do operador na condução das atividades.

Quadro 27 - Conclusão

Perigo	Consequência
Jornada de trabalho prolongada	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda intensa de atividades que podem vir acompanhadas de um controle rígido de produtividade, levando a danos à estrutura e perda de equipamentos (gases, medidores, etc.) devido a manuseio inadequado e erros do operador na condução das atividades.
Monotonia e repetitividade	Não aplicável
Outras situações causadoras de stress físico e psíquico	Durante as atividades de AIT pode existir uma demanda intensa de atividades que podem vir acompanhadas de um controle rígido de produtividade, levando a danos à estrutura e perda de equipamentos (gases, medidores, etc.) devido a manuseio inadequado e erros do operador na condução das atividades.

Fonte: A autora

Durante a inspeção de segurança não foi verificado nenhum perigo que pudesse impactar negativamente o meio ambiente. No entanto, durante a inspeção também foram encontradas situações que necessitavam ser trabalhadas pela equipe do centro de testes espaciais de modo a se garantir a conformidade com requisitos de segurança, antes do início das atividades de AIT. Tais situações são sumarizadas a seguir:

- a) Uso de salto alto: No dia da inspeção uma profissional estava na área trajando sapato de salto alto. Este tipo de atitude pode levar a torção, queda, falta de equilíbrio quando manuseando algum equipamento de voo. Recomendou-se ao laboratório a criação de regras claras para acessar a área limpa, incluindo a proibição de saltos altos, sandálias abertas, maquiagem, etc. (ex: placa contendo orientações afixadas na entrada da área; treinamentos de conscientização para profissionais, internos e externos ao centro de testes, com vistas a uma mudança de cultura). Cabe ressaltar que a sapatilha não protege os pés contra acidentes (ex: ferimento devido a queda de ferramentas). Uso de sapatos/tênis de segurança é o mais indicado durante atividades de AIT (área de produção).

- b) Medidor de aterramento: O medidor de aterramento não estava afixado em um ponto específico, assim como não existiam regras estabelecidas para a realização de testes em pulseiras de pulso e calcanhar dos profissionais que irão manusear equipamento eletrônico. Recomendou-se criar regras, procedimentos, treinamento e conscientização de todo o pessoal, interno e

- externo ao centro de testes, sobre os efeitos de eventos ESD em equipamentos eletrônicos.
- c) Hidrante obstruído: O único hidrante disponível neste laboratório estava obstruído por um equipamento de testes. Foi recomendado um estudo, junto com a equipe do SESMT e CIPA, para se verificar a possibilidade de substituição deste ponto obstruído por extintores de incêndio. Também foi orientado que qualquer mudança deveria ser informada à brigada de incêndio do centro de testes em *briefings de reciclagem*.
 - d) Espaço insuficiente para realizar atividades de AIT de satélites: Do ponto de vista da segurança espacial, a configuração de *lay-out* da área não estava adequada para realizar a integração de um satélite, pois a segurança das pessoas, de *hardware* de voo e das instalações não estaria assegurada. Recomendou-se a implementação de um programa 5S nesta área, deixando somente o material necessário às atividades de AIT.
 - e) Brigadistas: Nenhum profissional desta área tinha recebido treinamento em técnicas de brigada de incêndio. Foi recomendado indicar um profissional e prover treinamento.
 - f) Operação de empilhadeiras: O uso de empilhadeiras dentro do laboratório é considerado como atividade perigosa que envolve risco de acidentes. É importante zelar pela manutenção da empilhadeira, treinamento e condições de saúde física e mental do operador. Foi recomendado que todas as atividades delicadas durante o AIT com envolvimento de empilhadeira fossem sempre acompanhadas por um profissional da área de segurança.
 - g) Operação de plataformas pantográficas: Nenhum profissional desta área havia recebido treinamento de operação de plataformas pantográfica e treinamento de trabalho em altura. Foi recomendado indicar um profissional e prover treinamento, e que o estado de saúde física e mental do operador fosse verificado pelo médico do trabalho. As atividades delicadas durante o AIT com envolvimento de plataformas pantográficas devem sempre ser acompanhadas por um profissional da área de segurança.
 - h) Atividades em andaimes: Trabalhos em andaimes durante as atividades de AIT devem ser realizados por pessoas que passaram por orientações de segurança e que estão conscientes dos riscos envolvidos. Foi orientado que

essas atividades fossem supervisionadas por um profissional de segurança. Para alturas superiores a 2 metros é mandatório o uso de cintos de segurança com talabarte duplo e profissional com treinamento em trabalho em altura.

- i) Operação de pontes rolantes: Nenhum profissional da área de integração deve operar este tipo de dispositivo sem treinamento prévio. Foi recomendado prover treinamento a todos os operadores e que o estado de saúde física e mental dos mesmos fosse verificado por um médico do trabalho. As atividades delicadas durante o AIT que envolvem o uso de pontes rolantes devem sempre ser acompanhadas por um profissional da área de segurança.

4.3.1.2 Resultados da segunda inspeção de segurança do Case 02

Possuindo uma área de 3.000 m² e pé direito de 14,40 metros, o Laboratório de Qualificação e Testes Ambientais consiste de uma área limpa com sobrepressão de 1,5 mm C.A., de classe 8 (ISO 14644-1 Part 1: *Classification of air cleanliness*) e que opera com temperatura e umidade relativa controladas (22°C ± 3°C / 50% ± 5%). Além disso, possui duas pontes rolantes, sendo uma com capacidade para 10,0 toneladas de carga e outra de 7,5 toneladas. Faz parte deste laboratório, ainda, a área de testes de vibração, acústico, vacuotérmico e interferência eletromagnética. A Figura 30 apresenta uma vista parcial do laboratório.

Antes da realização da segunda inspeção de segurança no centro de testes foi realizado um levantamento das atividades perigosas durante os testes ambientais do satélite CBERS 04A, com base nos testes previstos na Figura 24.

O Quadro 28 apresenta um resumo das principais atividades perigosas identificadas, mostrando apenas as macroatividades. Cabe ressaltar que para cada caixa apresentada na Figura 24 existem subatividades que são detalhadas em procedimentos e planos, os quais fogem ao escopo desta monografia e, por esta razão, não serão apresentadas.

Figura 30 - Laboratório de Qualificação e Testes de Ambientais do LIT



Fonte: Guia SJC (2013)

Quadro 28 - Atividades perigosas durante os testes ambientais do satélite CBERS 04A

Atividade	Perigos potenciais identificados
Preparação para os testes de vibração	Trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Instalação de MLI	Trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Teste de EMI/EMC	Trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada, exposição a radiação não-ionizantes de alta frequência.
Medidas de propriedades de massas	Trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Montagem do cilindro adaptador e cinta de separação do foguete	Queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Montagem do painel solar	Trabalho em altura, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Teste acústico	Ruído, vibrações, asfixia, vazamento de nitrogênio, trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Teste de separação	Ruído, perigo de explosão, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, jornada de trabalho prolongada.

Quadro 28: Conclusão

Atividade	Perigos potenciais identificados
Teste de vibração	Ruído, vibrações, trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Teste abertura do painel solar	Trabalho em altura, ruído, perigo de explosão, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, jornada de trabalho prolongada.
Teste abertura da antena DTS	Trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada.
Medidas de alinhamento	Trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Teste de fuga	Perigo de explosão, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, jornada de trabalho prolongada.
Preparação para o teste vacuotérmico	Trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Teste vacuotérmico	Ruído, asfixia, vazamento de nitrogênio, trabalho em altura, choque elétrico, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Remoção dos sensores	Trabalho em altura, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.
Preparação para embarque	Trabalho em altura, queda de ferramentas, esforço físico intenso, exigência de postura inadequada, trabalho em turno, jornada de trabalho prolongada.

Fonte: A autora

Esta inspeção foi realizada por meio do *check-list* apresentado no Apêndice C, onde o centro de testes teve a oportunidade de apresentar evidências de que para os perigos potenciais identificados foram tomadas ações para que riscos associados a acidentes fossem reduzidos ou eliminados.

Abaixo seguem relacionadas algumas das evidências fornecidas pelo LIT:

- a) plano de manutenção preventiva das instalações de ar condicionado;
- b) relatórios de medidas de iluminância das áreas de montagem, integração e testes de satélites;
- c) certificação de pontes rolantes/painel de aterrramento;
- d) Procedimentos gerenciais (controle de documentos, gestão de pessoal

- e) Certificados de treinamento;
- f) Manual de segurança;
- g) Procedimentos operacionais e de segurança (ex: câmara anecoica, câmara vacuotérmica, vibradores eletrodinâmicos, etc.)
- h) Programa anual de calibração de equipamentos de medição e sensores;
- i) Matriz de riscos e oportunidades, etc.

O Quadro 29 apresenta, de maneira sumarizada, os resultados das ações tomadas pelo centro de testes como forma de reduzir a probabilidade de acidente relacionado aos perigos potenciais identificados, fazendo referência cruzada com as Normas Regulamentadoras.

Quadro 29 - Medidas de redução da probabilidade de acidente em testes ambientais

Perigo potencial	Medida de redução da probabilidade de acidentes	Normas
Trabalho em altura	Treinamento de todos os profissionais que executariam atividades sobre escadas e plataformas elevatórias	NR 35
Choque elétrico	Treinamento de todos os profissionais que executariam atividades de integração elétrica e operação de equipamentos de testes elétricos	NR 10
Queda de ferramentas	Treinamento de todos os profissionais que executariam atividades sobre escadas e plataformas elevatórias.	NR 35
Esforço físico intenso	A organização do trabalho deve ser adequada às características psicofisiológicas dos trabalhadores	NR 17
Exigências em relação a postura inadequada	A organização do trabalho deve ser adequada às características psicofisiológicas dos trabalhadores	NR 17
Trabalho em turno	Somente em casos excepcionais (ex. teste vacuotérmico tem duração de aproximadamente 20 dias ininterruptos)	NR 17
Jornada de trabalho prolongada	Somente em casos excepcionais (ex. montagem complexa que não pode ser interrompida)	NR 17
Exposição a radiação não-ionizante	As operações que exponham os trabalhadores às radiações não ionizantes somente podem ser realizadas em câmaras blindadas e com sistema de alerta.	NR 15
Ruído	Uso de protetores auriculares (EPI)	NR 15
Vibracões	Orientação para não permanecer sobre a mesa de vibração (Briefing de segurança)	NR 15

Quadro 29 - Conclusão

Perigo potencial	Medida de redução da probabilidade de acidentes	Normas
Asfixia	Detectores de oxigênio calibrados fixos e móveis Alarmes testados Plano de evacuação do laboratório Máscara autônoma no local de trabalho Trabalhar sempre em mais de uma pessoa	NR 33
Vazamento de nitrogênio	Detectores de oxigênio calibrados fixos e móveis Alarmes testados Plano de evacuação do laboratório Máscara autônoma no local de trabalho Trabalhar sempre em mais de uma pessoa Curso de primeiros socorros	NR 33
Perigo de explosão	Manuseio somente por especialistas treinados Isolamento da área Briefing de segurança	NR 19
Atropelamento	Motorista treinado e habilitado Condições físicas e mentais avaliadas Sinalização Regras de utilização dentro do laboratório	NR 12 NR 11
Incêndio	Detectores de fumaça conectados à central de monitoramento Alarme de incêndio conectado à central de monitoramento Brigada de incêndio Plano de abandono Exercício de abandono	NR 23

Fonte: A autora

Após a verificação das evidências das ações tomadas pelo centro de testes ficou demonstrada sua aptidão para executar os testes ambientais do satélite CBERS 04A em segurança. O laboratório também indicou um profissional da área de segurança para ficar responsável por acompanhar todas as atividades críticas de segurança, conforme cronograma de atividades do dia.

5 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho, tendo sido estruturado em três partes. A primeira é dedicada a descrever a consecução do objetivo geral do trabalho. A segunda se propõe a descrever as conclusões dos resultados dos dois cases analisados. Por fim, a terceira e última parte apresenta os desafios e propostas de melhorias das atividades de segurança para os próximos projetos de satélites.

5.1 CONSECUÇÃO DO OBJETIVO GERAL DO TRABALHO

O objetivo geral do trabalho foi o de apresentar uma análise crítica de como se deu o levantamento e implementação de requisitos de segurança de sistemas espaciais durante o ciclo de vida de satélites.

Para se atingir o objetivo de realizar o levantamento de requisitos de segurança de sistemas espaciais e para testes ambientais de satélites foi necessário o estudo das normas ECSS-Q-ST-40-C – *Space Product Assurance – Safety*; ISO 14620-1:2018 – *Space Systems – Safety Requirements – Part 1 – System Safety*, ECSS-Q-ST-20-07C *Space Product Assurance – Quality and safety assurance for space test centres* e ISO 18322:2018 – *Space Systems – General Management Requirements for Space Test Centres* e, por meio de análise cruzada entre estas normas, identificar quais os requisitos de segurança poderiam ser utilizados nos projetos de satélite dentro do escopo do PEB – Programa Espacial Brasileiro. Requisitos de segurança para projetos de foguetes e de voos espaciais tripulados ficaram de fora deste levantamento, pois a construção de foguetes não está dentro das atribuições do INPE, assim como o Brasil não tem planos de participar de nenhum projeto de envio de astronautas ao espaço em um futuro próximo.

Com base nestas referências normativas foi possível prospectar dois conjuntos de requisitos de segurança, sendo o primeiro apresentado no quadro do Apêndice A

(Requisitos mínimos de segurança para projetos de satélites) e o outro quadro apresentado no Apêndice B (Requisitos de segurança para centros de testes).

Adicionalmente, fazia parte do objetivo do trabalho mostrar como algumas ferramentas foram utilizadas para se implementar alguns dos requisitos levantados e, para tanto, foram escolhidas duas situações reais, sendo uma em que fosse possível apresentar como foi realizada a implementação de algum requisito apresentado no o Apêndice A (Requisitos mínimos de segurança para projetos de satélites), e outra onde fosse possível apresentar a implementação de alguns requisitos apresentados do Apêndice B (Requisitos de segurança para centros de testes). Tais situações reais foram nominadas de Case 01, referente ao carro de basculamento do satélite Amazonia-1, e Case 02, referente às atividades de segurança durante os testes ambientais do satélite CBERS 04A.

Na Seção 3.4.1 e 3.4.2 deste trabalho foram apresentadas uma descrição do Case 01 e do Case 02 respectivamente, assim como a metodologia utilizada em cada um deles, sendo que no Capítulo 4 foram apresentados os resultados e discussões de ambos os cases.

5.2 CONCLUSÕES DOS RESULTADOS DOS CASES 01 E 02

A implementação dos requisitos de segurança em equipamentos de voo/solo somente foi possível em projetos que estavam em fase de desenvolvimento dentro do instituto, enquanto que para os testes ambientais do satélite CBERS 04A foi possível impor requisitos de segurança específicos para esta etapa do projeto. A equipe de qualidade e segurança do LIT trabalhou na implementação dos requisitos impostos com antecedência para que fosse possível atender a esta demanda.

O Case 01 mostrou que foi possível introduzir a ferramenta de análise de perigo no projeto do carro de basculamento do satélite Amazonia-1 com forma de se atender ao requisito 3.1.2.b, apresentado no Apêndice A. Embora o projeto já estivesse em estágio avançado de desenvolvimento (fase de testes operacionais) a ferramenta só pôde ser utilizada para levantamento dos perigos durante sua utilização, ou seja, os

perigos inerentes ao projeto de fabricação do carro de basculamento não foram analisados. Nos próximos projetos de satélites em que o INPE estiver envolvido, os requisitos de segurança deverão estar contemplados desde a Fase 0 do ciclo de vida do produto. Cabe ressaltar que um carro de basculamento como o tratado neste trabalho é simples quando comparado com outros dispositivos que envolvem equipes maiores e com corpo multidisciplinar mais abrangente.

Para os próximos projetos de equipamentos de suporte de solo (GSE) serão colocados requisitos explícitos sobre análises de modos de falha (FMEA) e de perigos e riscos como forma de se garantir a segurança não somente do hardware de voo, mas principalmente da segurança das pessoas envolvidas.

Outro fato que cabe ressaltar é que, por não haver uma política de riscos de segurança explícita nos documentos de projeto do satélite Amazonia-1, houve a necessidade da equipe responsável pelas análises de perigo do carro de basculamento agir da forma mais conservadora possível, ou seja, a magnitude de risco final tinha que ficar como “Baixa” ou “Muito Baixa”, não sendo tolerado o “Risco Médio” como uma situação aceitável para operação do carro de basculamento.

O Case 02 mostrou como se verificar a implementação de requisitos de segurança pelo centro de testes por meio de inspeções, já que a implementação dos requisitos em si era de responsabilidade da equipe de garantia da qualidade e de segurança do centro de testes, ou seja, para esta situação o Grupo da Garantia de Segurança de Sistemas Espaciais apenas impõe os requisitos e verifica seu atendimento.

Apesar da atividade do Case 02 se resumir a inspeção de segurança, a atividade se mostrou trabalhosa em função da busca por evidências objetivas de atendimento aos requisitos impostos ao centro de testes.

A primeira inspeção, ocorrida cerca de seis meses antes do início das atividades de AIT, teve como foco principal o relacionamento dos diferentes tipos de perigo e suas consequências, utilizando-se a NR-09 como referência. Como resultado, uma série de recomendações foi feita ao centro de testes para que este se adequasse aos requisitos para a realização dos testes ambientais.

Como o centro de testes já havia passado por campanha de testes ambientais de um satélite argentino em parceria com a NASA há pouco menos de oito anos, muitos dos requisitos relacionados no Apêndice B e dissolvidos em forma de perguntas no *check-list* (Apêndice C) não eram novos para a equipe de segurança do laboratório, o que facilitou sua implementação por parte de sua equipe de segurança e da garantia da qualidade.

As medidas de redução da probabilidade de acidentes apresentadas pelo laboratório foram garantidas por meio de alguns treinamentos de segurança tendo como referência as seguintes normas:

- NR-10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
- NR-11: Transporte, movimentação e armazenagem
- NR-12: Segurança no trabalho com máquinas e equipamentos
- NR-17: Ergonomia
- NR-23: Proteção contra incêndios
- NR-33: Segurança do trabalho em espaço confinado
- NR-35: Trabalho em altura

5.3 DESAFIOS E PROPOSTAS DE MELHORIA PARA PRÓXIMOS PROJETOS

O maior desafio deste trabalho foi a imposição de requisitos de segurança a projetos já em andamento, seguido da não aceitação imediata por alguns profissionais envolvidos diretamente nos projetos e de algumas empresas fornecedoras de hardware de voo para os satélites do INPE.

Abaixo seguem algumas das propostas de melhoria das atividades de segurança de sistemas para os próximos projetos de satélites:

- a) Definição de uma política de segurança de projetos em nível institucional;
- b) Requisitos de segurança para projetos desde a Fase 0 (concepção);

- c) Aumentar o quadro de profissionais treinados para lidar com as questões de segurança dos sistemas;
- d) Treinamentos sobre análises de perigo a todos os membros da engenharia de sistemas espaciais do INPE;
- e) Treinamentos sobre análises de perigo aos fornecedores do programa espacial brasileiro;
- f) Mapeamento dos processos de segurança;
- g) Padronização de metodologias de trabalho de análises e gerenciamento de riscos de segurança para projetos espaciais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. A Lei da Lua. **AEB**, Distrito Federal, Brasília. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/servicos/normas-de-seguranca-do-setor-espacial/>>. Acesso em: 10 de fev. de 2019.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa Nacional de Atividades Espaciais: PNAE 2012 – 2021**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Agência Espacial Brasileira, 2012. 36 p.

ALMEIDA, J. S.; PANISSI, D. L.; SANTOS, M. B. Thermal-vacuum tests of the Amazonia-1 Satellite TM performed at INPE with success. 8p. In: *67 INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS (IAC), Proceedings...* Guadalajara, Mexico – September, 2016.

AMAZONIA-1/INPE. Amazonia-1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: <<http://www3.INPE.br/Amazonia-1/amazonia.php>>. Acesso em: 15 de fev. de 2019.

BABCOCK, J. E. **The Fallacy of Space Safety**, 2015. pp 119-124 In: Sgobba T., Rongier I. (eds) *Space Safety is No Accident*. Springer, Cham/https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9_13 /

BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA. **Relatório de Investigação do acidente ocorrido com o VLS-1 V03, em 22 de agosto de 2003, em Alcântara, Maranhão**. Brasília, 2004. 118 p.

BRASIL, MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Normas Regulamentadoras**. Disponível em:<<http://www.trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>> Acessado em: 15 de mai. de 2019.

BÜRGER, E. E. **Proposta de método para AIT de pico e nanossatélites**, 2014. 307p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

CBERS/INPE. CBERS 04A. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 05 de fev. de 2018. Disponível em: <<http://www.cbers.INPE.br/sobre/cbers04a.php>>. Acesso em: 15 de fev. de 2019.

DEZFULI, H.; EVERETT, C.; BENJAMIN, A.; YOUNGBLOOD, B.; FEATHER, M.; The role of NASA thresholds and goals in achieving adequate safety, 2014. 13p. In: *Probabilistic safety assessment and management PSAM Proceedings...* Honolulu,Hawaii: 2014

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space Engineering – Verification** (ECSS-E-ST-10-02C). Noordwijk, The Netherlands. 2009a. 45 p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space Product Assurance – Safety**. (ECSS-Q-ST-40C). Noordwijk, The Netherlands.

2017. 79 p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space Management – Risk Management.** (ECSS-M-ST-80C). Noordwijk, The Netherlands. 2008a. 43p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space Product Assurance - Hazard Analysis.** (ECSS-Q-ST-40-02C). Noordwijk, The Netherlands. 2008b. 32 p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space Product Assurance - Quality and safety assurance for space test centres.** (ECSS-Q-ST-20-07C). Noordwijk, The Netherlands. 2014. 42 p

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS. **Space project management, project planning and implementation.** (ECSS-MST-10C) - Noordwijk, The Netherlands. 2009b. 50p.

FESTA F., KREIMER J. **Changing Safety Requirements – Benefits, Challenges, Risks,** 2015. pp 145-149 In: Sgobba T., Rongier I. (eds) Space Safety is No Accident. Springer, Cham - https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9_17

GUIASJC. Demissões no INPE comprometem a previsão do tempo, afirma sindicato. Guia São José dos Campos, São José dos Campos, 02 de out. de 2013. Disponível em: < <http://www2.guiasjc.com.br/noticias/demissoes-no-INPE-comprometem-a-previsao-do-tempo-afirma-sindicato/>>. Acesso em: 02 de fev. de 2019.

HALL, L. J. **Columbia and Challenger: Organizational failure at NASA.** 2016, pp 127-133, Space Policy - Volume 37, Part 3, August 2016, <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2016.11.001>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14620-1:2018 Space systems – Safety requirements – Part 1: Systems safety.** Switzerland. 2018. 36 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use.** Switzerland. 2018. 41 p.

KIRKPATRICK P.; VASSBERG N. **The Evolution of the Nasa Commercial Crew Program (CCP) Safety Process.** 2015. pp 227-234 In: Sgobba T., Rongier I. (eds) Space Safety is No Accident. Springer, Cham - https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9_27

LIT/INPE. Programas Espaciais. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.lit.INPE.br/pt-br/programas>>. Acesso em: 15 de fev. de 2019.

LOFTUS, G. Apollo 13: Lessons from the successful failure. **Forbes Media LLC**, 13 de abr. de 2013. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/geoffloftus/2013/04/03/apollo-13-lessons-from-the-successful-failure/#558eb4065d0b>>. Acesso em: 23 de fev. de 2019

LOUREIRO, G. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**, 1999. 607p. Tese (Doutorado em Manufacturing Engineering), Loughborough University, Loughborough. 1999.

MOTTA, G. M. **Esboço histórico da pesquisa espacial no Brasil**. São Paulo, Editora Foco, 2003. 118 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Human spaceflight capabilities – safety and risk assessment. **NASA**, Houston, Texas. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/centers/johnson/capabilities/safety/>>. Acesso em: 02 de fev. de 2019.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. NASA Safety and Hazard Reporting. **NASA**, Houston, Texas. Disponível em: <https://www.nasa.gov/safety/reporting/safety_reporting.html>. Acesso em: 02 de fev. de 2019.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA system engineering handbook**. Washington DC. 2007. 360 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA system safety handbook – Volume 1 – system safety framework and concepts for implementation**. Washington DC. 2011. 120 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA system safety handbook – Volume 2 – system safety concepts guidelines and implementation examples**. Washington DC. 2014. 216 p.

OBT/INPE. Avançam as atividades para o lançamento do satélite CBERS 04A. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 05 de dez. de 2018. Disponível em: < <http://www.obt.INPE.br/OBT/noticias/avancam-atividades-para-lancamento-do-satelite-cbers-4a>>. Acesso em: 05 de fev. de 2019.

OLIVEIRA, F. **Brasil-China – 20 anos de cooperação espacial: CBERS – O satélite da parceria estratégica**. 95p., São Carlos, São Paulo. Editora Cubo, 2009

OLIVEIRA, F. **Caminhos para o espaço – 30 anos do INPE**. São José dos Campos, São Paulo. Editora Contexto, 1991. 112 p.

PALMERIO, A. F. **Introdução à tecnologia de foguetes**. São José dos Campos, São Paulo, SindCT, 2016. 302p.

PARLIAMENT OF THE UNITED KINGDOM, **Health and Safety at Work**, Act, London, UK. 1974.

PAXTON, L.J. **Faster, better, and cheaper at NASA: Lessons learned in managing and accepting risk**, 2007. pp 954-963, Acta astronautica, Volume 61, Issue 10, November 2007, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2006.10.014>

PISACANE, V. L. **Fundamentals of space systems – Johns Hopkins University Applied Physics Laboratories Series in Science and Engineering**. Oxford: University Press, 2005. 848 p.

PRATES, Izabela. Brasil e China concluem proposta do novo satélite CBERS 04A. **Mundo GEO**, São Paulo, 22 de abr. De 2015. Disponível em <https://mundogeo.com/blog/2015/04/22/brasil-e-china-concluem-proposta-do-cbers-4a/>. Acesso em: 15 de fev. de 2019

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um Guia do Conjunto de Conhecimento em Gerenciamento de Projetos** (Guia PMBOK), 2013. 5a edição. Four Campus Boulevard, 2013. 388 p.

SILVA, A. C. **Desenvolvimento integrado de sistemas espaciais – design for AIT – projeto para montagem, integração e testes de satélites**, 2011. 455p. Tese (Doutorado em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011

SILVA, F. M. **Uma proposta para o ciclo de vida de missões de foguetes de sondagem**, 2015. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

SINTRACOOP. **Normas regulamentadoras relativas à segurança e medicina do trabalho**. Disponível em: <<https://www.sintracoop.com.br/?p=61276>>. Acesso em: 15 de mai de 2019.

TOSNEY, W.F.; CHENG, P.G. **Space Safety is no Accident how the Aerospace Corporation Promotes Space Safety**. 2015. pp 101-108 In: Sgobba T., Rongier I. (eds) Space Safety is No Accident. Springer, Cham / https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9_11/

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica Programa de Educação Continuada. **Legislação e Normas técnicas**. Epusp- EAD/ PECE, 2018. 217p.

U.S. CODE OF FEDERAL REGULATIONS, 10 CFR 20, **Standards for Protection Against Radiation**, Washington, DC. 1991.

WINTER, O. C.; Prado, A. F. B. A. **A conquista do espaço: do Sputnik à Missão Centenário**. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2007. 320p.

YASSUDA, I. S. **Ciclo de vida de projetos na área espacial**, 2010. 35p. Qualificação (Doutorado em Gerenciamento e Engenharia de Sistemas Espaciais), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

APÊNDICE A – REQUISITOS MÍNIMOS DE SEGURANÇA PARA PROJETOS DE SATÉLITES

Requisito	Como aplicar
1 Programa de segurança de sistema	
1.1 Escopo	
<p>1.1.1) O escopo e conteúdo do programa de segurança visam estabelecer um sistema de gestão de segurança para implementar os itens previstos neste quadro de acordo com os requisitos do projeto espacial.</p> <p>1.1.1.a) O fornecedor deve estabelecer e manter um programa de segurança de sistema.</p> <p>1.1.1.b) O fornecedor deve garantir que todos os regulamentos e leis de segurança nacionais ou internacionais aplicáveis sejam identificados.</p> <p>1.1.1.c) Os requisitos do programa de segurança do sistema contidos neste quadro devem ser aplicados.</p> <p>1.1.2) Adaptações não podem diminuir o grau de proteção do pessoal, de equipamento ou material de voo, de equipamento de apoio no solo, do público em geral, de propriedade pública e privada e do meio ambiente contra os riscos associados aos sistemas espaciais.</p>	<p>Como sugestão, a organização poderá manter um sistema de gestão de segurança e saúde ocupacional nos moldes da ISO 45001, mas, caso não possua estrutura para tal, poderá elaborar documento interno prevendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Definição de políticas; b) Definição de papéis e responsabilidades; c) Obrigatoriedade no cumprimento das NR do Ministério do Trabalho.
1.2 Plano do programa de segurança	
1.2.1 Definição	
<p>O plano deve definir:</p> <p>1.2.1.a) as tarefas do programa de segurança a serem implementadas;</p> <p>1.2.1.b) o pessoal ou fornecedor responsável pela execução das tarefas;</p> <p>1.2.1.c) o cronograma de tarefas do programa de segurança relacionadas aos marcos do projeto;</p> <p>1.2.1.d) interface da atividade do programa de segurança com a engenharia do projeto e com outras atividades de garantia do produto;</p> <p>1.2.1.e) como o fornecedor realiza as tarefas e verifica se foram concluídas satisfatoriamente (ex.: procedimentos internos).</p>	<p>Como sugestão, a organização poderá utilizar ferramentas de gestão de projetos (PMBok) ou normas de gerenciamento de projetos espaciais, assim como estabelecer um sistema de gestão da qualidade para apoiar no controle de documentos (procedimentos, registros, etc.)</p>

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.2.2 Conformidade	
1.2.2.a) O plano deve garantir que os requisitos e regulamentos de segurança aplicáveis a quaisquer outras instalações e serviços que sejam utilizados durante o curso do projeto sejam identificados.	Esse plano poderá ser um documento de alto nível que defina uma política de segurança que foque, entre outras coisas, no atendimento aos regulamentos aplicáveis.
1.3 Organização de segurança	
1.3.1 Representante de Segurança	
1.3.1.a) Cada fornecedor deve nomear um representante de segurança, qualificado por treinamento ou experiência, para desempenhar as funções de segurança do sistema, de acordo com a legislação brasileira.	Este representante deverá ser engenheiro com experiência em sistemas espaciais e formação complementar em engenharia de segurança do trabalho, conforme resolução CONFEA No. 325, de 27/11/1987.
1.3.2 Independência	
1.3.2.a) O representante de segurança deve ter acesso direto para reportar com o gerente de projeto e à alta gerência e ser independente da linha hierárquica dentro do projeto.	Declaração da alta direção formalizando as atribuições deste representante.
1.3.3 Integração de Segurança	
1.3.3.a) A segurança deve ser integrada em todas as atividades do projeto.	Especificando na WBS do projeto
1.4 Acesso e autoridade do representante de segurança	
1.4.1 Acesso	
1.4.1.a) O representante de segurança de uma organização deve ter acesso aos dados relacionados à segurança da organização relevantes para a segurança do projeto e deve estar livre para relatar livremente e sem restrições organizacionais qualquer aspecto da segurança do projeto.	Declaração da alta direção formalizando as atribuições deste representante.
1.4.2 Autoridade Delegada para Rejeitar/Parar uma Atividade	
1.4.2.a) O representante de segurança de uma organização deve ter autoridade delegada para rejeitar qualquer documento do projeto, ou para interromper qualquer atividade de projeto dessa organização que não esteja em conformidade com os requisitos ou procedimentos de segurança aprovados.	Declaração da alta direção formalizando as atribuições deste representante.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.4.3 Auditorias de Segurança	
1.4.3.a) O fornecedor deve realizar auditorias ou revisões de segurança para verificar a conformidade com a política e os requisitos de segurança do projeto. 1.4.3.b) As auditorias de segurança devem estar de acordo com os procedimentos estabelecidos. 1.4.3.c) O cliente deve ser informado do cronograma de auditoria.	Procedimentos de auditoria estabelecidos, cronogramas de auditorias conforme fases do projeto. Requisitos a serem auditados conforme escopo do projeto.
1.4.4 Aprovação de Relatórios	
1.4.4.a) O fornecedor deve permitir que os relatórios do projeto que tratam de questões relacionadas à certificação de segurança sejam emitidos com a assinatura apenas do representante de segurança.	Declaração da alta direção formalizando as atribuições deste representante.
1.4.5 Representação em Conselhos	
1.4.5.a) A segurança deve estar representada em reuniões de controle de configuração (CCBs), reuniões de controle de não conformidade (NRBs), reuniões de prontidão de teste (TRBs) e em qualificações e revisões de aceitação, onde os requisitos de segurança e funções críticas de segurança estão envolvidos.	O representante da segurança deverá ser informado de todos os eventos (CCBs, NRBs e TRBs), sempre que pertinente.
1.5 Gestão de riscos de segurança	
1.5.1 Riscos de Segurança	
1.5.1.a) Riscos à vida humana, ao hardware de voo, à missão e ao meio ambiente devem ser gerenciados durante todo o projeto, executando-se as seguintes atividades: 1) atribuição de requisitos de segurança; 2) identificação de perigos; 3) avaliação de perigos; 4) prevenção, redução e controle de perigos; e 5) encerramento do perigo, incluindo aceitação de risco residual.	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.5.2 Avaliação dos perigos	
<p>1.5.2.a) Todas as avaliações dos perigos devem considerar principalmente o potencial de risco e categorizar todos os perigos de acordo com a categoria de gravidade apropriada.</p> <p>1.5.2.b) Controles correspondentes devem ser propostos.</p> <p>1.5.2.c) O projeto inicial deve ser escolhido de tal forma que o potencial de risco e sua consequente gravidade sejam minimizados.</p> <p>1.5.2.d) A probabilidade de um evento perigoso deve, consequentemente, ser levada em conta sempre que os métodos de redução da gravidade das consequências de perigo sejam considerados, isoladamente, como insuficientes para reduzir adequadamente o risco.</p> <p>1.5.2.e) A probabilidade de ocorrência deve ser reduzida considerando-se todas as áreas de projeto para risco mínimo, aumentando-se a confiabilidade dos dispositivos de segurança, fornecendo-se dispositivos de aviso, ou usando-se controles de procedimento e treinamento.</p>	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos.
1.6 Fases do projeto e ciclo de revisão de segurança	
1.6.1 Reuniões de Progresso	
<p>1.6.1.a) O fornecedor deve realizar reuniões regulares de progresso de segurança para revisar o status das atividades do programa de segurança, conforme exigido pelos itens contidos neste quadro.</p> <p>1.6.1.b) As reuniões devem ser assistidas pelos especialistas relevantes do cliente e fornecedor.</p>	Como sugestão, a organização poderá manter um cronograma de reuniões de acordo com o cronograma das atividades do projeto.
1.6.2 Análises do Projeto	
1.6.2.1 Geral	
<p>1.6.2.1.a) O fornecedor deve apresentar um status de segurança do projeto conforme exigido pelo cliente.</p> <p>1.6.2.1.b) Um pacote de dados de segurança deve ser preparado para cada revisão de projeto.</p> <p>1.6.2.1.c) O status de segurança do projeto deve ser apresentado durante as revisões do projeto (por exemplo: PDR, CDR, AR)</p>	A organização poderá manter, para cada produto, um pacote contendo o histórico de todas as avaliações de segurança (<i>hazard and risk analysis/assessment</i>) e evidências de gerenciamento.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.6.2.2 Análise da Missão / Identificação de Necessidades - Fase 0 <p>1.6.2.2.a) O fornecedor deve preparar uma análise de segurança para dar suporte à identificação de fontes de risco de segurança, bem como a realização de análises preliminares de <i>trade-off</i> entre os conceitos de sistemas alternativos.</p> <p>1.6.2.2.b) Durante a Fase 0, o fornecedor deve demonstrar que:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Os requisitos de segurança e as lições aprendidas de projetos anteriores foram analisados e foi dado apoio ao projeto e para ao <i>trade-off</i> do conceito de operações; e 2) Os principais requisitos de segurança do sistema foram identificados. 	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos pertinentes a esta fase. Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de configuração do projeto.
1.6.2.3 Viabilidade - Fase A <p>1.6.2.3.a) A análise de segurança deve apoiar análises de <i>trade-off</i> para se chegar ao conceito que tenha um risco de segurança aceitável, considerando-se as restrições do projeto e da missão.</p> <p>1.6.2.3.b) A tecnologia de projeto selecionada e o conceito operacional a ser implementado devem ser selecionados com base nos dados de análise para a arquitetura de sistema mais segura, a fim de eliminar ou reduzir os riscos a níveis aceitáveis.</p>	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos pertinentes a esta fase. Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de configuração do projeto.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.6.2.4 Definição Preliminar - Fase B	
1.6.2.4.a) A análise de segurança deve apoiar uma otimização contínua e mais detalhada da segurança do projeto e das operações do sistema, bem como a identificação dos requisitos técnicos de segurança e sua aplicabilidade.	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos pertinentes a esta fase. Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de configuração do projeto.
1.6.2.5 Teste Detalhado de Definição, Produção e Qualificação - Fases C / D	
1.6.2.5.a) A análise de segurança deve apoiar o projeto detalhado, produção, qualificação e teste.	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos pertinentes a esta fase. Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de configuração do projeto.
1.6.2.5.b) A análise de segurança deve também apoiar a otimização da segurança operacional, a avaliação da implementação de requisitos de segurança, a verificação da redução de riscos e a aceitação de riscos.	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos pertinentes a esta fase. Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de configuração do projeto.
1.6.2.5.c) A análise das operações também deve apoiar a identificação de requisitos de planejamento e treinamento de resposta a emergências e contingências, bem como o desenvolvimento de procedimentos.	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos pertinentes a esta fase. Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de configuração do projeto.
1.6.2.5.d) O centro de testes espaciais deve estabelecer um programa de segurança para garantir a segurança de todo o pessoal do centro de testes, incluindo o cliente e visitantes, o espécime em teste, as instalações e infraestrutura associada, de acordo com a norma ECSS-Q-ST-20-07C.	Nesta fase, tanto auditorias quanto inspeções são realizadas pelo fornecedor e pelo cliente.
1.6.2.5.e) Tarefas críticas envolvendo alto nível de risco devem ser executadas após aprovação prévia do representante de segurança do INPE.	

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.6.2.6 Utilização - Fase E	
<p>1.6.2.6.a) A análise de segurança deve avaliar o projeto e as mudanças operacionais por impacto na segurança, assegurando que as margens de segurança sejam mantidas e que as operações sejam conduzidas dentro do risco aceito.</p> <p>1.6.2.6.b) A análise deve também apoiar a avaliação de anomalias operacionais por impacto na segurança e a avaliação contínua das tendências de risco.</p>	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos pertinentes a esta fase. Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de configuração do projeto.
1.6.3 Pacote de Dados de Segurança	
<p>1.6.3.a) O fornecedor deve preparar e entregar o pacote de dados de segurança.</p> <p>1.6.3.b) O conteúdo do pacote de dados de segurança deve ser definido para cada projeto ou programa pela autoridade de segurança do projeto.</p>	A organização poderá manter, para cada produto, um pacote contendo o histórico de todas as avaliações de segurança (<i>hazard and risk analysis/assessment</i>) e evidências de gerenciamento.
1.7 Certificação de segurança	
<p>1.7.a) Todos os projetos devem certificar a segurança dos hardwares de voo e sistemas de solo como tendo atingido um nível aceitável de risco em conformidade com os requisitos de segurança específicos do projeto.</p> <p>1.7.b) Deve ser de responsabilidade da organização do projeto fornecer à autoridade de certificação todas as informações relacionadas à segurança necessárias para permitir que a declaração de conformidade com a segurança seja aceita e entendida.</p>	Além das análises dos perigos, análises de FMEA, FMECA, FTA podem ser utilizadas.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.8 Treinamento de segurança	
1.8.1 Treinamento	
1.8.1.a) Todo treinamento relacionado à segurança de qualquer equipe que trabalhe - permanentemente ou ocasionalmente - com produtos e / ou atividades que possam ter propriedades perigosas deve ter três aspectos principais: 1) <i>briefings</i> de conscientização geral sobre medidas de segurança a serem tomadas em um determinado local ou ambiente de trabalho; 2) treinamento técnico básico em técnicas e habilidades de segurança exigidas (por exemplo, inspeção, teste, manutenção ou integração), que são obrigatórias para cumprir a função de trabalho sob consideração; e 3) treinamento específico do produto que enfoque os riscos relacionados ao produto específico.	Os treinamentos se baseiam no resultado das análise dos perigos que apresentam recomendações gerais para a redução de perigo de uma determinada atividade.
1.8.2 Participação	
1.8.2.a) A participação no <i>briefing</i> geral de conscientização deve ser obrigatória para todo o pessoal que tiver acesso à área onde o produto espacial é processado.	O conteúdo dos <i>briefings</i> é resultado das análises dos perigos que apresentem recomendações gerais para a redução de perigo de uma determinada atividade.
1.8.3 Registros	
1.8.3.a) Devem ser mantidos registros do pessoal que recebeu treinamento.	Pode-se fazer uso de procedimentos de controle de registros conforme normas de ISO 9001 ou ISO 45001.
1.9 Acidentes / inquérito e investigação de incidentes	
1.9.a) O fornecedor deve relatar à entidade responsável todos os acidentes e incidentes que afetem o produto espacial e que ocorrerem durante as atividades do projeto, sob o controle do fornecedor ou de seus subfornecedores.	Como recomendação, este relato poderá ser feito por meio de ofício ou relatório.
1.10 Documentação de segurança	
1.10.1 Geral	
1.10.1.a) O fornecedor deve manter dados relacionados à segurança para dar suporte a revisões e certificação de segurança.	Pode-se fazer uso de procedimentos de controle de registros conforme normas ISO 9001 ou ISO 45001.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
1.10.2 Revisão de fornecedor	
<p>1.10.2.a) O fornecedor deve revisar a documentação do projeto, incluindo especificações, desenhos, análises, procedimentos e relatórios, relatórios de não conformidade, relatórios de falha, waivers e alterações na documentação, a fim de verificar ou avaliar o impacto em:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) implementação de requisitos de segurança e controles de riscos e perigos; 2) incorporação de controles de risco e perigo no projeto ou no programa de verificação; 3) conclusão das atividades de verificação; 4) concepção e segurança operacional do sistema; e 5) validade das análises de segurança realizadas e documentadas. 	A metodologia de como se implementar mudanças podem estar de acordo com a ISO 45001 (<i>Management of change</i>), ou mesmo a norma ISO 21886 – Space Systems – Configuration Management.
1.10.3 Desvios e Waivers de segurança	
<p>1.10.3.a) O fornecedor deve identificar todos os desvios e waivers que afetem os requisitos aplicáveis de segurança do projeto.</p> <p>1.10.3.b) O representante de segurança do fornecedor para o projeto deve rever esses desvios e waivers para garantir que os possíveis impactos na segurança sejam totalmente analisados.</p> <p>1.10.3.c) Deve ser fornecida justificação adequada para qualquer desvio considerado aceitável pelo fornecedor.</p>	A metodologia de como se implementar mudanças pode estar de acordo com a ISO 45001 (<i>Management of change</i>), ou mesmo a norma ISO 21886 – Space Systems – Configuration Management.
5.10.4 Arquivo de lições aprendidas	
<p>5.10.4.a) As lições de segurança aprendidas devem considerar, no mínimo:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) o impacto de requisitos recém impostos; 2) avaliação de todas as avarias, acidentes, anomalias, desvios e desistências; 3) eficácia das estratégias de segurança do projeto; 4) novas ferramentas e métodos de segurança que foram desenvolvidos ou demonstrados; 5) verificações efetivas e ineficazes que foram realizadas; e 6) mudanças propostas para a política de segurança, estratégia ou requisitos técnicos com justificativa. 	Definir metodologia e meios para armazenar e distribuir informações coletadas entre os membros dos projetos.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
2 Engenharia de segurança	
2.1 Princípios da segurança do projeto	
2.1.1 Consideração da Vida Humana	
2.1.1.a) A preservação da segurança do pessoal deve ser a prioridade mais importante no desenvolvimento e operação de sistemas espaciais.	Declaração da política de segurança da organização.
2.1.2 Detecção de Perigo - Sinalização	
2.1.2.a) Os recursos de monitoramento, exibição, alarme e segurança devem ser incorporados para assegurar que o hardware de voo, o pessoal e as instalações estejam em condições seguras (por exemplo: alarmes de incêndio, som / luz de emergência, etc.).	Entender o escopo e buscar orientações em IT - Instruções técnicas do Corpo de Bombeiros.
2.1.2.b) Estas capacidades devem fornecer as informações necessárias para permitir que o pessoal realize ações que sejam necessárias para protegê-las das consequências de falhas em funções críticas de segurança e a falha de medidas de controle de risco.	
2.1.3 Redução e Controle de Risco de Segurança	
2.1.3.1 Avaliação de Gravidade de Consequência	
2.1.3.1.a) A gravidade dos eventos perigosos identificados deve ser categorizada.	Pode ser definido no plano de gerenciamento de riscos de segurança do projeto.
2.2 Requisitos de tolerância de falha	
2.2.1 Requisitos Básicos	
2.2.1.a) A tolerância a falhas é um dos requisitos básicos de segurança usados para controlar os perigos. O projeto do sistema deve atender aos seguintes requisitos de tolerância a falhas: a) Nenhuma falha individual ou erro do operador terá consequências críticas (ou catastróficas). b) Nenhuma combinação de: 1) duas falhas, ou 2) dois erros do operador ou 3) uma falha e um erro do operador pode ter consequências catastróficas.	Além das análises dos perigos, análises de FMEA, FMECA, FTA podem ser utilizadas.

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
2.2.2 Projeto para risco mínimo	
<p>2.2.2.a) Os riscos relacionados ao risco mínimo para as áreas do projeto (por exemplo, mecanismos, estruturas, vasos de pressão, linhas e conexões pressurizadas, dispositivos pirotécnicos, compatibilidade de materiais e inflamabilidade dos materiais) devem ser controlados pelas propriedades e características relacionadas à segurança do projeto; como margem ou fatores de segurança.</p> <p>2.2.2.b) Os requisitos de tolerância a falhas devem ser aplicados somente ao processo de projeto conforme necessário para se garantir que falhas com credibilidade que possam afetar o projeto não invalidem as propriedades relacionadas à segurança.</p> <p>2.2.2.c) As instalações do centro de testes espaciais devem estar de acordo com a norma ECSS-Q-ST-20-07C</p>	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos para cada mecanismo, dispositivos, meios de testes e etc.
2.2.2 Projeto para risco mínimo	
2.3 Identificação e controle de funções críticas de segurança	
<p>2.3.a) Uma função do sistema que, se perdida ou degradada, ou por operação incorreta ou inadvertida, resultaria em uma consequência perigosa catastrófica ou crítica, deve ser identificada como função crítica de segurança.</p> <p>EXEMPLO: Uma série de eventos operacionais que podem resultar em perigo se ocorrerem inadvertidamente ou se forem operados fora de ordem.</p>	Além das análises dos perigos, análises de FMEA, FMECA, FTA podem ser utilizadas.
3 Segurança operacional	
3.1 Operações em solo	
3.1.1 Revisão e Inspeção	
<p>3.1.1.a) As revisões e inspeções de prontidão devem incluir revisão de segurança e avaliação de instalações, equipamentos, artigos de teste, procedimentos de operação, teste e contingência, controles de acesso e recursos de pessoal para conformidade com os requisitos de segurança.</p>	<p>Procedimentos de auditoria estabelecidos, cronogramas de auditorias conforme fases do projeto.</p> <p>Requisitos a serem auditados conforme escopo do projeto.</p>

APÊNDICE A – CONTINUAÇÃO

Requisito	Como aplicar
3.1.2 Requisitos de equipamento de suporte de solo (GSE)	
<p>3.1.2.a) O equipamento de suporte de solo (GSE) deve estar sujeito a análise de risco.</p> <p>3.1.2.b) Para operações terrestres, a análise deve abordar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) potenciais consequências perigosas de erro humano e falha de processos; 2) adequação e manutenção das margens operacionais; 3) potencial de exposição humana a perigos e efeitos perigosos; 4) requisitos para treinamento de operadores em solo; e 5) adequação das informações e dados fornecidos pelo equipamento de voo, equipamento de suporte de solo (GSE) ou equipamento de teste para apoiar no desempenho das operações de acordo com os requisitos de segurança aplicáveis. 	Além das análises dos perigos, análises de FMEA, FMECA, FTA podem ser utilizadas.
4 Requisitos e técnicas de análise de segurança	
4.1 Análise de segurança	
4.1.1 Geral	
4.1.1.a) A análise de segurança deve ser refinada e atualizada de forma iterativa à medida em que o projeto avançar, de modo a garantir que os perigos e eventos perigosos sejam avaliados e que os requisitos operacionais e de projeto detalhados relevantes, controles de risco e atividades de verificação, sejam definidos e implementados.	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos.
5 Verificação de segurança	
5.1 Rastreamento de perigos	
5.1.1 Relatórios de Perigos identificados	
<p>5.1.1.a) O fornecedor deve estabelecer um sistema para registrar os perigos assim como procedimentos para rastrear o status de todos os perigos identificados.</p> <p>5.1.1.b) O sistema deve ser aplicado para todos os perigos com consequências catastróficas e críticas.</p> <p>5.1.1.c) As informações relacionadas com princípios, processo, implementação e requisitos da análise de perigos devem ser descritas conforme orientações contidas na norma ECSS-Q-ST-40-02C.</p>	Definir e aplicar metodologia de gerenciamento de risco de segurança por meio de processo de identificação de perigos, classificação e gerenciamento de riscos.

APÊNDICE A – CONCLUSÃO

Requisito	Como aplicar
5.2 Qualificação	
<p>5.2.a) As características de todas as funções críticas de segurança devem ser totalmente qualificadas por meio de testes.</p> <p>5.2.b) O teste de qualificação da função crítica de segurança deve incluir a determinação das margens de desempenho, considerando-se as combinações de pior caso de ambientes naturais e induzidos, e condições de operação.</p> <p>5.2.c) Qualificação “por similaridade” deve ser aplicada somente após a aprovação do cliente, caso a caso.</p>	Procedimentos de testes, incluindo capítulo dedicado à segurança, alinhados às medidas de redução de perigo recomendadas nas análises dos perigos e gerenciamento de riscos.
5.3 Encerramento de um perigo	
5.3.1 Verificação da garantia de segurança	
<p>5.3.1.a) Na preparação para o envio do equipamento de voo para o local de lançamento, a garantia de segurança deve verificar se:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Ressalvas feitas pelo engenheiro responsável ainda são válidas; 2) Não houve descuidos; 3) As verificações refletem o status <i>as-built /as-modified</i> do hardware de voo; 4) Todas os itens pendentes neste momento são aceitáveis para envio ao local de lançamento; 5) Todas as verificações abertas foram inseridas no registro de rastreamento de verificação de segurança (SVTL), de acordo com a norma ECSS-Q-ST-40C, que agora se torna um documento ativo. 	<p>Preparação do pacote de dados de segurança para a autoridade de segurança do lançador. Neste pacote, apresentar os resultados das análises de segurança.</p> <p>O registro SVTL faz parte do pacote de dados de segurança.</p>
5.3.2 Autoridade de Aprovação de Segurança	
<p>5.3.2.a) O fechamento de cada perigo requer aprovação da autoridade responsável pela segurança. Os perigos só podem ser considerados prontos para encerramento quando:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) forem eliminados; 2) tiverem sido minimizados e controlados de acordo com o requisito aplicável e as atividades de verificação associadas tenham sido concluídas com sucesso; ou 3) a autoridade responsável pela segurança tiver concedido um desvio ou <i>waiver</i>. 	Relatório de parecer final assinado pelo responsável de segurança do projeto com anuência do gerente de projeto.

APÊNDICE B – REQUISITOS DE SEGURANÇA PARA CENTRO DE TESTES

Descrição do Requisito	Como aplicar
1 Organização da Segurança	
1.1) O centro de testes deve nomear um representante de segurança que seja qualificado de acordo com a legislação brasileira para executar as funções de segurança do sistema das instalações do centro de testes.	Este representante deverá ser engenheiro com experiência em sistemas espaciais e formação complementar em engenharia de segurança do trabalho, conforme resolução CONFEA No. 325, de 27/11/1987.
1.2) Se o pessoal, o hardware de voo ou as instalações de teste estiverem em risco, o representante de segurança deve ter autoridade para interromper a atividade, ou mesmo rejeitar qualquer documento que não esteja de acordo com os requisitos ou procedimentos de segurança.	Declaração da alta direção formalizando as atribuições deste representante.
2 Documentação	
2.1) O centro de testes deve estabelecer e manter documentação e sistema de controle de registros e também estabelecer e manter um sistema para a identificação, armazenamento, proteção, recuperação, retenção e disposição dos dados de teste.	Os registros precisam ser rastreáveis e de fácil recuperação, conforme política de controle de documentos do centro de testes.
3 Treinamento de segurança	
3.1) O centro de testes deve assegurar que toda a sua equipe seja competente e qualificada para executar as atividades designadas.	Plano de treinamento da equipe.
3.2) O centro de testes deve assegurar que toda a sua equipe seja treinada para cumprir os requisitos de segurança aplicáveis.	Plano de treinamento de segurança para a equipe.
3.3) Todo o pessoal do centro de testes que conduza ou apoie operações potencialmente perigosas durante a campanha de teste deve receber treinamento de segurança específico, incluindo as medidas preventivas a serem tomadas.	Plano de treinamento específico para a equipe (ex: NR10, NR35, NR33, etc.)

APÊNDICE B – CONTINUAÇÃO

Descrição do Requisito	Como aplicar
4 Auditorias de segurança	
4.1) O centro de testes deve planejar, organizar e realizar periodicamente auditorias de segurança em suas instalações para garantir que os procedimentos de segurança aprovados sejam implementados corretamente e que os padrões de segurança adequados sejam mantidos.	Procedimentos de auditoria estabelecidos. Requisitos a serem auditados conforme escopo do projeto.
4.2) O Grupo de Segurança do INPE deve ser informado pelo centro de testes sobre o cronograma de sua auditoria interna de segurança.	Cronogramas de auditorias internas.
4.3) O Grupo de Segurança do INPE deve ser solicitado para realizar Auditoria de Segurança entre um e quatro meses antes de se iniciar uma campanha de teste de satélite.	Cronograma de auditorias conforme andamento das atividades de montagem, integração e testes.
5 Programa de segurança do centro de testes	
5.1) O centro de testes deve nomear um representante de segurança que seja qualificado de acordo com a legislação brasileira para executar as funções de segurança do sistema das instalações do centro de testes.	Este representante deverá ser engenheiro com experiência em sistemas espaciais e formação em engenharia de segurança CONFEA No. 325, de 27/11/1987.
5.2) O representante de segurança do centro de testes deve estabelecer um programa de segurança para garantir a segurança de todo o pessoal do centro de testes, incluindo o cliente e visitantes, o hardware de voo, as instalações de teste e sua infraestrutura associada.	Elaboração de um plano para atender ao programa de segurança.
5.3) O programa de segurança do centro de testes deve incluir, no mínimo: <ol style="list-style-type: none"> Identificação, eliminação ou redução sistemática de perigos. Identificação sistemática, controle e manutenção de itens críticos de segurança em conformidade com a legislação nacional (ex: NR). Procedimentos e instruções documentados de segurança e emergência do centro de testes, verificação sistemática da implementação dos requisitos de segurança por meio de inspeções de segurança e auditorias. Treinamento de segurança aplicável ao pessoal do centro de testes. 	Elaboração de um plano para atender aos requisitos pertinentes ao programa de segurança.

APÊNDICE B – CONTINUAÇÃO

Descrição do Requisito	Como aplicar
5.4) O representante de segurança do centro de testes deve monitorar, medir e analisar os processos de gerenciamento de segurança. Seu sistema de gerenciamento de segurança deve ser implementado e mantido para permitir revisões externas ou internas, ou auditorias pelo cliente ou por autoridades externas.	Definição dos processos de monitoramento, medição, gerenciamento e análise de segurança e procedimentos estabelecidos.
5.5) O programa de segurança do centro de testes deve incluir, no mínimo, os seguintes procedimentos para acidente, incidente e emergência: a) procedimento geral de emergência para instalações do centro de testes. b) procedimentos a serem seguidos em caso de acidente ou incidente.	Procedimento ou plano de emergência do centro de testes.
6 Política de segurança do centro de testes	
6.1) A equipe de gerenciamento do centro de testes deve definir sua política de segurança, incluindo um compromisso com a segurança para campanhas de teste em hardware de voo espacial. Esta política de segurança deve incluir a descrição de sua revisão periódica pela equipe de gerenciamento.	Declaração da política de segurança publicada e informada aos profissionais do centro de testes.
6.2) O representante de segurança do centro de testes deve demonstrar que a política de segurança é conhecida e apoiada por todo o pessoal do centro de testes.	Os profissionais do centro de testes poderão ser informados da política por meio de treinamentos internos.
6.3) A equipe de gerenciamento do centro de testes, juntamente com seu representante de segurança, deve identificar os objetivos de segurança e demonstrar que eles são revisados periodicamente.	Durante a reunião de análise crítica do sistema de gestão de qualidade/segurança.
7 Conformidade	
7.1) O centro de testes deve certificar sua conformidade com todos os regulamentos de segurança nacionais e internacionais aplicáveis.	Matriz de atividades desenvolvidas e regulamentos aplicáveis. Os regulamentos podem ser referenciados em documentos (folhas de tarefas, procedimentos, instruções de trabalho).

APÊNDICE B – CONTINUAÇÃO

Descrição do Requisito	Como aplicar
7.2) O centro de testes deve certificar também a implementação de requisitos de segurança, considerando possíveis conflitos com outros requisitos, tais como requisitos de segurança patrimonial (<i>security</i>)	Manual de segurança deixando claro as atividades de <i>safety</i> e <i>security</i> .
8 Manual de segurança	
8.1) O centro de testes deve estabelecer e manter um Manual de Segurança que deve incluir as seguintes informações: a) Padrões internacionais e nacionais aplicáveis nos quais se baseia. b) Legislação de saúde, segurança e meio ambiente aplicável que afete a campanha de teste. c) Política e objetivos de segurança do centro de testes. d) Procedimentos e instruções de segurança aplicáveis. e) Procedimentos aplicáveis para o caso de acidente, incidente e emergência especificados.	Implementação de um sistema de gestão de segurança conforme requisitos da norma ISO 45001.
9 Infraestrutura e ambiente de trabalho	
9.1) O centro de testes deve assegurar que todos os processos sejam executados sob condições controladas, usando instalações, equipamentos de medição, equipamentos de manutenção e condições ambientais que atendam a todos os requisitos do processo.	Implementação de um sistema de gestão de segurança conforme requisitos da norma ISO 45001.
9.2) O centro de testes deve assegurar que as condições ambientais e de limpeza especificadas sejam alcançadas e mantidas durante todo o processo de teste, a fim de preservar a amostra de teste e o equipamento de teste.	Implementação de um sistema de gestão de segurança conforme requisitos da norma ISO 45001.
10 Instalações de teste	
10.1) O centro de testes deve implementar um programa de metrologia e calibração para demonstrar que todos os equipamentos de medição que afetam o monitoramento de segurança são calibrados e rastreáveis de acordo com padrões internacionais, devendo também estabelecer e manter um cronograma de calibração.	Plano de calibração de instrumentos e sensores em laboratórios RBC – acreditados pelo INMETRO.
10.2) O centro de testes deve estabelecer um plano de manutenção para infraestrutura, instalações de teste, monitoramento ambiental e software usado no teste ambiental, bem como estabelecer e manter um cronograma de manutenção.	Plano de manutenção preventiva e corretiva de toda a instalação.

APÊNDICE B – CONTINUAÇÃO

Descrição do Requisito	Como aplicar
10.3) Os perigos (ambientais e do sistema) e as funções com efeitos de falha potencialmente perigosos devem ser identificados pelo representante de segurança do centro de testes e avaliados por meio de análises sistemáticas de segurança. As possíveis consequências perigosas associadas às características do sistema e falhas funcionais são submetidas a uma sequência de redução de riscos: os riscos são então eliminados do projeto e das operações do sistema, ou os perigos são minimizados e os controles de riscos são aplicados e verificados.	Manter, para cada meio de teste, um pacote contendo o histórico de todas as avaliações de segurança (<i>hazard and risk analysis/assessment</i>) e evidências de gerenciamento complementadas por análises FMEA, FMECA, FTA.
11 Avaliação de risco das instalações de teste	
11.1) Para cada instalação, nova ou existente, uma avaliação de risco abrangendo todos os aspectos operacionais e não operacionais, bem como os riscos de saúde e segurança, deve ser conduzida e documentada.	
11.2) A avaliação de riscos deve abranger o seguinte: a) resumo e descrição de cada atividade perigosa. b) avaliação dos riscos associados ao perigo, sua probabilidade e severidade. c) identificação de todas as medidas de redução de risco e verificação de sua eficácia após a implementação. d) indicação clara dos riscos restantes e aceitáveis para operar a instalação. e) metodologia utilizada para a avaliação de risco.	Avaliações de segurança (<i>hazard and risk analysis / assessment</i>) e evidências de gerenciamento.
11.3) A avaliação de risco deve incluir o seguinte: a) identificação de itens, equipamentos ou sistemas críticos de segurança. b) revisão das instruções de manutenção e inspeção, com relação aos itens críticos de segurança das instalações de teste. c) revisão de procedimentos para operação de itens, equipamentos ou sistemas críticos de segurança. d) revisão dos procedimentos de emergência das instalações.	

APÊNDICE B – CONCLUSÃO

Descrição do Requisito	Como aplicar
12 Gestão de segurança durante campanha de testes	
12.1) O centro de testes deve identificar todos os itens perigosos e operações específicas da campanha de teste.	Avaliações de segurança (<i>hazard and risk analysis / assessment</i>) e evidências de gerenciamento.
12.2) As informações sobre itens perigosos e operações específicas da campanha de teste devem incluir a lista de verificação de segurança preenchida pelo próprio centro de testes em cooperação com o Grupo de Segurança do INPE.	
12.3) O centro de testes deve realizar uma avaliação de risco de segurança para cada campanha de teste.	
12.4) As operações críticas devem ser realizadas sob a supervisão do representante da segurança designado.	Declaração da alta direção formalizando as atribuições deste representante.
12.5) Antes de cada tarefa perigosa relacionada ao teste ambiental, testes com dispositivos pirotécnicos, manuseio de dispositivos de elevação, o centro de testes deve fornecer <i>briefings</i> de segurança para todo o pessoal (equipe de testes, clientes e visitantes), incluindo no mínimo: a) Procedimentos e instruções de segurança e emergência. b) Uso de equipamento de proteção pessoal. c) Contatos do pessoal do centro de testes em caso de emergência. d) Localização do equipamento de segurança e emergência. e) Procedimento de abandono de área e definição de pontos de encontro.	O conteúdo dos <i>briefings</i> é resultado da análise dos perigos que apresentam recomendações gerais para a redução de perigo de uma determinada atividade. O briefing deve fazer referência aos procedimentos e instruções de segurança, orientações sobre o uso correto de EPIs, etc.

Fonte: A autora

APÊNDICE C – CHECK-LIST DE VERIFICAÇÃO DE REQUISITOS PARA TESTES AMBIENTAIS

ITEM DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE	
01	Existe um plano de manutenção preventiva das instalações/equipamentos e tanto a manutenção quanto a documentação estão atualizadas?
02	As portas de saída de emergência estão adequadamente identificadas e indicam a direção correta?
03	Obstruções perigosas, pisos irregulares e outros obstáculos encontram-se identificados e protegidos?
04	A iluminação das salas/laboratório está adequada para as atividades?
05	Illuminação de emergência está disponível e em operação?
06	A configuração mecânica, pneumática, elétrica, de fluidos e de instrumentação está documentada, controlada e sempre disponível?
07	Os sistemas de ventilação estão adequadamente dimensionados e isolados de outros sistemas (ex: sistema de drenagem de LN2 das câmaras vacuotérmicas)?
08	A lista de profissionais qualificados para operar pontes rolantes e dispositivos de içamento está disponível para consulta e atualizada?
09	As atividades adjacentes e que podem impactar no hardware crítico, GSE, ou atividades de teste, são controladas e eliminadas?
10	O sistema de <i>sprinklers</i> automáticos em operação cobre todas as áreas de teste?
11	O painel do sistema de alarme de incêndio está operacional?
12	A equipe de vigilância/central de supervisão é informada quando um hardware de voo está presente?
13	Os extintores de incêndio estão disponíveis e existem pessoas treinadas para operá-los?
14	Quando do manuseio de produtos perigos, a <i>Ficha com Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)</i> está disponível?
15	Os materiais perigosos e materiais inflamáveis estão identificados?
16	A proteção contra sobretensão elétrica está implantada?
17	As pontes rolantes e outros equipamentos para içamento estão certificados? Pontes rolantes estão aterradas?
18	Os equipamentos de içamento estão equipados com dispositivo para evitar gotejamento de óleo (<i>umbrella</i>)?
19	Antes de executar o içamento de um hardware de voo é feito um <i>briefing</i> de segurança?
20	O controle da temperatura e umidade está sendo feito corretamente?
21	A avaliação e controle de ESD são realizados com frequência?
22	Os procedimentos de ESD estão disponíveis nos locais de medição?
23	Todo cabeamento elétrico está devidamente calculado, protegido e identificado?

APÊNDICE C – CONTINUAÇÃO

ITEM DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE	
24	Os GSE's e instalações são projetados de forma a garantir a segurança contra falhas para pessoal e hardware crítico?
25	As configurações elétricas do GSE's estão de acordo com os requisitos, identificados e protegidos?
26	A exibição de dados e alarmes das instalações e GSE's são adequados para indicar condições fora da especificação?
27	Os GSEs, vasos e sistemas de pressão e vácuo estão de acordo com os requisitos, e os componentes devidamente testados e validados?
28	As instalações, GSE e hardware de voo são seguros quando no modo desligado?
29	Backup de energia elétrica está disponível e verificado para proteção do hardware e situações de emergência?
30	A interface entre o hardware de voo e uma instalação/GSE está analisada e documentada (ex: FMECA)?
31	É realizado teste de verificação “Safe-to-mate” nos EGSEs e cabos de interface?
32	Existem procedimentos de teste detalhados e aprovados para a operação das instalações, incluindo os níveis de teste aprovados?
33	Há operador disponível durante todo o tempo de operações críticas?
34	Há pessoal qualificado disponível para evitar fadiga ou sobrecarga durante as operações de teste?
35	Pessoal está qualificado e treinado na operação de teste e com os testes de emergência?
36	Os sistemas de detecção e alarme de gases estão bem localizados, calibrados e operacionais?
37	Os alarmes são conhecidos por todo o pessoal?
38	O pessoal está treinado e qualificado para as operações específicas perigosas e não-perigosas?
39	O pessoal de operação entende que no caso de uma anomalia, todas as ações devem retornar para uma condição segura de pessoal e equipamento?
40	As responsabilidades específicas e os procedimentos estão documentados e entendidos?
41	Os procedimentos de emergência estão documentados e entendidos?
42	Serviços de comunicação de emergência estão apropriados, incluindo membros do NUPAT, CIPA, brigadistas e central de supervisão?
43	Lista de telefones de emergência está localizada nas áreas de teste?

APÊNDICE C – CONTINUAÇÃO

ITEM DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE	
44	Equipamentos de proteção individual estão disponíveis para casos de emergência? Pessoas estão treinadas para seu uso?
45	Há avisos ou placas nos ambientes perigosos?
46	Problemas ou falhas anteriores são resolvidos para evitar reincidências?
47	Existem mapas de riscos?
48	Procedimentos de testes funcionais dos equipamentos foram escritos e aprovados, e um teste em branco foi realizado, quando necessário?
49	Efeitos de falhas na energia elétrica, perda de utilidades (H_2O , gás/combustível, LN2, GN ₂ , etc.) são entendidos e aceitáveis?
50	Calibração dos equipamentos de monitoramento de segurança é atual?
51	Os equipamentos estão estáveis e seguros durante todas as fases do teste e em condições fora de teste, incluindo estocagem?
52	Os equipamentos de voo estão identificados nas áreas de teste, assim como o seu container de transporte?
53	Os equipamentos em teste e a configuração de montagem dos GSEs são documentados e fotografados?
54	Todas as pessoas envolvidas nos equipamentos e na instalação receberam informações dos objetivos dos testes e seus procedimentos?
55	As comunicações entre as pessoas foram coordenadas e testadas?
56	Localização das pessoas durante o teste ou atividade é segura?
57	Os funcionários trabalharão durante turno normal? Se não, descreva.
58	Quando uma operação perigosa está sendo realizada ela é sempre realizada por mais de uma pessoa?
59	A equipe de Garantia da Qualidade está sempre presente durante montagem de set-up de teste, manuseio de hardware, operações antes e após testes e transições críticas?
60	Os operadores da câmara e do set-up de testes foram treinados e suas certificações são atuais?
61	A câmara foi limpa e verificada pelo grupo de análise e controle de contaminação?
62	A câmara foi mapeada termicamente visando identificar possíveis gradientes de temperatura não previstos?
63	A câmara foi “ciclada” termicamente (teste em branco - <i>Dry Run</i>) antes do teste para confirmar perfeita operacionalidade e segurança de todo o sistema?
64	Um simulador de massa foi incluído no ciclo térmico da câmara?

APÊNDICE C – CONTINUAÇÃO

ITEM DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE	
65	Não houve condensação durante o teste em branco da câmara?
66	O controlador de temperatura redundante é sensível o suficiente para assegurar que as temperaturas não sejam excedidas?
67	Todas as condições de temperatura da câmara e do espécime sob teste serão registradas?
68	A câmara foi recentemente verificada quanto a possíveis vazamentos? O nível de vácuo com a câmara vazia está nominal?
69	Todas as passagens de cabos na câmara foram projetadas para prevenir danos ao equipamento causados por condensação, expansão, etc.?
70	Um teste de vazamento foi feito em todos os trocadores de calor dentro da câmara de vácuo e nas interfaces tubo-câmara?
71	Gases de purga, resfriamento e retorno (GN2/LN2) estão seguramente ventilados e não apresentam risco de asfixia para as pessoas?
72	Requisitos de purga para este teste foram verificados adequadamente com base no volume da câmara e no tamanho do produto sob teste?
73	A câmara permanecerá sob vácuo no caso de falha na energia elétrica ou outro limitante operacional, sem colocar em risco o espécime sob teste (por exemplo, condensação)?
74	Um procedimento de emergência de pressurização está previsto e não apresenta nenhum risco ao equipamento sob teste?
75	As portas da câmara são abertas somente quando o equipamento estiver na temperatura da sala para evitar condensação?
76	Há um operador reserva treinado no evento caso o principal não esteja disponível?
77	Há sensores térmicos instalados no corpo de equipamentos sujeitos a aumentos de temperatura que possam exceder a temperatura da câmara?
78	Foi realizado <i>bake-out</i> em hardware periférico, como cabos/conectores, para evitar resíduos não voláteis (NVR)?
79	Se necessário, placas-testemunha e micro balanças de quartzo (TQCM) estão posicionadas e calibradas? Existem procedimentos para monitoramento da TQCM e análise das placas-testemunha?
80	Sistemas de controle de temperatura de líquido são protegidos contra perda de fluxo ou interrupção do fluxo?

APÊNDICE C – CONCLUSÃO

ITEM DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE	
81	Uma análise de distribuição de energia elétrica foi feita para assegurar que elementos adicionais energizados, como arranjos de lâmpadas, câmeras, lasers, bobinas de aquecimento ou resfriamento, usadas na câmara, não comprometerão ou sobrecarregarão os limites do circuito?
82	Os equipamentos elétricos críticos da câmara, do <i>set-up</i> de testes, e do satélite, estão conectados com sistema <i>no-break</i> ?
83	Os equipamentos do EGSE estão conectados com sistema <i>no-break</i> ?
84	Os sistemas de fixação do espécime na câmara (cabos de aço, adaptadores, karts, etc.) foram verificados quanto a sua capacidade e condições mecânicas?
85	Os procedimentos de operação da câmara e do <i>set-up</i> de testes estão atualizados e validados?
86	O sistema de aquisição de dados do espécime está devidamente programado com alarmes de temperatura?
87	A entrega escalonada de nitrogênio líquido para o Laboratório está devidamente programada?
88	A equipe de testes, incluindo operadores da câmara, <i>set-up</i> especial do teste se for o caso, aquisição de dados, controle de contaminação, manutenção predial, está definida?
89	Um teste de <i>fit-check</i> entre a mesa de vibração e o equipamento foi feito?
90	O espectro dinâmico que é representativo para as condições reais de teste foi feito com um simulador de massa antes do teste real?
91	O comportamento do equipamento foi caracterizado para evitar leituras erradas do equipamento testado?
92	Os dados críticos da resposta do sistema de controle são avaliados em tempo real durante o teste?
93	Um profissional da área de dinâmica estará disponível para dar suporte ao teste ou para revisar as medidas de parâmetros/controle do teste?
94	O laboratório está pronto para um desligamento de emergência?
95	A programação das manutenções da instalação de testes de vibração está de acordo?