



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/02.07.13.43-TDI

**UMA PROPOSTA DE FRAMEWORK DE CENTRO DE
DADOS DE NANOSATÉLITES PARA APOIAR
AVALIAÇÃO DE MATURIDADE TECNOLÓGICA DE
EXPERIMENTOS EMBARCADOS**

André Fernandes Novais

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pela Dra. Maria de Fátima Mattiello-Francisco, aprovada em 22 de fevereiro de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NB4TPS>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

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

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

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

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

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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

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



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/02.07.13.43-TDI

**UMA PROPOSTA DE FRAMEWORK DE CENTRO DE
DADOS DE NANOSATÉLITES PARA APOIAR
AVALIAÇÃO DE MATURIDADE TECNOLÓGICA DE
EXPERIMENTOS EMBARCADOS**

André Fernandes Novais

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pela Dra. Maria de Fátima Mattiello-Francisco, aprovada em 22 de fevereiro de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NB4TPS>>

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Novais, André Fernandes.

N856p Uma Proposta de framework de centro de dados de nanosatélites para apoiar avaliação de maturidade tecnológica de experimentos embarcados / André Fernandes Novais. – São José dos Campos : INPE, 2017.

xxii + 86 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/02.07.13.43-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

Orientadora : Dra. Maria de Fátima Mattiello-Francisco.

1. Nanossatélite. 2. TRL. 3. Avaliação maturidade tecnológica. 4. Centro de dados. 5. Framework. I.Título.

CDU 629.783



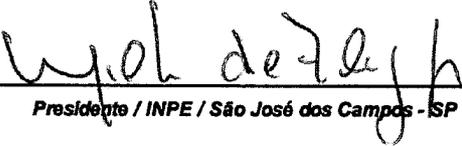
Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

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

Aluno (a): **Andre Fernandes Novais**
"UMA PROPOSTA DE FRAMEWORK DE CENTRO DE DADOS DE NANOSATÉLITES PARA APOIAR
AVALIAÇÃO DE MATURIDADE TECNOLÓGICA D EXPERIMENTOS EMBARCADOS"

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
**Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng.
Gerenc. de Sistemas Espaciais**

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Maria de Fátima Mattiello-Francisco



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

Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Rodrigo Rocha Silva



Convidado(a) / FATEC-MC / Mogi das Cruzes - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

“Não há nada melhor do que se alegrar e fazer o bem durante a sua vida, e também que todos comam e bebam, e desfrutem dos resultados de todo o seu trabalho árduo. É a dádiva de Deus.”.

Eclesiastes 3:12-13

A meus pais Aurino e Sueli e meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, confidente incondicional.

Ao INPE que me deu o orgulho de estudar em uma instituição de tamanho prestígio e com profissionais tão habilitados e competentes. À secretária do INPE que se sempre foi proativa a me orientar sobre prazos e questões burocráticas do curso.

A minha orientadora Fátima Mattiello pela ajuda prestada sempre com cordialidade. Por demonstrar entusiasmo durante todo esse trabalho mesmo frente a minha insegurança. Pela paciência e confiança atestadas várias vezes durante o curso.

À CAPES pelo apoio financeiro que viabilizou este trabalho.

A meus pais por compreensão, conselhos, preocupação e ajuda nas horas oportunas. A meus irmãos: Rafael Novais ao qual tenho como exemplo de conduta; à Melissa Novais pela companhia e amizade que transcende o sangue e me manteve são durante esses anos de mestrado; e à Elaine Novais e meus sobrinhos por me trazerem momentos alegres na fase final e mais estressante deste trabalho.

À Larissa Martins que sempre soube, de alguma forma, tirar o melhor de mim e me confortar mesmo nos piores dias. Aos meus amigos de uma vida Edson Andrade e Erick Duarte com os quais divido minha própria identidade. Ao meu parceiro de profissão Erico Veriscimo que foi uma referência durante a graduação e cultivo grande admiração.

Aos meus colegas do INPE Italo, Jeanne Samara e Mariam Acuña pela ajuda prestada durante o ingresso e as disciplinas cursadas.

A todos os meus professores, em especial Leandro Luque e Rodrigo Rocha pela confiança. Rodrigo que teve uma contribuição importantíssima para esse trabalho com apenas uma hora de observações. São professores que vou levar como referência pra vida toda.

RESUMO

Satélites de pequeno porte facilitam o acesso ao espaço sideral graças à redução de custos de concepção e operação da missão. A democratização do acesso ao espaço permite qualificar tecnologias espaciais inovadoras em ambiente próximo ao de operação com níveis de risco aceitáveis. Missões que possuem tecnologia inovadora a bordo têm gerado um número considerável de dados coletados em ambiente espacial. Entretanto, as informações operacionais necessárias para avaliar a maturidade das novas tecnologias estão dispersas. O estudo de pesquisa desta dissertação visa propor um framework de Centro de Dados expansível e que ofereça um processo simplificado e confiável para registrar o desempenho obtido em voo por experimentos tecnológicos embarcados em missões de pequenos satélites e mensurar sua maturidade. Para atingir esse objetivo, foram estudados os métodos e as ferramentas de avaliação de maturidade tecnológica existentes. Como resultado, um framework de Centro de Dados para missões de nanossatélite denominado CDnano foi proposto. O alicerce na concepção do framework é o indicador de nível de maturidade tecnológica Technology Readiness Level (TRL) proposto pela National Aeronautics and Space Agency (NASA), que se provou efetivo como uma linguagem de senso comum para comunicar maturidade tecnológica. A partir do indicador TRL uma ferramenta própria de avaliação de maturidade tecnológica, denominada FAMTEE, foi desenvolvida como parte integrante do CDnano. Evidências da efetividade do framework proposto são demonstradas por um protótipo discutido no escopo desse trabalho. O protótipo leva em consideração um experimento tecnológico embarcado na missão brasileira de nanossatélite Nanosat-BR1.

Palavras-chave: Nanossatélite. TRL. Avaliação Maturidade Tecnológica. Centro de Dados. Framework.

**PROPOSAL FOR A NANO SATELLITE DATA CENTER FRAMEWORK FOR
SUPPORT TECHNOLOGY READINESS ASSESSMENT OF ON BOARD
EXPERIMENTS**

ABSTRACT

Small satellites facilitate access to space by reducing development and operating costs. The democratization of access to space allows the qualification of innovative spatial technologies in an environment close to operational with acceptable levels of risk. However, the data collected from nanosatellite missions with innovative technology on board are spread. This research study aims to propose a Data Center framework that is scalable and has a simplified and reliable process for measuring the performance of technological experiments on board nano satellite. To achieve this goal, methods and tools to evaluate technological readiness were studied. As a result, a Data Center framework for nano satellite missions called CDnano was proposed. The framework uses the Technology Readiness Level (TRL) indicator, proposed by the National Aeronautics and Space Agency (NASA). The TRL has proven to be effective as a common-sense language for communicating technological maturity. From the TRL indicator, a tool of evaluation of technological maturity, called FAMTEE, was developed as part of the CDnano. Evidence of the effectiveness of the proposed framework is demonstrated by a prototype discussed in the scope of this work. The prototype considers a technological experiment embedded in the Brazilian nano satellite mission NanosatC-BR1.

Keywords: Nanosatellite. TRL. Technology Readiness Assessment. Data Center. Framework.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Nanossatélite Canx-2 integrado	10
Figura 2.2 – Sistema de Nano Propulsão (NANOPS)	12
Figura 2.3 - O semento solo da missão INTEGRAL composto pelos componentes operacional (MOC, estações terrenas e linhas de comunicação) e científico (ISOC e ISDC) e a interação entre eles.....	15
Figura 2.4 – Fluxo dos dados através do ISDC.	17
Figura 3.1 – Os nove níveis de maturidade tecnológica.....	23
Figura 3.2 – Fluxograma do algoritmo de decisão do nível TRL.....	31
Figura 4.1 – Visão geral dos componentes do CDnano.	33
Figura 4.2 – Protótipo do CDnano aplicado ao FPGA com software de resistência a falhas.	37
Figura 5.1 – Algoritmo de classificação de nível TRL.....	42
Figura 5.2 – Interface gráfica de perfil de tecnologia provida pela ferramenta FAMTEE.	43
Figura 5.3 – Interface gráfica de Centro de Dados provida pela ferramenta FAMTEE.....	44
Figura 5.4 – Diagrama de caso de uso FAMTEE.....	45
Figura 5.5 – Diagrama de Sequência do caso de uso Avaliar Maturidade Tecnológica.	48
Figura 5.6 – Visão do padrão arquitetural MVC aplicado e suas respectivas tecnologias.....	49
Figura 5.7 – Visão macro dos pacotes de classes que compõe o design da ferramenta FAMTEE.....	50
Figura 5.8- visualização do pacote core com seus principais componentes.....	51
Figura 5.9 - Diagrama de classes do pacote domain.	53

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Classificação dos satélites por massa.	7
Tabela 2.2 - Exemplos de iniciativas de projetos de pequenos satélites no Brasil.	9
Tabela 3.1 – Descrição dos níveis de maturidade tecnológica.	25
Tabela 3.2 – Descrição dos níveis de R&D3	27
Tabela 3.3 – Comparação entre o modelo OSI e os nível IRL.	28
Tabela 5.1 – Tecnologias utilizadas no desenvolvimento da ferramenta FAMTEE.	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.
AEB	Agência Espacial Brasileira.
CRC	Centro de Rastreo e Controle.
LIT	Laboratório de Integração e Testes.
TRL	Technology Readiness Level.
TRA	Technology Readiness Assessment.
CDnano	Centro de Dados de nanossatélites.
FAMTEE	Ferramenta de Avaliação de Maturidade Tecnológica de Experimentos Embarcados.
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
UFSC	Universidade Federal de Santa Maria.
CanX	Canadian eXperiment.
ISOC	INTEGRAL Science Operations Centre
MOC	Mission Operations Centre.
ISDC	INTEGRAL Science Data Centre.
ASI	Agenzia Spaziale Italiana.
ASDC	ASI Science Data Centre
CCS	Centro de Controle de Satélite

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO.....	3
1.2. Metodologia	4
1.3. Estruturação do Texto	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1. Nanossatélites.....	7
2.1.1. Missão CANX-2.....	9
2.2. Centro de Dados.....	14
2.2.1. INTEGRAL Science Data Center	14
2.2.2. ASI Science Data Center.....	17
3 AVALIAÇÃO DE MATURIDADE TECNOLÓGICA	21
3.1. Indicador de Maturidade TRL.....	22
3.1.1. Limitações do Indicador TRL	26
3.2. Outros Indicadores	26
3.2.1. R&D3	27
3.2.2. Integration Readiness Level	27
3.2.3. System Readiness Level.....	29
3.3. TRL Calculator.....	30
4 FRAMEWORK DE CENTRO DE DADOS – CDnano	33
4.1. CDnano como Framework	33
4.1.1. Componente Centros de Missões	34
4.1.2. Componente Ambiente de Desenvolvimento da Tecnologia.....	35
4.1.3. Componente Ferramenta de Avaliação de Maturidade Tecnológica	35
4.2. Protótipo do CDnano.....	36
5 FAMTEE: Projeto e Arquitetura do Software	39
5.1. Tecnologias Aplicadas no Desenvolvimento	39
5.2. Método de Avaliação	41
5.3. Visão de Casos de Uso.....	44

5.3.1. Cadastrar Missão	45
5.3.2. Cadastrar Tecnologia	46
5.3.3. Upload de Telemetrias	46
5.3.4. Pesquisar Telemetrias.....	46
5.3.5. Upload de Artefato de Maturidade.....	46
5.3.6. Avaliar Maturidade Tecnológica.....	46
5.4. Diagrama de Sequência.....	47
5.5. Visão Lógica	49
5.5.1. Visão Geral.....	49
5.5.2. Pacote Core	50
5.5.2.1. Pacote Facade	52
5.5.2.2. Pacote Context.....	52
5.5.2.3. Pacote DAO.....	52
5.5.3. Pacote Domain	53
5.5.4. Pacote View	53
6 CONCLUSÃO	55
6.1. Trabalhos futuros	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE A – Questões de Avaliação de Maturidade Tecnológica da FAMTEE	65
ANEXO A – Questões da ferramenta TRL Calculator (AFRL)	81

1 INTRODUÇÃO

O setor espacial demanda tecnologias inovadoras em atendimento aos requisitos de missões espaciais cada vez mais complexos. Entretanto, a adoção de novas tecnologias em missões operacionais deve ser acompanhada de um nível de risco associado aceitável, de modo que não incremente a possibilidade de falha da missão (DONATI et al., 2012).

É fundamental que a adoção de tecnologias inovadoras seja acompanhada de um processo de qualificação que demonstre os níveis de efetividade, confiabilidade e desempenho obtidos durante as fases do ciclo de desenvolvimento da tecnologia a fim de mitigar riscos (MANKINS, 2009). Esse processo deve ser capaz de determinar a maturidade da tecnologia e expressar seus resultados.

A necessidade de qualificar novas tecnologias espaciais encontrou uma solução candidata no segmento de nanossatélites, que permite levar tecnologias ao ambiente espacial a baixo custo e com ciclos de desenvolvimento mais rápidos (HEIDT et al., 2000). Nanossatélites é uma categoria de satélites artificiais de pequeno porte com massa entre 1kg e 10kg (JAKHU; PELTON, 2014).

Nanossatélites são amplamente empregados em missões educacionais e de demonstração de tecnologia experimental. Como aponta um levantamento realizado por Bouwmeester e Guo (2010), 72% das missões de satélites de pequeno porte carregam tecnologias em fase de qualificação, como carga principal ou secundária.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) cumpre um papel importante nas missões de nanossatélites em desenvolvimento e operação no Brasil. Além de contar com mão-de-obra qualificada de engenheiros e especialistas do setor espacial, o INPE também possui um moderno laboratório de integração e testes (LIT) e toda a infraestrutura para comunicação e controle de satélites (CCS). Todo esse arcabouço técnico opera em colaboração com diversas instituições de ensino e empresas do setor privado, além de atender às missões internas do programa espacial brasileiro, coordenadas pela Agencia Espacial Brasileira (AEB).

Embora o INPE apoie o desenvolvimento e operação de missões de nanossatélites que possuem tecnologias em fase de qualificação, como o caso do NanosatC-BR1, ainda não há um Centro de Dados que forneça o suporte necessário para análise e armazenamento histórico dos dados operacionais gerados em voo para essa categoria de missão.

Em junho de 2014 o Brasil lançou com sucesso seu primeiro nanossatélite chamado NanosatC-BR1, construído sob a parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFMS) com financiamento da Agência Espacial Brasileira (AEB). O programa conta com a colaboração de estudantes de graduação da UFSM e pós-graduação do INPE/MCTI, ITA e UFRGS. Sua missão é coletar dados do campo magnético terrestre e qualificar circuitos integrados blindados com resistência à radiação (SCHUCH; DURÃO, 2013).

Atualmente, o pesquisador responsável pelo instrumento embarcado no NanosatC-BR1 acessa os dados adquiridos em órbita por seu instrumento por meio de uma página web disponível no endereço www.inpe.br/crs/nanosat. Este site na internet funciona como um repositório de arquivos, apenas para fins de download dos dados brutos do instrumento pelo pesquisador. A maneira como os dados são processados ou como o desempenho da tecnologia é avaliado fica a cargo do pesquisador responsável.

A análise do comportamento operacional do instrumento e a avaliação do desempenho obtido pela tecnologia durante o voo dependem dos critérios adotados pelo pesquisador. Raramente se consegue uma descrição técnica do processo adotado. Esta prática torna a avaliação de maturidade da tecnologia bastante subjetiva. Nesse contexto, observa-se a importância de um novo stakeholder nas missões de satélites que embarcam inovação tecnológica – aquele interessado em acompanhar a evolução das tecnologias em qualificação no espaço.

Usualmente, em missões espaciais operacionais, o armazenamento e disseminação de dados científicos coletados pelas cargas úteis dos satélites são realizados nos Centros de Missão (SOC – Scientific Operation Center), muitas vezes também

referenciados por Centro de Dados, apesar de esse termo ser mais genérico, e não estar limitado a uma missão espacial específica.

De forma complementar as informações associadas ao controle do satélite propriamente dito e à memória da operação da missão são preservadas no centro de operação da missão (MOC - Mission Operation Center).

Esse padrão de distribuição de tarefas no Segmento Solo entre SOC e MOC, tem sido amplamente adotado pelas agências espaciais no mundo para operação de missões de médio e grande porte, em conformidade com normas, tais como a European Cooperation for Space Standardization ECSS-E-ST-70C (ECSS, 2000).

No INPE, podemos usar a missão de coleta de dados como exemplo para identificar a aderência às normas ECSS. Observa-se o Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) exercendo a função de Centro de Missão de Coleta de Dados por satélites do INPE (tipo SOC) combinada à função de Centro de Dados Ambientais, por permitir o processamento e armazenamento de dados ambientais recebidos por outras fontes. O Centro de Rastreamento e Controle de Satélites (CRC) é o responsável pela comunicação e operação dos satélites de coletas de dados, SCD-1 e SCD-2, que compõem a missão (tipo MOC).

1.1. Objetivo

O objetivo desse trabalho é propor um framework de Centro de Dados, com ferramentas que auxiliem a avaliação de maturidade tecnológica de tecnologias espaciais inovadoras. O framework de Centro de Dados irá integrar informações científicas e operacionais de tecnologias embarcadas em missões de nanossatélites, bem como reunir artefatos associados ao processo de avaliação de maturidade tecnológica.

O framework visa atender ao stakeholder interessado em acompanhar a evolução da maturidade tecnológica de experimentos espaciais em fase de qualificação. Os artefatos de maturidade e a exposição dos critérios utilizados reduzem a subjetividade da avaliação que existe a partir da perspectiva do terceiro interessado no desempenho da tecnologia.

A definição de framework usada nesse trabalho é a de um conjunto de ideias, regras ou conceitos a partir do qual algo é desenvolvido ou decisões são baseadas (LOGMAN, 1978).

O uso do termo Centro de Dados no título desse trabalho se justifica pela combinação da natureza dos dados tratados pelo framework: científicos, operacionais de missão, e de avaliação de prontidão tecnológica. As informações do comportamento operacional dos experimentos durante a vida útil da missão são de grande valia no processo de qualificação espacial e por essa razão é desejável que tais informações sejam preservadas e disponibilizadas para os envolvidos.

Os estudos realizados nessa dissertação abrangem aspectos de armazenamento, disseminação de dados operacionais, análise de comportamento das tecnologias espaciais em qualificação a bordo de nanossatélites e métodos de avaliação de maturidade tecnológica.

1.2. Metodologia

A metodologia adotada para realizar o presente projeto de pesquisa está dividida em duas partes: (I) levantamento bibliográfico dos tópicos que envolvem maturidade tecnológica e missões espaciais de nanossatélites, e (II) a proposta de um framework que apoie o processo de avaliação de maturidade tecnológica.

A primeira parte tem o propósito de esclarecer como o conceito de Centro de Dados é explorado dentro do contexto de missões espaciais dessa natureza. Também considera os métodos de armazenamento, processamento e distribuição de dados praticados por alguns dos principais centros de dados ao redor do mundo. Esse levantamento bibliográfico inicial foi norteado pelas seguintes questões de pesquisa:

Q1. Quais as vantagens e desvantagens do uso de nanossatélites?

Q2. Quais as principais missões de nanossatélites que tem por finalidade a demonstração de nova tecnologia em voo?

Q2.1. Qual processo adotado na qualificação do experimento?

Q3. Quais são os métodos adotados para armazenamento, processamento e disseminação dos dados nos principais centros de dados?

As questões **Q1**, **Q2** e **Q2.1** tem o objetivo de caracterizar o perfil das missões científicas de natureza experimental que fazem uso de nanossatélites. Para tanto, a busca foi feita sob as palavras-chave “CubeSat”, “Nanosatellite” e “Small Satellite”, na base de dados da ScienceDirect e no Portal de Periódicos da Capes, contemplando assim as principais missões de nanossatélites no mundo.

Os artigos foram avaliados segundo seu título e conteúdo expresso no abstract tendo como critério de aceitação aqueles que: descrevem missões de nanossatélites com experimentos científicos a bordo; descrevem facilidades e ferramentas de segmento solo para nanossatélites; descrevem a evolução ou estado da arte de engenharia de nanossatélites; fornecem dados sobre o cenário das missões de nanossatélites.

A questão **Q3** tem o objetivo de compreender os métodos de armazenamento, processamento e distribuição de dados adotados por alguns dos principais Centros de Dados ao redor do mundo. Para que a questão **Q3** fosse atendida, a pesquisa usou como parâmetros de busca as palavras-chave "*science data center*", "*mission operations center*", "*science operations center*" e "*science archive*".

Os artigos foram avaliados segundo seu título e conteúdo expresso no abstract, usando como critério de aceitação aqueles que abordassem Centro de Dados científicos e/ou ferramentas para armazenamento e processamento de dados científicos.

A segunda parte propõe um framework de Centro de Dados para apoiar a avaliação de maturidade tecnológica de experimentos embarcados em missões de nanossatélites. O framework é então prototipado usando uma das tecnologias inovadoras embarcadas na missão brasileira de nanossatélite NanosatC-BR-1 e uma ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica implementada dentro do escopo desse trabalho.

1.3. Estruturação do Texto

O texto dessa dissertação está estruturado da seguinte forma:

- [Capítulo 2](#) – Fundamentação teórica: uma revisão da literatura que responde às questões levantadas na introdução desse trabalho.
- [Capítulo 3](#) – Avaliação de Maturidade Tecnológica: apresenta o conceito de maturidade tecnológica, indicadores e métodos de mensurar maturidade.
- [Capítulo 4](#) – Framework de Centro de Dados CDnano: descreve o framework de Centro de Dados proposto e seus componentes. O capítulo apresenta um protótipo com instâncias práticas de cada componente.
- [Capítulo 5](#) – FAMTEE: Projeto e Arquitetura da Ferramenta: dedicado a detalhar aspectos de construção de um dos componentes do framework – a ferramenta que dá suporte a avaliação de maturidade tecnológica.
- [Capítulo 6](#) – Conclusão: discute as características do framework proposto e possíveis extensões do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os parágrafos seguintes são resultado do estudo bibliográfico guiado pelas questões mencionadas na introdução.

2.1. Nanossatélites

Nanossatélites são satélites artificiais de pequeno porte que possuem ciclo de desenvolvimento reduzido com grande vantagem para qualificar tecnologias inovadoras em voo. A tabela 2.1 fornece a classificação dos satélites de menor porte baseada em sua massa. Segundo Jakhu e Pelton (2014), não há uma definição universal sobre essa classificação, mas eles apresentaram o que consideram ser a definição mais comum.

Tabela 2.1 - Classificação dos satélites por massa.

IAA NASA	
Mini-Satelite minisat	100kg – 1000 kg
Micro-Satelite microsat	10-100 kg
Nano-Satelite nanosat	1-10 kg
Pico-Satelite picosat	10g-1 kg
Femto-Satelite femtosat	1g – 10 g

Fonte: Adaptada de Jakhu e Pelton (2014)

O CubeSat é uma plataforma padronizada de nanossatélite comumente utilizada. É composto de até três unidades de um pequeno cubo com aproximadamente 10cm de aresta (HEIDT et al., 2000).

Diversas vantagens podem ser listadas pelo uso de nanossatélites (Q1). Segundo Heidt et al. (2000) o uso de pequenos satélites ganhou destaque por fornecer uma alternativa viável para reduzir custos em diversas missões espaciais. Com os componentes eletrônicos cada vez menores e consumindo menos energia, foi possível a construção de satélites de pequeno porte, mais leves, e que podem ser lançados no espaço como carga secundária de um lançador ou junto a vários outros nanossatélites.

Características como baixo custo e ciclos mais rápidos de desenvolvimento favorecem o uso de nanossatélites no ambiente universitário, proporcionando aos estudantes o exercício dos conhecimentos interdisciplinares de engenharia em projetos de sistemas espaciais reais. As vantagens dessa combinação são: (a) uma oportunidade de desenvolvimento e qualificação em voo de instrumentos inovadores e/ou de alto risco, e (b) a formação de alunos de graduação e pós-graduação motivados que, mais tarde, serão experientes engenheiros na indústria (JAYARAM, 2009).

Esse cenário é uma realidade também nos países emergentes, onde o investimento se justifica em longo prazo na formação de propriedade intelectual que contribui para o avanço da economia do país. O avanço depende tanto da capacitação científica como, eventualmente, do desenvolvimento de novas tecnologias (WOELLERT et al., 2011).

A democratização ao espaço proporcionada pelo uso de nanossatélites estimulou países da América Latina a desenvolver seus próprios programas espaciais. Por exemplo, a Colômbia lançou em abril de 2007 seu primeiro nanossatélite - Libertad 1, projetado e desenvolvido pela Universidade Sergio Arboleda. Este CubeSat transmite um pacote de dados informando a temperatura em cada uma de suas faces, que pode ser captada por operadores de radioamador. Já existem projetos para o lançamento de seu sucessor, o Libertad 2, um CubeSat de três unidades (MARULANDA, 2014).

Assim como a Colômbia, países como Argentina, México, Peru, Equador, Uruguai e Chile também têm investido na plataforma de nanossatélites tanto para a demonstração de tecnologia como também em missões operacionais de observação da terra (MARULANDA, 2014).

Algumas iniciativas brasileiras para missões de nanossatélites podem ser observadas na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Exemplos de iniciativas de projetos de pequenos satélites no Brasil.

Satélite	Instituição	Lançamento
NANOSATC-BR1	UFSM / INPE	2014
AESP14	ITA / INPE	2015
SERPENS	UnB	2015
ITASAT	ITA / INPE	2017
NANOSATC-BR2	UFSM / INPE	2017
14-BISat	IFF	2016
AESP16	ITA / INPE	2016
CONASAT	UFRN / INPE	2016
TANCREDO I	EEPTAN / INPE	2016

Fonte: Adaptada de Costa (2014)

2.1.1. Missão CANX-2

Dentre as principais missões que voam com experimentos tecnológicos embarcados ([Q2](#)), o programa CanX (Canadian Advanced Nanospace eXperiment) desenvolvido pelo Laboratório de Voo Espacial do Instituto de Estudos Espaciais da Universidade de Toronto no Canadá (UTIAS/SFL) se destaca como um nítido exemplo da exploração do potencial de nanossatélites para qualificação de novas tecnologias (RANKIN et al., 2005).

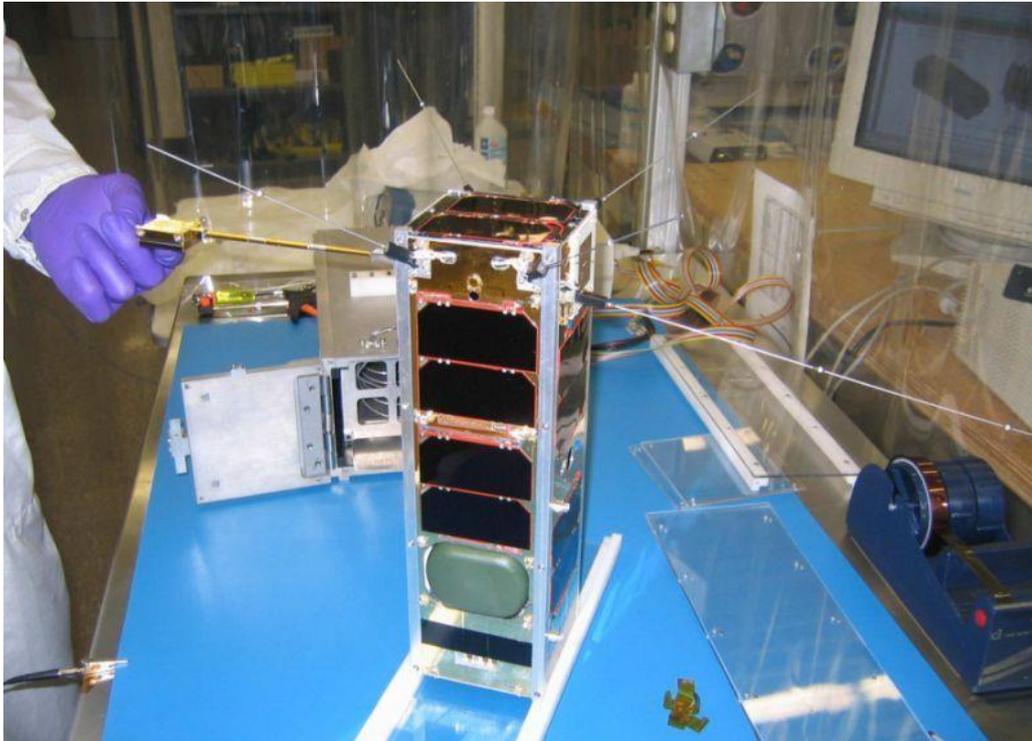
Os objetivos do programa canadense convergem com as duas principais aplicações do CubeSat: a capacitação de universitários e a demonstração de novas tecnologias em voo.

Dentro do programa CanX, profissionais experientes exercem o papel de mentores, orientando estudantes de pós-graduação em engenharia de sistemas espaciais durante o programa de mestrado que dura cerca de dois anos. Os estudantes possuem a oportunidade de treinamento prático em complemento a sua formação teórica.

Com missões de baixo custo, os nanossatélites lançados durante o programa CanX oferecem a chance de qualificar os experimentos científicos inovadores desenvolvidos no país.

O CanX-2, segundo satélite do programa, foi ambicioso em seus propósitos. Este CubeSat mostrado na figura 2.1, tem como objetivo principal, servir de pioneiro na demonstração de um sistema de formação de voo preciso. Esse sistema pode ser aplicado em diversas missões posteriores, como para a aproximação de satélites com a finalidade de realizar diagnósticos, ou até mesmo manutenção em órbita (RANKIN et al., 2005).

Figura 2.1 – Nanossatélite Canx-2 integrado



Fonte: Sarda et al. (2008)

Segundo Sarda et al. (2008), o uso de pequenos satélites posicionados em formação de voo possui várias vantagens em relação ao uso de um único satélite de grande porte, dentre elas:

- a) Maior confiabilidade, uma vez que a perda de um satélite não prejudica toda a missão;
- b) Satélites individuais e mais baratos podem ser substituídos ao longo do tempo, fazendo a atualização do sistema de forma gradual e conforme condições de investimento;

- c) Redução de custos possibilitado pela plataforma padronizada do CubeSat, dissipando os custos referentes à pesquisa, projeto, desenvolvimento e testes de um novo satélite;

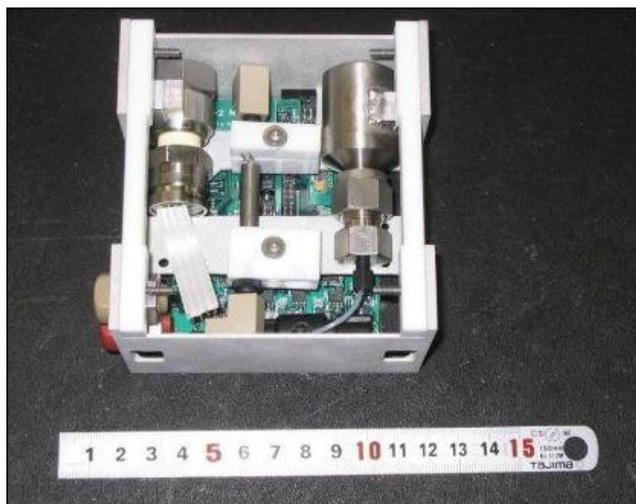
Para que a formação de voo seja possível, a SFL projetou uma série de componentes que serão demonstrados em ambiente espacial a bordo do nanossatélite CanX-2 e posteriormente qualificado em uma formação de voo entre os nanossatélites CanX-4 e CanX-5. Estes componentes são descritos a seguir:

- a) **Determinador de posição base-GPS.** Proporciona precisão em nível de centímetros em tempo real (BUSSE et al., 2003). A avaliação de qualidade da tecnologia de hardware e dos dados gerados dependerá da missão CanX-2.
- b) **Sistema de nano propulsão** (fig. 2.2). Para manter uma formação de voo de satélites é preciso controlar perturbações que podem interferir na distância relativa entre eles, ou ainda, um sistema de propulsão pode ser necessário quando uma reconfiguração de formação se mostra vantajosa. O sistema de nano propulsão (NANOPS) usa hexafluoreto de enxofre (SF₆) como propelente. A avaliação de desempenho do componente é baseada nas telemetrias de velocidade angular do CanX-2 e leituras de pressão e temperatura.

Subsistema de determinação e controle de atitude (ADCS). Diversas aplicações de formação de voo precisam de um controle de apontamento da carga espacial, como por exemplo, em casos de manutenção em órbita de satélites onde é preciso realizar acoplamento com precisão. Este subsistema agrega atuadores e sensores, sendo um conjunto de sensores solares de alta precisão, um magnetômetro, três rodas de reação e bobinas magnéticas. Desse conjunto de componentes apenas os sensores de velocidade não estão embarcados no CanX-2

- c) **Imageadores CMOS.** CanX-2 será equipado com o imageador CMOS para tirar fotos de alvos como a terra, lua e campo de estrelas a fim de servir como inspeção visual da eficácia da formação de voo.

Figura 2.2 – Sistema de Nano Propulsão (NANOPS)



Fonte: Sarda e Grant (2009)

O lançamento do CanX-2 aconteceu em 28 de abril de 2008 a bordo do veículo Antrix/ISRO PSLV-C9 e as telemetrias iniciais que relataram seu sucesso de lançamento e operação foram recebidas horas depois.

Uma questão chave para este trabalho de pesquisa diz respeito aos métodos utilizados para qualificar as cargas úteis em fase de qualificação que voaram a bordo do nanossatélite ([Q2.1](#)). O que se segue é a informação coletada sobre o processo de avaliação adotado para cada subsistema:

- a) **NANOPS:** tratado como o subsistema de maior prioridade nos testes, diversos ensaios foram efetuados para caracterizar sua performance. Os primeiros testes visaram quantificar qual o mínimo de empuxo possível para o sistema dado circunstâncias como pressão do tanque de propelente e temperatura. Os resultados obtidos foram de 0.07mN (75psi) à 0.15mN (255psi) o que teoricamente daria ao sistema a eficiência máxima de impulso específico (ISP) de 50s e a média de 46.7s. Após esses testes iniciais o sistema ficou inativo por cerca de um ano com o propósito de identificar a capacidade de longos períodos de armazenamento sem vazamentos e a capacidade de acionar o sistema após longo período de inatividade. Ambos os testes foram bem-sucedidos, demonstrando que não houve escape significativo do propelente e as válvulas e reguladores funcionaram conforme o esperado.

- b) **GPS:** Sendo uma das partes críticas na demonstração de formação de voo, cerca de sessenta testes foram executados para examinar a qualidade e precisão dos dados. Os testes variavam diversos parâmetros como o apontamento da antena do GPS, a pontualidade de recepção, a frequência de registro e o fornecimento de tempo e posição corrente para calibração. O teste de precisão consistia em comparar os dados de posição recebidos com os arquivos TLE fornecidos pela North American Aerospace Defense Command (NORAD).

- c) **Sistema de Determinação e Controle de Atitude:** A avaliação de performance deste sistema baseia-se na comparação de um modelo pré-determinado e os dados de telemetria recebidos do satélite. Com esses parâmetros pesquisadores chegaram a conclusão que o controle de atitude é considerado bom.

- d) **Imageador CMOS:** Não divulgado a realização de testes para esse sistema.

O processo de qualificação dos sistemas e componentes não se limita a essa missão CanX-2. As missões seguintes (CanX-3/4/5) também são fonte de dados relevantes na avaliação de maturidade. A missão CanX-3, também conhecida como a constelação BRITE (Bright Target Explorer) carrega um sensor de estrelas para observar a variação no brilho de estrelas massivas com alta precisão. Para isso, herda o sistema de atitude (ADCS) do CanX-2 com alguns aprimoramentos (KOUDELKA et al., 2009).

Durante essas avaliações, Koudelka et al. (2009) menciona algumas das ferramentas de processamento e avaliação de dados usados no nanossatélite TUGSAT-1, integrante da constelação BRITE. Abaixo é listado tais ferramentas:

- a) **BRITE-Job:** responsável por converter os dados para o formato FITS (Flexible Image Transport System), que são arquivos comumente usados na comunidade de astronomia.

- b) **BRITE-Preview:** um quick look dos dados para identificar possíveis problemas com os pacotes de dados.

- c) **BRITE-History:** um quick look de análise da evolução do alvo ao longo do tempo.
- d) **BRITE-Ok:** Fornece informações para gerenciamento e planejamento da missão, caso precise de correções para melhorar a performance do instrumento na órbita seguinte.

Alguns aspectos sobre a qualificação das cargas úteis durante a missão CanX-2 podem ser destacados.

- a) A forma de expressar os resultados obtidos do desempenho de cada uma das tecnologias a bordo do nanossatélite carece de um padrão de linguagem comum e de fácil compreensão.
- b) Foram aplicadas diversas ferramentas de mineração de dados no apoio à qualificação das tecnologias experimentais.
- c) A qualificação das tecnologias é feita durante mais de uma missão.

2.2. Centro de Dados

Dois importantes centros de dados científicos atendem à questão [Q3](#). O primeiro trata-se do INTEGRAL Science Data Centre (ISDC) que é responsável por processar, armazenar e distribuir dados da missão INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (INTEGRAL) da Agência Espacial Europeia (BECKMANN, 2002). O segundo é o ASI Science Data Center (ASDC), que atende a diversas missões da Agência Espacial Italiana (ASI) (ASI, 2009). Ambos possuem publicações que abordam em maiores detalhes a estrutura e o funcionamento do Centro de Dados.

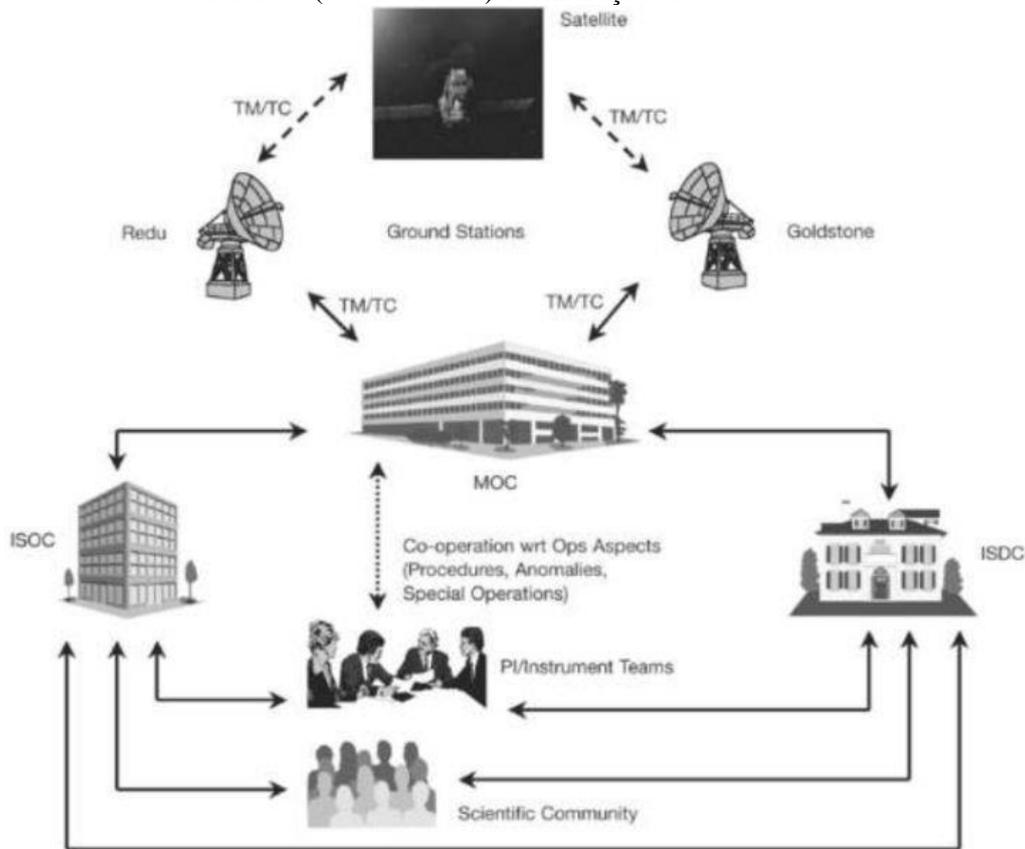
2.2.1. INTEGRAL Science Data Center

A seguir, serão abordados os métodos adotados para armazenamento, processamento e disseminação dos dados implementados no ISDC.

Para melhor compreensão do fluxo de informação, MUCH et al. (2003) coloca o contexto em que o ISDC está inserido no segmento solo da missão INTEGRAL

(fig. 2.3). Seguindo a divisão de responsabilidades definida na norma ECSS-E-ST-70C, o segmento solo é dividido em dois componentes: Operacional e Científico.

Figura 2.3 - O segmento solo da missão INTEGRAL composto pelos componentes operacional (MOC, estações terrenas e linhas de comunicação) e científico (ISOC e ISDC) e a interação entre eles



Fonte: Much et al. (2003)

O papel de Segmento Solo Operacional é desempenhado pelo Centro de Missão Operacional (MOC) localizado em Darmstadt, Alemanha. Ele é responsável por toda a interação com o segmento espacial e executa as operações do satélite a fim de manter sua integridade bem como das cargas úteis. Inclui também as estações terrenas e os sistemas de comunicação entre elas.

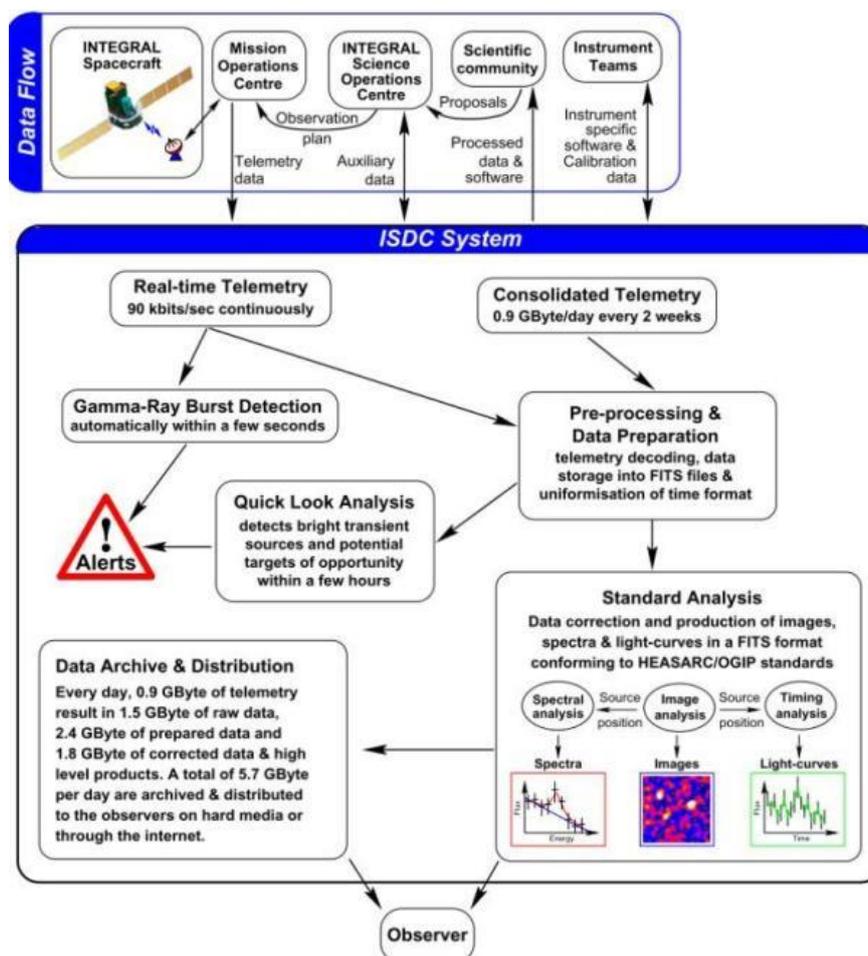
O segmento solo científico é dividido em dois componentes: o ISOC (INTEGRAL Science Operations Centre) que opera em Noordwijk, Holanda e o ISDC (INTEGRAL Science Data Centre) situado na comuna de Vertoix, Suíça. O ISOC monitora e decide os comandos necessários para manipulação da carga útil

enquanto o ISDC recebe e processa dados de telemetria científica a fim de oferecer serviços à comunidade científica.

A figura 2.4 ilustra o fluxo dos dados desde a fonte até o observador, que é a comunidade científica interessada, e o processamento que ele recebe para alimentar ferramentas de alerta e análise. Uma vez que o ISDC recebe os dados, eles são processados nas seguintes fases, conforme Beckmann (2002) descreve:

- a) Assim que a telemetria é importada para o Centro de Dados (Real-Time Telemetry), é feita uma busca para detectar possíveis explosões de raios-gama, que constitui um ponto de interesse para a missão, ou detectar grandes problemas indicados por um determinado padrão nos dados (Gamma-Ray Burst Detection). Uma vez que um comportamento divergente é detectado, um alerta é emitido e mensagens são enviadas aos responsáveis. Essa funcionalidade é feita por uma ferramenta chamada INTEGRAL Burst Alert System (IBAS) (MAREGHETTI et al., 2001).
- b) Os arquivos de telemetria são processados e armazenados no padrão FITS (Flexible Image Transport System) que é comumente utilizado no campo astronômico (Pre-Processing & Data Preparation). Esses arquivos alimentam a análise *quick look* que tem o propósito de exibir os dados graficamente ao usuário para identificação de fontes luminosas e alvos de interesse (Quick Look Analysis).
- c) Por fim, os dados consolidados são utilizados para análise científica, e para gerar imagens e gráficos online (Standard Analysis). Uma alternativa ao acesso online é um software proprietário chamado Offline Science Analysis (OSA), que pode ser baixado pelo site do ISDC.

Figura 2.4 – Fluxo dos dados através do ISDC.



Fonte: Beckmann (2002)

A base histórica com as informações sobre a carga útil e a missão, opta pelo armazenamento em arquivos estruturados via software. O satélite e os instrumentos geram grande quantidade de dados. Todos eles são pré-processados pelo ISDC e organizados em cerca de 120 tipos diferentes de arquivos que são armazenados em uma estrutura lógica em forma de árvore conhecida pelo sistema, mas transparente ao usuário.

2.2.2. ASI Science Data Center

Outro importante Centro de Dados encontrado na literatura é O ASI Science Data Center (ASDC). Trata-se de um Centro de Dados de altas energias que atende a diversas missões da Agencia Espacial Italiana (ASI). Em constante expansão, esse Centro de Dados é responsável por receber, processar, armazenar e disponibilizar os dados de diversas missões científicas. Entre os principais satélites para os quais

o sistema presta esses serviços estão os satélites astronômicos de altas energias, AGILE, Swift e Fermi.

Concebido no ano 2000, o ASDC teve como base a experiência adquirida no gerenciamento do Centro de Dados Científicos anterior - o BeppoSAX Science Data Center. A Agência Espacial Italiana (ASI, 2009) seguiu os seguintes requisitos na implantação do novo Centro de Dados:

- a) A preservação em longo prazo dos dados científicos obtidos e da memória da missão.
- b) Uma significativa economia de recursos através da reutilização da infraestrutura para novas missões.
- c) Um apoio eficiente à comunidade científica consumidora desses dados.
- d) A fácil integração dos dados provenientes de diferentes missões científicas.

Para atender a esses requisitos, a arquitetura de sistema do ASDC é modular. Cada missão possui suas próprias funcionalidades filtros e componentes de visualização rápida (Quick Look). Quando aplicável, os dados de cada módulo podem ser integrados a fim de visualizar um mesmo ponto no espaço.

O Centro de Dados ASDC é caracterizado como multimissão e gerencia as necessidades referentes as missões, como a Swift/XRT (STRATTA et al., 2010) e AGILE (PITTORI, 2013), de modo independente.

Um módulo de playback denominado MMIA (Multi Mission Interactive Archive) permite reprocessar os dados históricos das missões, onde há várias interfaces gráficas para a análise dos dados. De acordo com a missão, os possíveis parâmetros de restrição da pesquisa são apresentados. A busca retorna uma tabela listando os arquivos encontrados para que o usuário selecione o registro que deseja visualizar, este pode ser aberto em um componente de quick look.

A ferramenta de quick look gera uma visualização para análise online dos dados que estão armazenados. É capaz de exibir uma imagem do céu centralizada em

uma fonte luminosa específica em todas as bandas de energias, e fazer um cruzamento entre catálogos de arquivos internos gerados pelos demais satélites que integram o Centro de Dados.

Todas as necessidades de infraestrutura computacional da ASDC são supridas por um moderno sistema de tecnologia e comunicação, denominado ICT (Information Communication Technology), desenvolvido especialmente para um ambiente em que mudanças de requisitos científicos devem ser atendidas por soluções de engenharia estáveis.

3 AVALIAÇÃO DE MATURIDADE TECNOLÓGICA

O Escritório de Contabilidade dos EUA (GAO) analisou experiências do Departamento de Defesa dos EUA (DoD) e casos de desenvolvimento de tecnologias comerciais, e chegou à conclusão que priorizar a adoção de tecnologias com alto nível de maturidade em programas de desenvolvimento ou aquisição tecnológica aumenta consideravelmente as chances de sucesso (GAO, 1999).

Segundo Mankins (2009a), o sucesso de novas tecnologias está diretamente relacionado à capacidade dos gerentes de projeto de realizar avaliações de maturidade e de risco de forma clara e bem documentada, e fazê-las em pontos chave do ciclo de desenvolvimento. Assim, observa-se a importância de aplicar esforços para determinar a maturidade de uma nova tecnologia, funcionalidade ou sistema.

A avaliação chamada Technology Readiness Assessment (TRA), consiste em um processo sistemático baseado em métricas de desempenho da tecnologia alvo com o intuito de produzir relatórios que demonstram sua maturidade tecnológica. Mankins (2009) descreve as principais informações que devem ser considerados durante esse processo:

- a) **Medidas de desempenho:** Verificação do atendimento aos objetivos de desempenho previamente estabelecidos para a tecnologia.
- b) **Nível de maturidade tecnológica:** Classificação do nível TRL da tecnologia. TRL é um indicador de nível de maturidade tecnológica que será abordado a seguir.
- c) **Indicador de grau de dificuldade:** Gerenciamento das adversidades ou obstáculos os quais a tecnologia está suscetível que pode dificultar seu processo de amadurecimento.

Em reconhecimento a sua importância, realizar processos de medição da maturidade tecnológica se tornou uma exigência para programas de aquisição de tecnologias de defesa nos EUA conforme a DoDI 5000.02 (Department of Defense Instruction). Diretivas e instruções para realização dos processos de

avaliação, que incluem os principais envolvidos no processo, podem ser encontrados em um guia publicado pela Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering (DoD, 2011) e no Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook (DoD, 2009).

3.1. **Indicador de Maturidade TRL**

Dentre as métricas utilizadas durante o processo de TRA, destaca-se o indicador Technology Readiness Level (TRL). TRL é um sistema que permite medir a maturidade de uma tecnologia e compará-la com outras de modo consistente (MANKINS, 1995). Idealizado nos anos de 1970, essa métrica ganhou bastante notoriedade com a publicação do artigo “TECHNOLOGY READINESS LEVELS” (MANKINS, 1995), onde ganhou uma definição mais clara dos nove níveis de maturidade, níveis esses que ela possui até hoje.

O sistema TRL provou ser um meio efetivo e padronizado para caracterizar a maturidade de uma nova tecnologia, sendo assim, incorporada por diversas instituições importantes nos EUA como o Departamento de Defesa (DoD) e o Escritório de Prestação de Contas (GAO). Os nove níveis e a maturidade que eles representam podem ser observados na figura 3.1.

Os dois níveis iniciais (TRL-1 e TRL-2) têm a pesquisa aplicada como principal foco. Os princípios básicos da nova tecnologia são observados e então é formulada uma aplicação prática dos resultados, ainda em fase especulativa, sem provas experimentais para apoiar a hipótese.

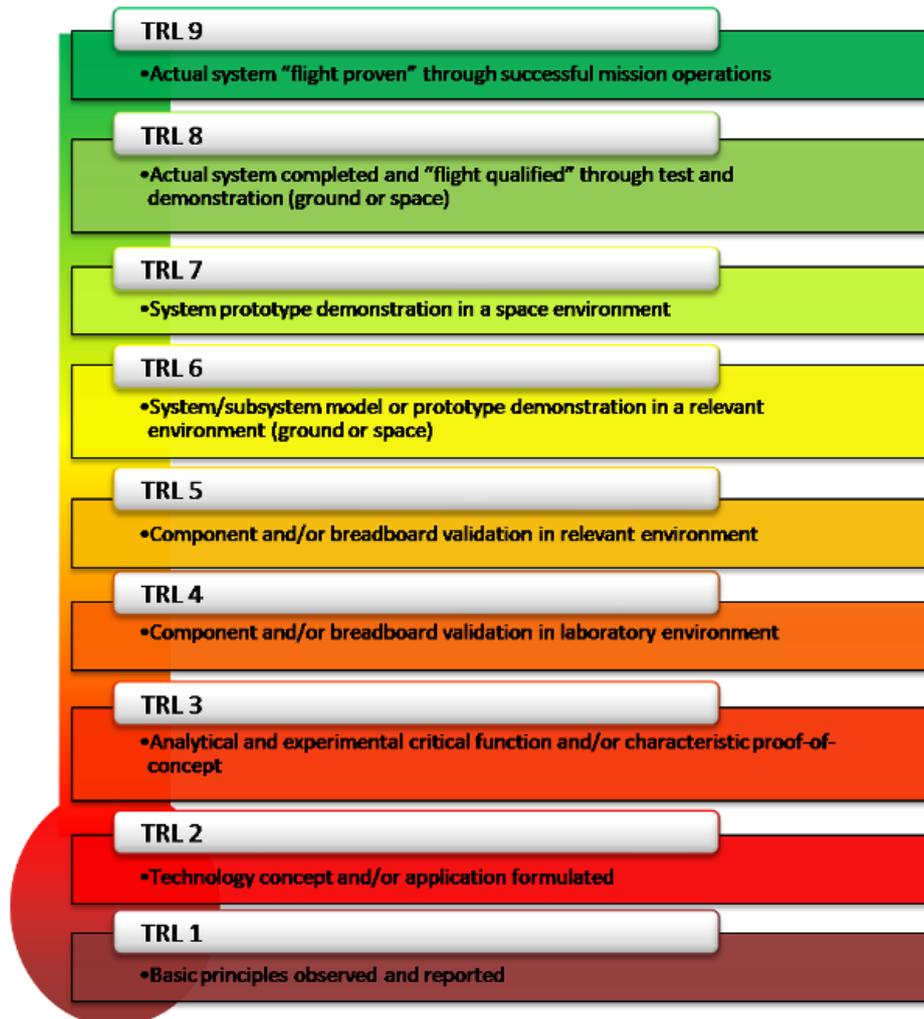
No TRL-3 e TRL-4, estudos analíticos e laboratoriais provam as premissas da pesquisa realizada. Um estudo é feito para demonstrar a viabilidade do projeto e validações das principais funcionalidades.

No quinto nível (TRL 5) o foco é acrescentar fidelidade aos resultados dos testes da tecnologia. A tecnologia passa a interagir com um ambiente mais realista.

A partir do sexto nível (TRL-6) até o oitavo (TRL-8), a tecnologia passa por demonstrações em um ambiente próximo ao operacional, no caso de tecnologias espaciais: em voo.

Por fim o maior nível de maturidade (TRL-9), compreende as tecnologias que já voaram com sucesso em missões operacionais.

Figura 3.1 – Os nove níveis de maturidade tecnológica.



Fonte: NASA

Apesar de não ter o foco de atribuir medidas de risco tecnológico, esse indicador é bem útil no gerenciamento do programa e como parâmetro para a estimativa de riscos do projeto, já que uma tecnologia madura apresenta menos riscos de falha.

Existem algumas variações quanto à definição dada aos nove níveis de maturidade, que embora sutis, devem ser consideradas. Dentre as principais estão as definições adotadas pela DoD, NASA, ESA e, recentemente, esforços foram aplicados para uma padronização pela ISO.

Dentre as definições disponíveis, optou-se por descrever as definições da DoD devido a sua compatibilidade com a ferramenta TRL Calculator que será adotada como referência para o framework proposto. A descrição dos nove níveis está disponível na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Descrição dos níveis de maturidade tecnológica.

TRL	Descrição	Conceito
1	Princípios básicos observados e reportados	É o nível mais baixo da escala, com pesquisa básica buscando entender fenômenos
2	Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulado	Nesse nível as aplicações ainda estão no nível especulativo, sem nenhuma prova experimental ou análise detalhada
3	Funções analíticas e experimentais críticas e/ou prova de conceito	Nesse nível é necessário efetuar provas tanto analíticas quanto experimentais para confirmar o conceito da tecnologia.
4	Validação de componente e/ou conjunto em ambiente de laboratório	Os elementos tecnológicos básicos de uma invenção devem ser integrados em laboratório para estabelecer quais são as partes que deverão trabalhar em conjunto para atingir o nível de desempenho. A validação nesse nível ainda é "lowfidelity", quando comparada com as eventuais aplicações a serem desenvolvidas.
5	Validação de componente e/ou conjunto em ambiente relevante	A fidelidade dos testes de componentes ou conjuntos aumenta significativamente, com grau razoável de realismo. A integração dos elementos tecnológicos básicos de sistemas, subsistemas e componentes são testados num ambiente simulado ou próximo do real. Mais de uma tecnologia pode ser demonstrada.
6	Modelo de sistema/subsistema ou demonstração de protótipo em ambiente relevante	Nesse nível, se o único ambiente relevante é o ambiente espacial, o modelo ou protótipo deve ser demonstrado no espaço. Esse nível é direcionado para assegurar confiança do ponto de vista gerencial. A demonstração pode representar uma aplicação real ou pode ser apenas similar a aplicação planejada, mas usando as mesmas tecnologias.
7	Demonstração de protótipo no ambiente operacional esperado	Atingir esse nível requer um protótipo do sistema real demonstrado no ambiente operacional. O sistema deve ser próximo ao real ou em escala do projetado para operação. Indica sucesso na demonstração da maioria das funcionalidades definidas como essenciais.
8	Sistema real completo e qualificado por meio de testes e demonstração	Por definição, todas as tecnologias sendo aplicadas em sistemas reais estão nesse nível. É o caso também de tecnologias sendo inseridas em sistemas já existentes.
9	Prova de voo do sistema real por meio de missões bem-sucedidas	Por definição, todas as tecnologias que atingiram o nível 8, podem ir eventualmente para o nível 9, mas na maioria dos casos, a solução dos últimos "bugs" de um verdadeiro "desenvolvimento de sistema" não ocorrem na entrega do primeiro sistema real. O amadurecimento nesse nível só ocorre com o uso. A diferença entre os níveis 8 e 9 está na operação.

Fonte: Adaptada de Mankins (2009b)

3.1.1. Limitações do Indicador TRL

Embora o indicador TRL indique o nível de maturidade da tecnologia no momento de medição, ele não tem o objetivo de especificar a dificuldade ou esforço necessário para se chegar ao próximo nível.

O indicador TRL também não fornece um método padronizado e reproduzível para calcular o nível alcançado por uma dada tecnologia. Existem algumas ferramentas que auxiliam na avaliação, como o TRL Calculator (NOLTE et al., 2003) e o processo de referência DoD Deskbook (DoD, 2009). Apesar disso, os critérios de decisão usados para classificar o nível TRL ainda dependem dos avaliadores, o que torna a avaliação demasiadamente subjetiva.

Alguns aspectos que interferem na maturidade da tecnologia não são cobertos pelo indicador TRL. Dentre esses aspectos está a maturidade de integração com outras tecnologias. Isso significa que tecnologias com um índice razoável de TRL podem retroceder de nível quando operando em conjunto com determinadas tecnologias. Devido a isso, a avaliação de maturidade usando a métrica TRL deve ser acompanhada de uma observação do ambiente tecnológico em que ela foi integrada durante a avaliação em comparação ao ambiente em que irá operar.

3.2. Outros Indicadores

O indicador TRL é uma métrica independente usada como base para outros indicadores e como parâmetro para diversos processos de avaliação de programas de desenvolvimento e/ou aquisição. Quando usados em processos mais abrangentes que incluem gerenciamento de riscos, por exemplo, outros indicadores são incorporados à avaliação para sanar as limitações do TRL mencionadas na seção 3.1.1. As seções seguintes listam os mais comuns.

3.2.1. R&D3

Research and Development Degree of Difficulty (R&D3) é uma métrica que considera os obstáculos que uma nova tecnologia pode encontrar durante seu processo de amadurecimento. Esse indicador leva em conta os riscos de uma inovação tecnológica estacionar em determinado nível de maturidade devido a fatores, naturais ou tecnológicos, que podem influenciar negativamente o processo de evolução da tecnologia (MANKINS, 1998).

Os cinco níveis desse indicador são descritos a seguir na tabela 3.2, sendo o primeiro nível o de menor grau de dificuldade e o quinto nível o grau mais alto de dificuldade.

Tabela 3.2 – Descrição dos níveis de R&D3

R&D3	Descrição
1	É esperado um grau muito baixo de dificuldade para atingir os objetivos definidos na P&D. A probabilidade de sucesso com esforços normais de P&D é de 99%
2	É esperado um grau de dificuldade moderado para alcançar os objetivos definidos na P&D. Probabilidade de sucesso 90%
3	É esperado um alto grau de dificuldade para atingir os objetivos definidos na P&D. Probabilidade de sucesso de 80%
4	É esperado um grau de dificuldade muito alto para atingir os objetivos definidos na P&D. Probabilidade de sucesso de 50%
5	O grau de dificuldade em atingir os objetivos definidos na P&D é tão alto que depende de um avanço fundamental. Probabilidade de sucesso de 20 %

Fonte: Mankins (1998)

3.2.2. Integration Readiness Level

O indicador TRL estima a maturidade tecnológica de forma isolada e isso acaba distorcendo outras características de maturidade importantes como o nível de maturidade de integração (SAUSER et al., 2010). Essa avaliação é importante porque duas tecnologias podem apresentar o mesmo nível de TRL, enquanto uma pode ter

melhor integração com o sistema alvo que a outra. Esse é o objetivo do indicador IRL (Integration Readiness Level): avaliar a maturidade com que uma tecnologia interage no seu contexto tecnológico. O IRL tem a capacidade de diferenciar quando é apropriado a adoção de uma tecnologia com níveis menores de TRL em detrimento de tecnologias que, embora maduras, estão obsoletas e não se adequam quando incorporadas ao sistema.

O indicador IRL é baseado em um modelo de comunicação entre redes de computadores padronizado pela ISO, chamado Open Systems Interconnect (OSI). O modelo OSI padroniza a integração de diferentes redes de computadores, para que eles possam estabelecer uma comunicação. O que o IRL faz é abstrair esse conceito para aplicá-lo na integração entre duas tecnologias distintas. Esse exercício pode ser notado na comparação feita na tabela 3.3 que contém os conceitos abstraídos do modelo OSI e a descrição do nível de integração IRL correspondente.

No modelo OSI existem sete camadas para realizar a integração, o que era satisfatório para o indicador IRL quando o TRL também possuía apenas sete níveis de maturidade. Entretanto, quando o nível de maturidade TRL passou a ir além da fase de desenvolvimento, com mais dois níveis abrangendo verificação em ambientes operacionais, também houve a necessidade de incluir mais dois níveis de IRL. Os níveis adicionais 8 e 9 são derivadas do TRL e tem como foco a demonstração de integração com o sistema em missões operacionais.

Tabela 3.3 – Comparação entre o modelo OSI e os nível IRL.

Nível	Modelo OSI	Nível IRL
9	-	Integração provada por meio de missões operacionais bem-sucedidas.
8	-	Integração completa e qualificada em missão por meio de testes e demonstração no ambiente do sistema
7	Verificado e Validado	A integração das tecnologias foi verificada e validada com detalhe suficiente para exercer a funcionalidade.
6	Aceitação, tradução e	As tecnologias em integração conseguem aceitar,

Nível	Modelo OSI	Nível IRL
	estruturação da informação	traduzir e estruturar informações para a sua aplicação pretendida
5	Controle	Há um controle suficiente entre as tecnologias necessárias para estabelecer, gerir e terminar a integração
4	Qualidade e Garantia	Há detalhes suficientes na qualidade e na garantia da integração entre as tecnologias
3	Compatibilidade	There is compatibility (i.e. common language) between technologies to orderly and efficiently integrate and Interact
2	Interação	Há um certo nível de detalhamento para caracterizar a interação (influencia entre elas) entre as tecnologias através da sua interface.
1	Interface	Uma interface (ligação física) entre tecnologias identificada com detalhe suficiente para permitir a caracterização da relação.

Fonte: Adaptada de Sauser et al. (2010)

3.2.3. System Readiness Level

O passo seguinte em um processo de avaliação de maturidade é a avaliação do sistema como um todo. O System Readiness Level (SRL) é um índice de maturidade aplicado ao nível de sistema, relacionando os indicadores de maturidade tecnológica TRL de cada componente ou subsistema e o nível IRL nos pontos de integração entre eles (SAUSER et al., 2006).

O método para o cálculo do índice SRL pode ser dividido em três passos. Primeiro, é usado uma matriz de uma única coluna $TRL_{n,1}$ para comportar os valores de TRL de cada tecnologia integrante do sistema, onde n é o número de tecnologias que compõe o sistema:

$$[TRL]_{n \times 1} = \begin{bmatrix} TRL_1 \\ TRL_2 \\ \dots \\ TRL_n \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

O segundo passo é criar uma matriz quadrada ($n \times n$) relacionando os níveis de integração (IRL) entre os componentes do sistema. Essa matriz é definida em (3.2), onde cada célula $IRL_{i,j}$ corresponde ao valor IRL de integração entre os componentes i e j . Quando um componente não interage diretamente com outro, é assumido como tendo o valor máximo de IRL.

$$[IRL]_{n \times n} = \begin{bmatrix} IRL_{11} & IRL_{1,2} & \dots & IRL_{1n} \\ IRL_{21} & IRL_{22} & \dots & IRL_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & IRL_{3n} \\ IRL_{41} & IRL_{42} & \dots & IRL_{4n} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

A matriz resultante do produto das matrizes (3.2) e (3.1) conterá os índices de maturidade da tecnologia dentro do sistema analisado. Para que o resultado apresente maior precisão, os valores de TRL e IRL podem ser normalizados no intervalo de 0 a 1.

$$[SRL]_{n \times 1} = [IRL]_{n \times n} \times [TRL]_1 \quad (3.3)$$

A partir da matriz resultante (3.3), é possível identificar o valor de maturidade que cada tecnologia apresenta dentro do sistema, e ações pontuais, como substituir ou manter determinados componentes, podem ser tomadas. Por fim, a estimativa global de maturidade do sistema pode ser obtida pela fórmula normalizada:

$$SRL = \frac{\left(\frac{SRL_1}{n} + \frac{SRL_2}{n} + \dots + \frac{SRL_n}{n}\right)}{n} \quad (3.4)$$

3.3. TRL Calculator

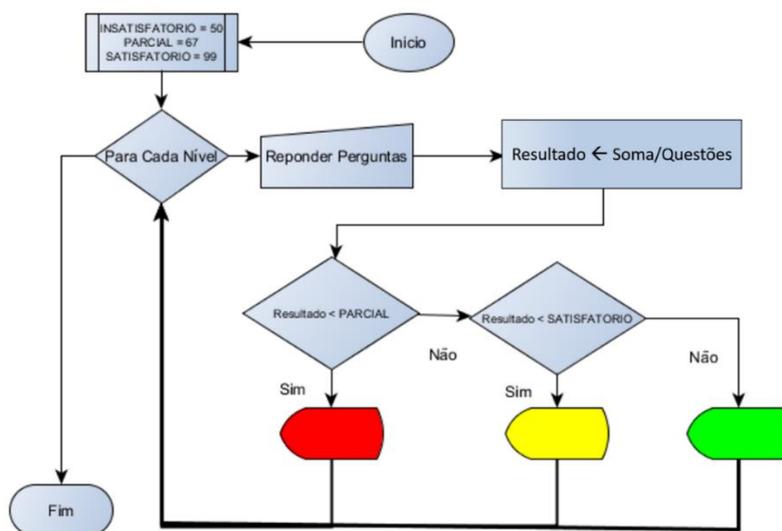
Dentre as ferramentas e processos de medição do nível TRL, optou-se por descrever o TRL Calculator por apresentar um modelo simples e abrangente de classificar níveis de maturidade tecnológica. O TRL Calculator é uma ferramenta de cálculo do nível TRL

que fornece uma visão do estado atual de maturidade da tecnologia (NOLTE et al., 2003).

Implementado em uma planilha MS Excel®, o TRL Calculator consiste em um conjunto de perguntas sobre todas as fases da tecnologia sob avaliação. Essas questões podem ser vistas no [anexo A](#). Algumas questões são específicas à tecnologia baseada em software outras em hardware e ainda outras aplicáveis a ambas. As respostas podem ser percentuais, indicando o progresso atual de cada item. Com base nas respostas dos itens aplicáveis à tecnologia, um algoritmo se encarrega de indicar qual o nível de TRL mais apropriado.

O algoritmo de classificação, exemplificado na figura 3.2, consiste em avaliar se as respostas foram satisfatórias para atender ao respectivo nível de maturidade do indicador TRL. O resultado é apresentado em cores para cada um dos nove níveis. Se o nível não apresenta nenhuma cor, significa que a avaliação ainda não foi feita. A cor vermelha indica que as respostas não foram suficientes para alcançar o nível. A cor amarela requer que o avaliador da tecnologia pondere se os itens que faltam são ou não relevantes e, dessa forma, admitir se a tecnologia atingiu o nível. A cor verde indica que a tecnologia atingiu o respectivo nível de maturidade.

Figura 3.2 – Fluxograma do algoritmo de decisão do nível TRL.



Fonte: Adaptada de Nolte (2003)

O TRL Calculator é uma ferramenta que fornece um método padronizado e reproduzível do cálculo de TRL para novas tecnologias de hardware e software. Esse é um importante passo para diminuir o problema de subjetividade de avaliação citado anteriormente, pelo fato de apresentar itens ou pontos específicos em que a tecnologia precisa ser avaliada.

Além de mensurar a dimensão TRL de hardware e/ou software, ainda há a opção de levar em consideração o nível de PRL (Programatic Readiness Level) que abrange interesses gerenciais do programa, e o MRL (Manufacturing Readiness Level) que permite avaliar riscos no processo de manufatura.

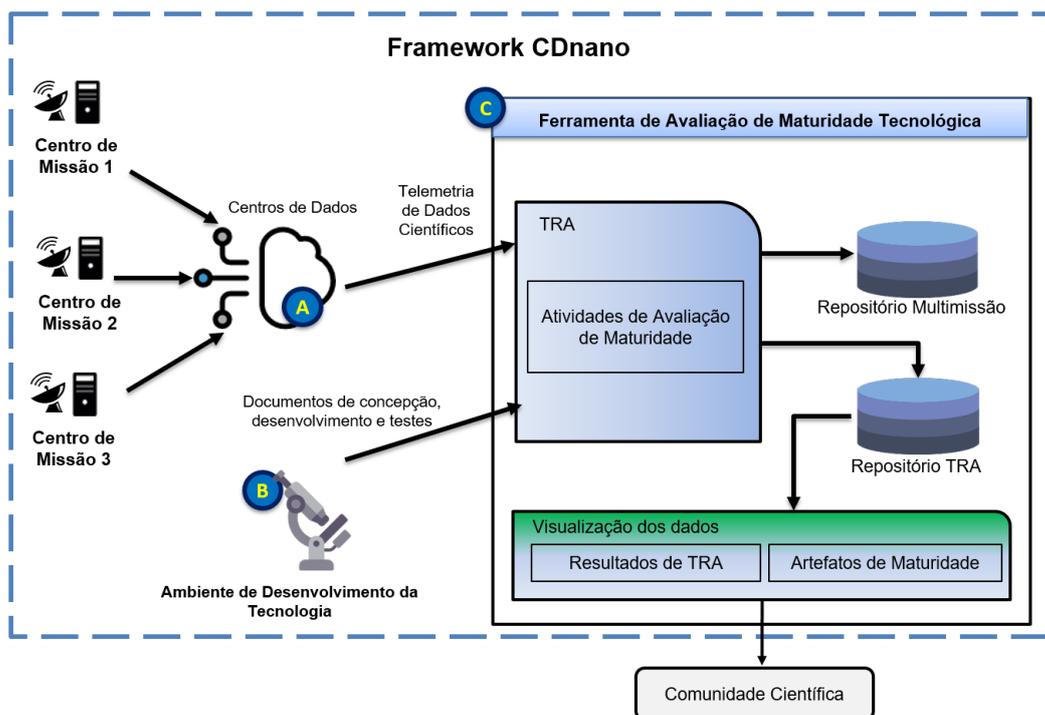
4 FRAMEWORK DE CENTRO DE DADOS – CDnano

Uma vez exposta a importância de submeter tecnologias espaciais experimentais, embarcadas em pico e nanossatélites, a um processo de avaliação de maturidade, este trabalho propõe um framework de Centro de Dados para apoiar a avaliação de maturidade tecnológica e documentar sua evolução.

4.1. CDnano como Framework

O framework proposto, denominado CDnano, agrega a dimensão de avaliação tecnológica ao conceito tradicional de Centro de Dados (NOVAIS; MATIELLO-FRANCISCO, 2016). A figura 4.1 proporciona uma visão geral dos três componentes que integram o framework: (A) os Centros de Missões de nanossatélites que possuem experimentos tecnológicos em qualificação; (B) o ambiente de desenvolvimento de uma nova tecnologia espacial; e (C) uma ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica capaz de calcular e classificar o nível de TRL de uma tecnologia.

Figura 4.1 – Visão geral dos componentes do CDnano.



Fonte: Produção do Autor

No contexto de missões científicas e tecnológicas de nanossatélites, a integração entre Centros de Missões (A), o ambiente de desenvolvimento da tecnologia (B) e um processo de avaliação de maturidade tecnológica (C), permite ao pesquisador responsável realizar sucessivas avaliações do desempenho da tecnologia a bordo de uma ou mais missões espaciais.

O apoio que o framework visa conceder ao pesquisador está na disponibilização dos resultados obtidos em testes laboratoriais e dados de desempenho registrados pela tecnologia durante voo. Tais informações em conjunto, oferecem insumos ao pesquisador para realizar o processo de avaliação de maturidade tecnológica resultando na produção de artefatos.

Outra característica do framework é a redução da subjetividade dos critérios utilizados durante a avaliação que existe a partir da perspectiva de um terceiro interessado na maturidade de uma tecnologia inovadora. A abordagem sugerida para reduzir esse tipo de subjetividade é documentar a justificativa relacionada às classificações. O framework CDnano atende a esse requisito por reunir artefatos que comprovam a maturidade de uma tecnologia por meio de uma ferramenta de avaliação que explicita o método utilizado durante a avaliação. Dessa forma, o experimento passa a possuir um histórico da forma e dos critérios utilizados durante uma avaliação.

As seções seguintes descrevem cada um dos componentes do framework CDnano.

4.1.1. Componente Centros de Missões

Os Centros de Missões de nanossatélites são importante fonte de dados científicos e operacionais que se tornam evidências de maturidade nos níveis de TRL mais altos, a partir do TRL-6. Esses dados científicos e de operação provenientes das missões de nanossatélites em que o experimento voou são importados para a ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica de modo que essa possa funcionar também como um repositório de dados multimissão com os dados relevantes sobre o desempenho da tecnologia.

Os dados de telemetria de sobre a saúde operacional do nanossatélite onde a tecnologia voou, podem ser considerados relevantes por esses justificarem o contexto sob o qual a tecnologia obteve determinado desempenho.

4.1.2. Componente Ambiente de Desenvolvimento da Tecnologia

O componente Ambiente de Desenvolvimento da Tecnologia compreende todo e qualquer ambiente que possua artefatos que expressam a maturidade tecnológica nas fases de concepção, desenvolvimento e testes laboratoriais. Esse ambiente pode compreender desde o computador do responsável pela tecnologia até um laboratório de testes, e.g. Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE.

Esse componente contém informações essenciais aos primeiros níveis de TRL. A partir dele a ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica pode importar informações que caracterizam o experimento alvo, por exemplo, seu nome, dimensões, objetivo do experimento e qualquer outra especificação pertinente. O [apêndice A](#) contém a descrição de outros documentos de hardware e software pertinentes para avaliação de maturidade da tecnologia que são encontrados dentro desse componente.

4.1.3. Componente Ferramenta de Avaliação de Maturidade Tecnológica

A ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica é o componente chave do framework CDnano. Esse componente é responsável pelo processo de avaliação de desempenho da tecnologia e classificação do nível TRL apropriado.

O processo de avaliação de maturidade tecnológica (TRA) é iniciado pelo pesquisador responsável sempre que julgar necessário. Consiste em um método reprodutível para classificar o estado atual de cada um dos nove níveis do indicador TRL que a tecnologia se encontra.

O método de avaliação depende diretamente dos documentos produzidos durante as fases de concepção, desenvolvimento e testes da tecnologia e dos dados obtidos sobre o desempenho da tecnologia em seu ambiente de operação.

4.2. Protótipo do CDnano

Um protótipo do CDnano foi desenvolvido como prova de conceito do framework proposto, tendo como alvo um caso real de tecnologia em qualificação no espaço.

No protótipo do CDnano, os componentes mencionados no subcapítulo anterior são instanciados, fornecendo uma configuração possível para o framework.

A tecnologia inovadora escolhida como alvo na prototipação do CDnano é o Field Programming Gateway Array (FPGA) do modelo ProASIC3E resistente a falhas provenientes de radiação. Um FPGA é um circuito integrado de hardware programável, que pode atender a diversos objetivos de acordo com sua programação (NATIONAL INSTRUMENTS, 2016). Esse FPGA em específico foi programado para desempenhar o papel de um processador de 32-bits baseado na arquitetura MIPS (Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages) e conta com um software desenvolvido no Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para protegê-lo de falhas causadas por radiação no espaço (DURÃO et al., 2014).

Durante a fase de concepção e desenvolvimento do software a ser embarcado no FPGA, diversos documentos e relatórios do seu desempenho em testes e simulações foram produzidos. Os principais foram destacados na tese de doutorado “Desenvolvendo e Avaliando Técnicas Híbridas para Detectar Falhas Transientes em Processadores Embarcados em FPGAs” (AZAMBUJA, J. R. F., 2013).

Os documentos produzidos dentro do Instituto de Informática da UFRGS configuram a universidade como o ambiente de desenvolvimento da tecnologia (B) dentro do framework CDnano. Entretanto, para acompanhar a evolução de maturidade dessa tecnologia é necessário demonstrar sua operação em órbita, ou seja, o ambiente espacial.

O FPGA com software resistente à falha por radiação foi uma das cargas úteis da missão NanosatC-BR1. O NanosatC-BR1 ainda transmite, até a presente data, dados às estações terrenas do Centro Regional Sul do INPE, localizada na cidade de Santa Maria,

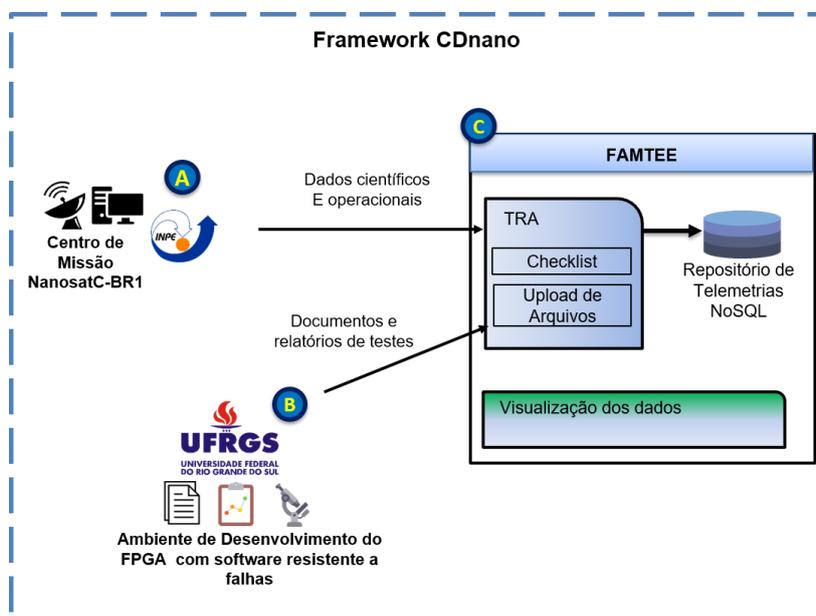
Rio Grande do Sul que opera em coordenação com a Estação Terrena do INPE-ITA, localizada em São José dos Campos, São Paulo.

Os dados científicos das cargas úteis do NanosatC-BR1 recebidos, desde seu lançamento em Junho 2014, são armazenados no Centro de Missão do NanosatC-BR1, juntamente com os dados de operação do satélite, os quais são disponibilizados para a comunidade científica da missão. Assim, o Centro de Missão do NanosatC-BR1 é considerado uma instância do componente de Centros de Missões (A) do framework CDnano, fornecendo dados relevantes os níveis de TRL a partir do TRL-6.

O componente chave (C) que integra a configuração do protótipo do CDnano, é implementado por uma ferramenta desenvolvida pelo autor, denominada FAMTEE. A ferramenta FAMTEE integra os dados obtidos durante as fases iniciais de desenvolvimento da tecnologia com os dados de desempenho obtidos durante seu voo na missão NanosatC-BR1. Detalhes sobre a construção e o método de avaliação empregado na ferramenta FAMTEE são abordados no capítulo 5.

Uma visão integrada dos componentes instanciados no protótipo do framework CDnano é apresentada pela figura 4.5.

Figura 4.2 – Protótipo do CDnano aplicado ao FPGA com software de resistência a falhas.



Fonte: Produção do autor.

5 FAMTEE: Projeto e Arquitetura do Software

A ferramenta denominada FAMTEE consiste de um sistema de software concebido no contexto desse trabalho para apoiar a avaliação de maturidade tecnológica de experimentos embarcados em nano satélites. Trata-se de uma instância do componente **C** do framework – uma ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica. A fim de melhor descrever as funcionalidades da FAMTEE e o projeto do sistema de software propriamente dito, esse capítulo apresenta alguns diagramas que detalham aspectos arquiteturais da FAMTEE e tecnologias adotadas no seu desenvolvimento.

A ferramenta é implementada por um sistema de software capaz de armazenar e compartilhar (a) as informações sobre novas tecnologias voando em diferentes missões, (b) os dados que elas geram em cada missão e (c) os artefatos de maturidade que documentam a evolução de maturidade tecnológica que elas alcançaram.

O código fonte do software, escrito na linguagem Java, está disponível em <https://github.com/anovais/famtee> acompanhado de sua documentação.

5.1. Tecnologias Aplicadas no Desenvolvimento

A principal tecnologia aplicada no desenvolvimento da FAMTEE foi a plataforma Java. A plataforma Java foi escolhida por proporcionar desenvolvimento de aplicações robustas na web com uso de bibliotecas que aumentam a produtividade, e possuir o apoio de uma grande comunidade de desenvolvedores ao redor do mundo.

As tecnologias compatíveis com a plataforma Java aplicadas durante o desenvolvimento da ferramenta FAMTEE estão resumidas na tabela 5.1 para melhor visualização.

Tabela 5.1 – Tecnologias utilizadas no desenvolvimento da ferramenta FAMTEE.

Tecnologia	Descrição
Spring MVC	Um framework para desenvolvimento de aplicações web que aplica o padrão arquitetural de segregação de camadas lógicas entre apresentação ao usuário, modelo do domínio e regras de negócio e controle ligando os dois. Encapsula a complexidade da camada de internet nas aplicações web. Além disso contém diversos componentes vitais para produtividade na implementação do código, como injeção de dependência, componentes de segurança digital e validação (SOUZA, 2015).
Hibernate	Um framework ORM (Object Relational Mapping) que atua na camada de persistência dos dados. Realiza o mapeamento entre os domínios de um software orientado a objetos e um banco de dados relacional. É a implementação mais comum da especificação Java Persistence API, conhecida como JPA (COELHO, 2013).
Maven	Ferramenta que automatiza a compilação de projetos de software. O maven controla as dependências do projeto, bibliotecas utilizadas durante o desenvolvimento. Uma importante ferramenta que auxilia na construção e gerenciamento do software (APACHE, 2017).
MongoDB	É uma base de dados NoSQL (Not only SQL) que quebra o paradigma relacional da maioria dos banco de dados. Armazena os dados em coleções de documentos JSON (Java Script Object Notation). Não está limitado a uma estrutura de tabelas previamente definida como é o caso de bancos de dados relacionais. Isso significa que não precisamos definir os tipos de dados que serão armazenados em uma coleção. Essa tecnologia foi utilizada para armazenar as telemetrias recebidas das missões de nanossatélite de forma natural e flexível em tempo de execução (MONGODB, 2017).
MySQL	Um sistema gerenciador de banco de dados relacional utilizada na camada de persistência de dados para armazenamento das informações do sistema de uma forma geral (ORACLE, 2017).
Apache Tomcat	Um servidor de aplicações web desenvolvido para a plataforma Java. Um container para atender requisições da internet (APACHE, 2017).
GitHub	Um serviço de hospedagem de aplicações. Usado para controlar o versionamento do software (GitHub, 2017).
Eclipse IDE	Ambiente integrado para desenvolvimento de software. Oferece interface gráfica para auxiliar a codificação do software (ECLIPSE, 2017)

Fonte: Produção do autor.

5.2. Método de Avaliação

O método de avaliação implantado na FAMTEE consiste em um conjunto de questões relevantes ao progresso da tecnologia em avaliação. Assim como nas definições aplicadas pela DoD, apresentadas no capítulo 3, a avaliação é baseada numa dicotomia de tecnologias sendo elas: hardware e software (ASDRE, 2011). A ferramenta TRL Calculator, serviu de referência para as diversas questões consideradas durante o processo de avaliação. O método procurou abstrair os pontos essenciais abordados pelo TRL Calculator que estão diretamente relacionados a cada nível e fazer uma adaptação em termos de formato para que as respostas a algumas interrogações fossem expressas em forma documental. Assim todas as questões consideradas pelo protótipo existem na ferramenta TRL Calculator.

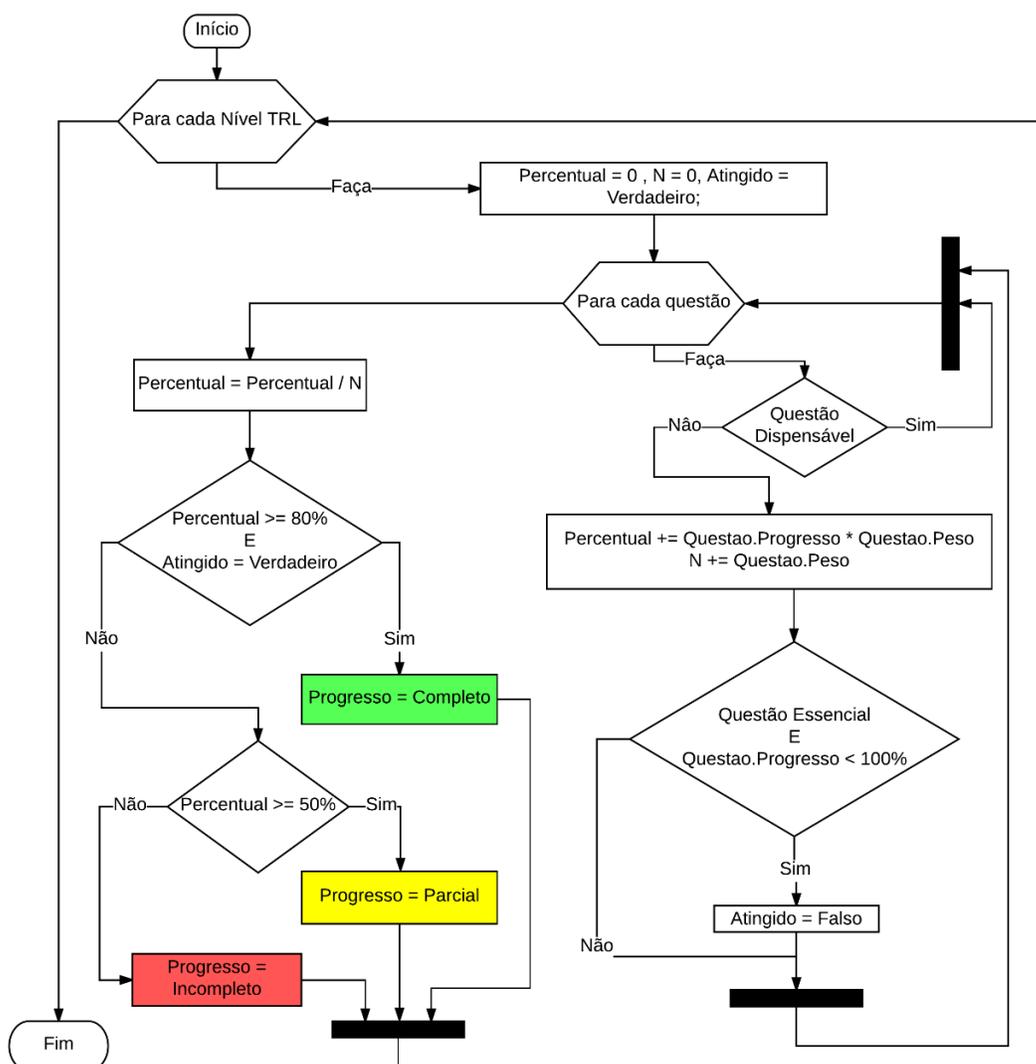
A principal adaptação realizada no conjunto de questões está na preferência pelo uso de questões abertas no lugar de questões fechadas do tipo sim/não. A formulação das perguntas procura a construção usando a preposição ‘qu’ (*que, qual, quem, quando*). Perguntas abertas inclinam o avaliador a fornecer provas concretas que justifiquem as respostas (CHAGAS, 2000). Esse é um passo para acrescentar confiabilidade e diminuir subjetividade na avaliação TRL – evidências para compor uma documentação clara dos critérios avaliativos.

Cada conjunto de questões, juntamente com a essência do seu papel na determinação do nível TRL é descrito em detalhes no apêndice A. Uma questão possui três características: (1) o tipo de tecnologia a qual ela se aplica, (2) um peso que indica se ela é crítica, normal ou dispensável aquele respectivo nível, e (3) se um artefato de maturidade é necessário para responder de forma positiva. Os estados possíveis para cada questão são três:

- 1) Completamente atingido
- 2) Parcialmente atingida
- 3) Insatisfatório

Uma vez que a avaliação é submetida o algoritmo de classificação é iniciado. Cada nível pode assumir os mesmos três estados descritos no parágrafo anterior. A figura 5.1 mostra um fluxograma com o algoritmo responsável por determinar o estado de cada nível TRL.

Figura 5.1 – Algoritmo de classificação de nível TRL



Fonte: Produção do autor.

No fluxograma é possível observar a lógica para determinar cada nível de TRL. O percentual de completude do nível é a média ponderada das questões que não são dispensáveis dentro do respectivo nível. Caso uma questão considerada essencial não tenha sido respondida, o nível não poderá ser classificado como atingido. Com base no percentual e nas respostas positiva ou negativa aos itens essenciais, o algoritmo classifica se o progresso dentro daquele nível foi atingido, parcialmente atingido, ou insatisfatório.

O nível de maturidade assumido pela tecnologia passa a ser o maior nível TRL com o estado de atingido. Podemos visualizar na figura 5.2 o perfil da uma tecnologia com nível de maturidade TRL-5.

Figura 5.2 – Interface gráfica de perfil de tecnologia provida pela ferramenta FAMTEE.

The screenshot shows the FAMTEE interface with the following elements:

- Navigation Menu:** FAMTEE, Cadastrar Tecnologia, Listar Tecnologias, Cadastrar Missão, Listar Missões, Configuração.
- Callout:** Link para iniciar um novo processo de TRA
- Legend:** Não Avaliado (grey), Não Atingido (red), Parcialmente Atingido (yellow), Atingido (green), Avaliar.
- Technology Profile:**
 - Nome:** Sensor de Estrelas
 - Objetivo:** Dentro do Programa de Capacitação em Novos Satélites da Coordenadoria Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE), o projeto de Desenvolvimento de Sensores Eletro-Ópticos (SELOP) objetiva aumentar a capacitação da divisão em sensores para aplicação em futuros satélites. Dentre estes projetos o Sensor de Estrelas foi um subprojeto do SELOP. Foi desenvolvido um protótipo de laboratório, que voou a bordo de um balão estratosférico dentro da missão do telescópio MASCO.
 - Descrição:** O Sensor de Estrelas é um equipamento eletro-óptico usado na determinação de atitude de plataformas espaciais, cujos dados são utilizados essencialmente na recalibração de giroscópios através da correção dos erros causados pela deriva nas medidas desses equipamentos inerciais.
- TRL Levels List:**
 - TRL-1: Investigação básica ou ideia em desenvolvimento (Atingido)
 - TRL-2: Investigação suportada por um conceito tecnológico e/ou ideia de aplicação (Atingido)
 - TRL-3: Investigação suportada por um mínimo de experimentação (Atingido)
 - TRL-4: Validação dos componentes da tecnologia em ambiente de laboratório (Atingido)
 - TRL-5: Validação dos componentes da tecnologia em ambiente relevante (Atingido)
 - TRL-6: Demonstração da tecnologia em ambiente relevante (Parcialmente Atingido)
 - TRL-7: Demonstração do protótipo num ambiente operacional (Não Atingido)
 - TRL-8: Sistema real completo e qualificado em ambiente operacional através de testes e demonstrações (Não Avaliado)
 - TRL-9: Sistema real finalizado e qualificado por meio de operações com êxito em missões (Não Avaliado)
- Callouts:**
 - Download do artefato de maturidade associado (pointing to a download icon in the TRL-1 checklist)
 - Link para o Centro de Dados das Missões em que voou (pointing to the NANOSATC-BR1 mission card)

Fonte: Produção do autor

A figura 5.3 exemplifica uma missão de nanossatélite que faz uso do repositório multimissão associado à ferramenta.

Figura 5.3 – Interface gráfica de Centro de Dados provida pela ferramenta FAMTEE.

FAMTEE Cadastrar Tecnologia Listar Tecnologias Cadastrar Missão Listar Missões Configuração

NANOSATC-BR1

Resumo

Objetivo da Missão

O NANOSATC-BR1 tem a missão científica de coletar dados do Campo Magnético Terrestre principalmente na região da Anomalia Magnética da América do Sul ? AMAS e do setor Brasileiro do Eletrojato Equatorial Ionosférico. Para isso utilizará um magnetômetro de três eixos da empresa holandesa Xi - Xensor Integration (www.xensor.nl), modelo XEN-1210 com resolução de 15nT.

Nanossatelite 1.33 x 1.0 x 1.0 3.0kg

Visualizar detalhes

1 Payloads

Sensor de Estrelas

2 Instituições Participantes

INPE

UFSM

Botão para importar telemetrias da missão

Telemetrias

Telemetrias Upload de Telemetria

Início Fim Arquivo Expressão de Consulta

beacon_keys

Pesquisar

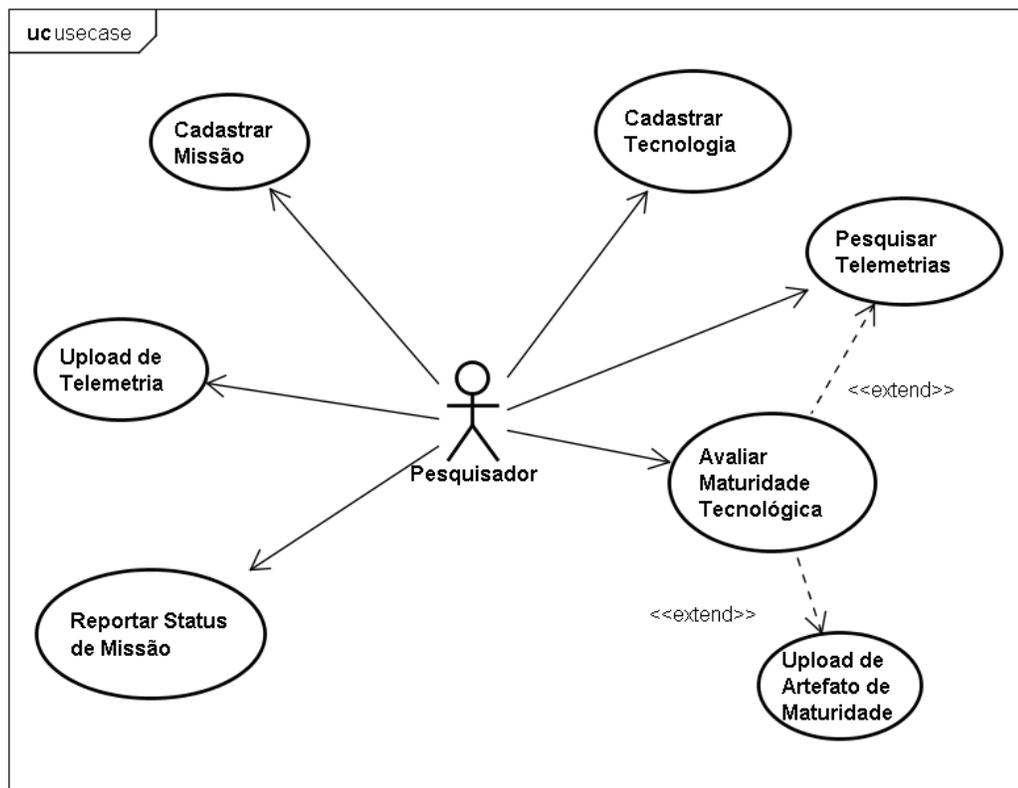
Pesquisa na base de dados de telemetrias

Fonte: Produção do autor

5.3. Visão de Casos de Uso

As funções implementadas pela ferramenta FAMTEE são representadas no diagrama de casos de uso o qual destaca as possíveis interações entre o sistema e seus usuários. No caso da FAMTEE, o pesquisador responsável pela tecnologia sob avaliação é considerado o principal usuário da ferramenta. O diagrama de casos de uso apresentado na figura 5.4 permite uma visão das funcionalidades do sistema disponíveis para o usuário pesquisador.

Figura 5.4 – Diagrama de caso de uso FAMTEE.



Fonte: Produção do autor

5.3.1. Cadastrar Missão

O pesquisador pode inserir uma nova missão de nanossatélite, sendo que no momento do cadastro esta pode estar ou não em operação. Quando uma tecnologia que integra a base de dados indicar que houve um voo em uma missão ainda não integrante do repositório local da FAMTEE, esta missão será automaticamente cadastrada. Dados como, nome, código da missão, categoria e dimensões do satélite e instituições envolvidas são solicitados ao usuário no processo de cadastro de uma nova missão de nanossatélite.

5.3.2. Cadastrar Tecnologia

O pesquisador insere as informações básicas que caracterizam a tecnologia embarcada em uma missão de nanossatélite para fins de qualificação em voo. A partir desse momento a tecnologia passa a ser identificada no sistema e sua evolução será rastreada pelo código informado, mesmo que a tecnologia ainda esteja em fase de desenvolvimento.

5.3.3. Upload de Telemetrias

O upload de telemetrias de nanossatélites em operação funciona de forma manual e é realizado pelo pesquisador. O pesquisador acessa a página da missão para obter o arquivo de telemetria de interesse que deverá estar no formato CSV (Comma-Separated Values). O sistema irá armazenar esses dados de forma indexada para viabilizar consultas customizadas a esses dados.

5.3.4. Pesquisar Telemetrias

Um usuário pode pesquisar telemetrias das missões de nanossatélites integradas à base de dados multimissão da FAMTEE. A busca é realizada por período (data início e data fim) e há filtros opcionais à consulta como tipo de arquivo e colunas requeridas.

5.3.5. Upload de Artefato de Maturidade

O pesquisador poderá realizar upload de arquivos com as extensões previamente definidas (.pdf .doc .png .jpeg .csv .ppt .txt. fits) a fim de comprovar a maturidade de algum nível de TRL.

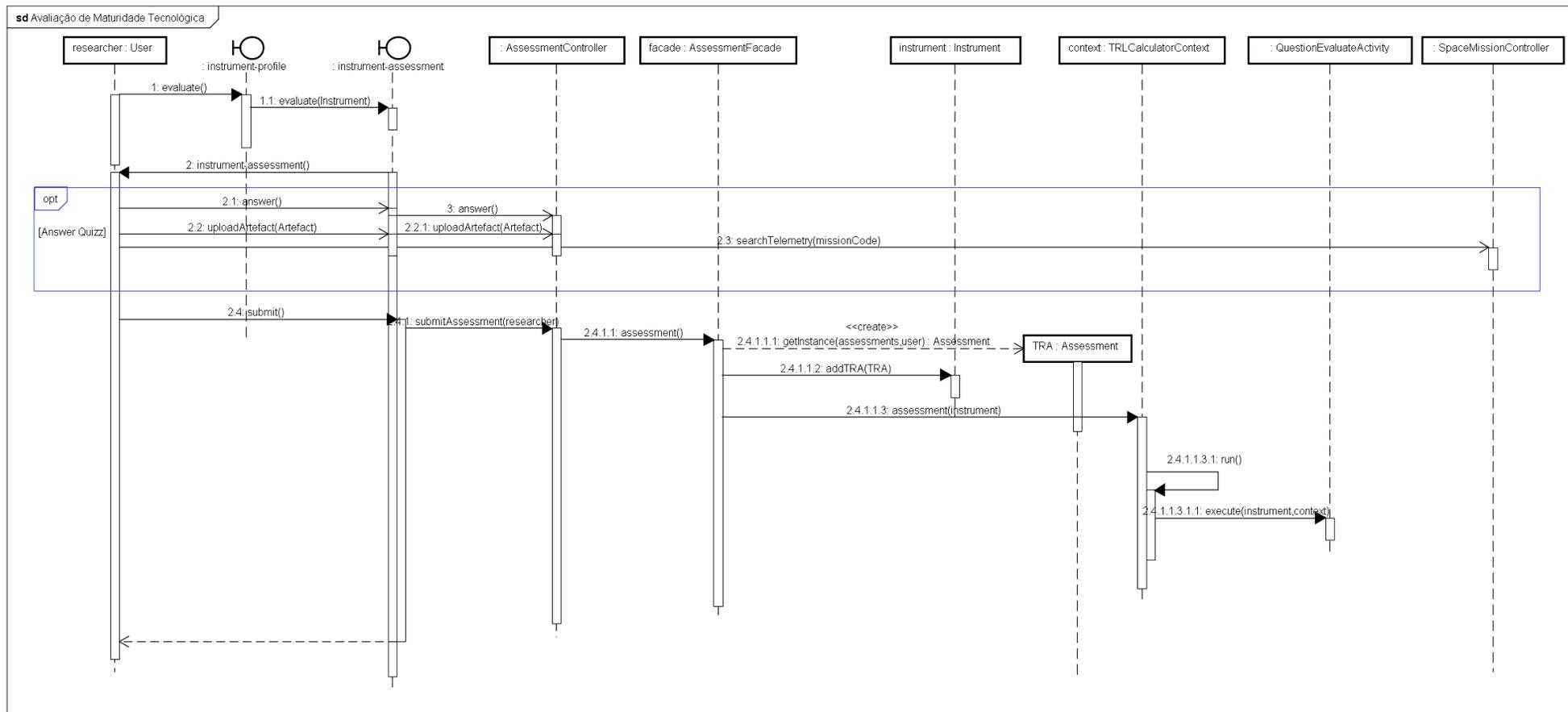
5.3.6. Avaliar Maturidade Tecnológica

Esse caso de uso representa o processo a avaliação de maturidade tecnológica de uma tecnologia específica. É a implementação do algoritmo que classifica o nível TRL em que tecnologia está. Ela pode incluir ou não uma pesquisa às telemetrias de alguma missão em que a tecnologia voou [Caso de uso 5.3.4] ou o upload de artefatos de maturidade [Caso de uso 5.3.5].

5.4. Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência tem o objetivo de detalhar um caso de uso modelando o fluxo de informações e interação do usuário durante sua execução. O caso de uso escolhido para essa diagramação é o de “Avaliar Maturidade Tecnológica” [Caso de uso 5.3.6] por ser um dos principais fluxos de interação do sistema. As entidades que aparecem nesse diagrama são abordadas na seção 5.5 - diagrama de classes.

Figura 5.5 – Diagrama de Sequência do caso de uso Avaliar Maturidade Tecnológica.



Fonte: Produção do autor.

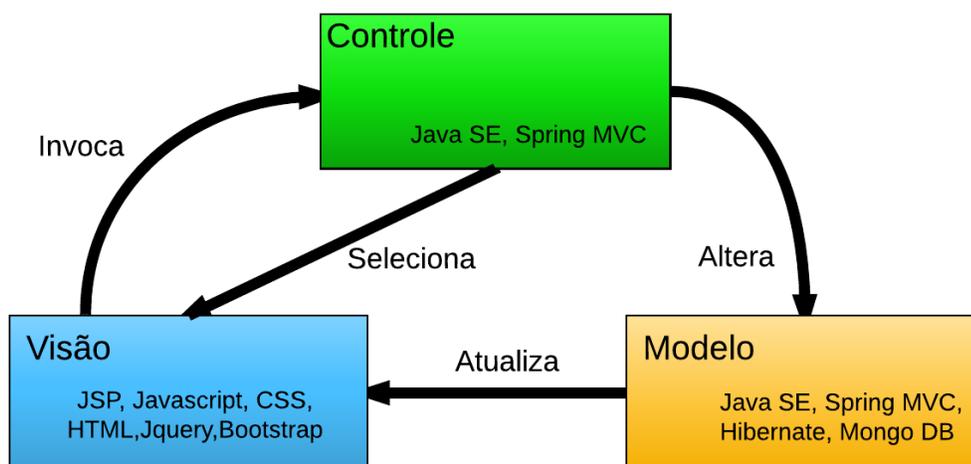
5.5. Visão Lógica

Esta seção descreve as partes significativas do ponto de vista de *design*, bem como a integração dos seus principais subcomponentes.

5.5.1. Visão Geral

O primeiro padrão arquitetural adotado durante o desenvolvimento da FAMTEE foi o padrão Model-View-Controller (MVC). Esse padrão divide a aplicação em três camadas lógicas. A camada de visão é responsável por apresentar os dados aos usuários por meio de interfaces gráficas. A camada de modelo contém as regras de negócio do domínio da solução. Por fim uma camada de controle para atende as ações do usuário, invoca as alterações no modelo e seleciona a próxima interface da camada de visão que deverá ser apresentada para o usuário (fig. 5.6).

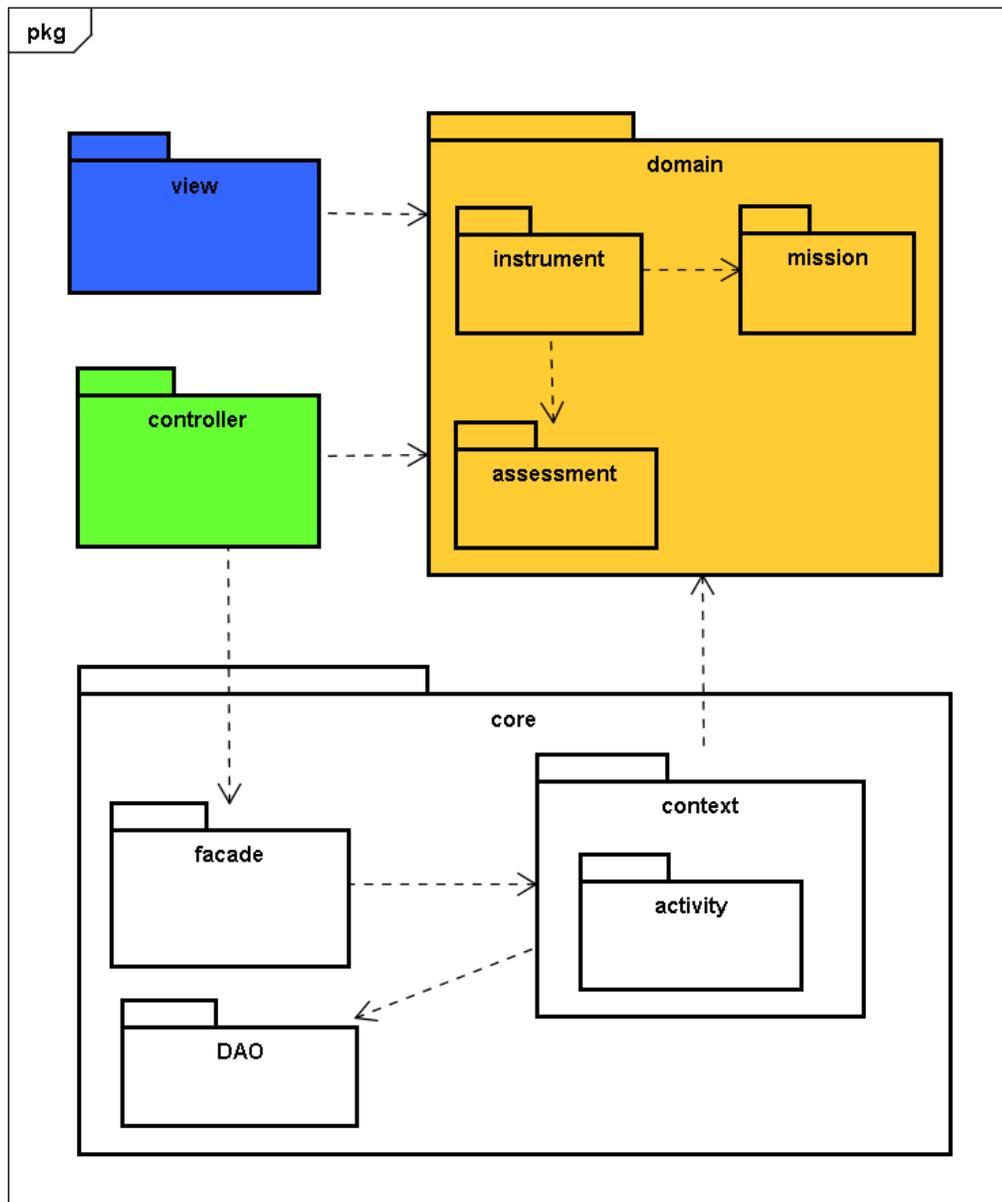
Figura 5.6 – Visão do padrão arquitetural MVC aplicado e suas respectivas tecnologias.



Fonte: Produção do Autor

A separação lógica em camadas de controle, visão e modelo pode ser visualizada na construção e relacionamento entre os pacotes da aplicação. A figura 5.7 é uma visualização macro dos principais pacotes. O padrão de cores é consistente com o usado na figura 5.6 no que se refere a sua responsabilidade.

Figura 5.7 – Visão macro dos pacotes de classes que compõe o design da ferramenta FAMTEE.

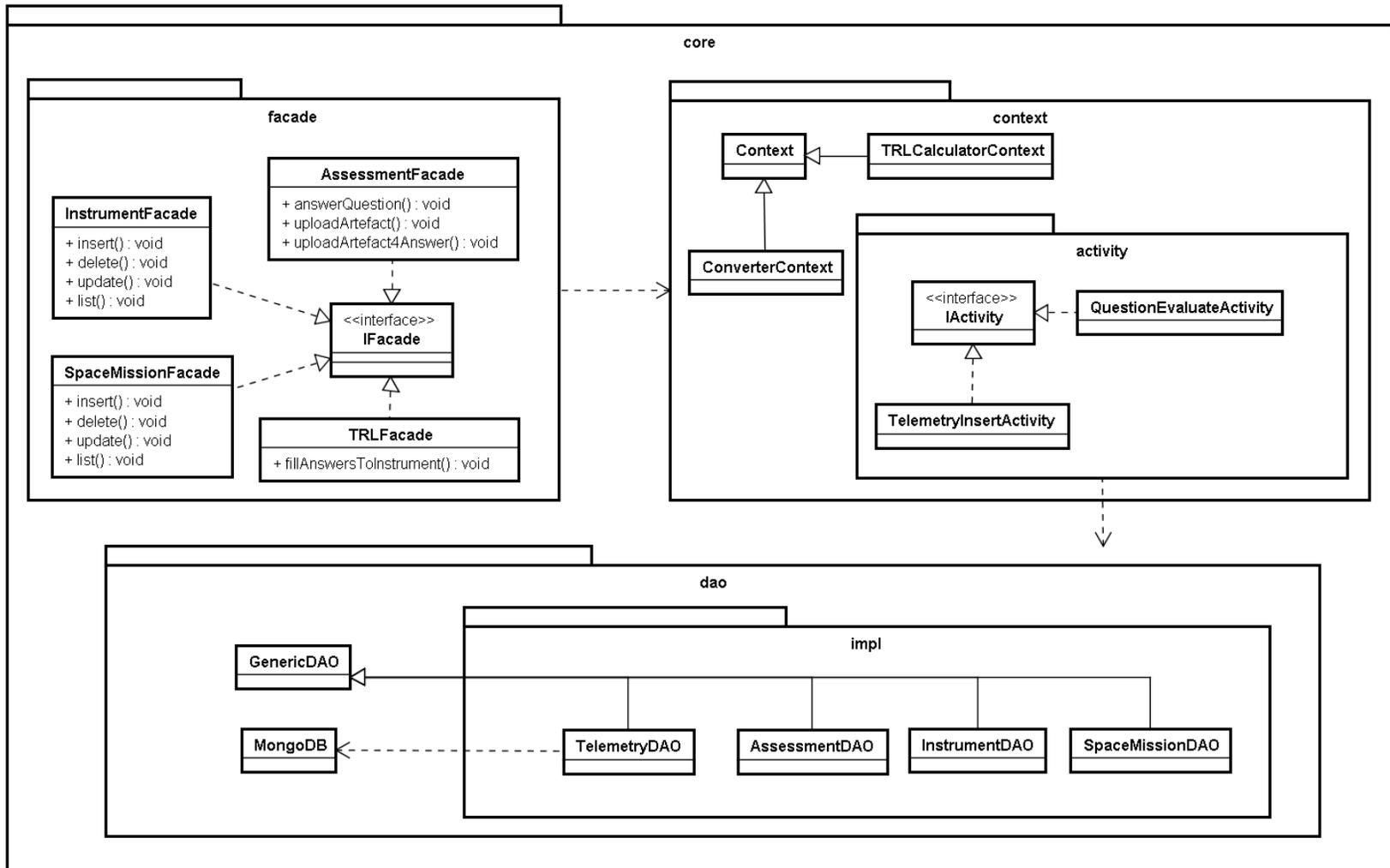


Fonte: Produção do autor.

5.5.2. Pacote Core

O pacote *core* representado comporta alguns padrões de projeto para modularizar e diminuir o acoplamento entre os pacotes. O pacote *core* é ampliado na figura 5.8 e descrito a seguir.

Figura 5.8- visualização do pacote *core* com seus principais componentes.



Fonte: Produção do autor.

5.5.2.1. Pacote Facade

Um dos padrões aplicados no protótipo FAMTEE é o design pattern *Facade*. Esse padrão permite oferecer interfaces mais simples que encapsulam ações de maior complexidade. Ele contribui para diminuir o acoplamento do sistema, ou seja, os módulos ganham mais independência. Isso ajuda a construir um software resistente a mudanças. Como se trata de um protótipo, é natural e até desejável que aconteça uma evolução ao decorrer do tempo. O baixo acoplamento entre as classes atenua os efeitos de uma possível customização.

5.5.2.2. Pacote Context

As fachadas, ou fachadas, dependem diretamente do pacote *contexto* para construir contextos de execução. Os contextos (pacote *context*) são uma espécie de script ou roteiro composto por diversas atividades (pacote *activity*) que devem ser executadas para alcançar um determinado objetivo. Por exemplo, cadastrar uma nova tecnologia no sistema envolve mais do que apenas inseri-la no banco de dados. Algumas atividades preliminares são necessárias, como uma verificação da unicidade do código da tecnologia, a criação da estrutura interna de pastas para armazenamento de artefatos, a primeira avaliação de maturidade tecnológica com todos os itens em branco, e assim por diante. Logo o contexto “inserir uma nova tecnologia” abrange diversas etapas ou *atividades*.

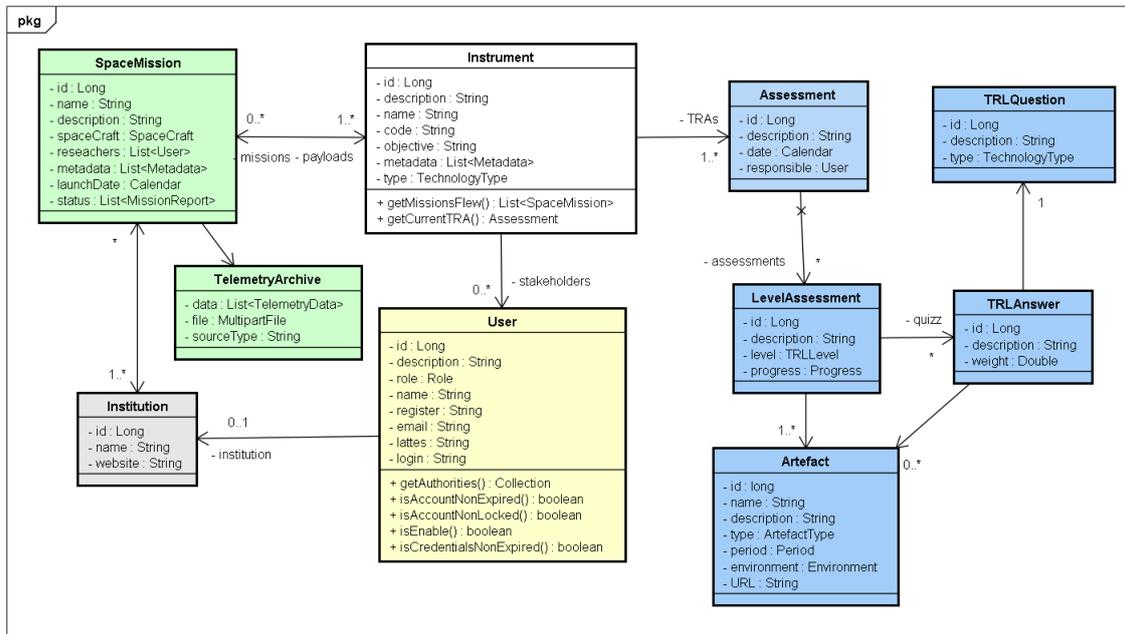
5.5.2.3. Pacote DAO

O padrão de projeto DAO (Data Access Object) visa encapsular a camada de persistência de dados da aplicação. Outra vez, o princípio envolvido é o de baixo acoplamento e alta coesão entre as classes. Isso significa que o acesso à base de dados é responsabilidade exclusiva das classes pertencentes a esse pacote.

5.5.3. Pacote Domain

O pacote *domain* contém as classes que modelam o domínio do problema. Para diagramar esse pacote foi escolhido o diagrama de classes resumido (fig 5.9). Esse diagrama contém as principais classes com os respectivos atributos que as compõem.

Figura 5.9 - Diagrama de classes do pacote *domain*.



Fonte: Produção do autor.

5.5.4. Pacote View

O pacote *view* compreende as interfaces gráficas da aplicação. Esse pacote contém todas as páginas de interação com o usuário.

6 CONCLUSÃO

Durante esse trabalho de pesquisa foi possível constatar a oportunidade que missões de nanossatélites têm proporcionado à comunidade na qualificação de tecnologias espaciais em voo. O baixo custo e ciclo de vida reduzido do padrão de plataforma Cubesat, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias espaciais inovadoras. Com mais tecnologias inovadoras em qualificação no espaço, maior o número de dados e mais relevante se faz o acompanhamento da evolução da maturidade que elas adquirem em voo.

A revisão das principais missões de nanossatélites com tecnologias em fase demonstração a bordo provou que acompanhar a evolução de uma tecnologia pode significar embarcá-la em mais de uma missão. Mostrou que os Centros de Missões são uma rica fonte de artefatos que comprovam o desempenho da tecnologia e que, portanto, deve ser parte integrante do processo de avaliação de maturidade.

O estudo do indicador TRL revelou que processos de avaliação de maturidade tecnológica precisam de critérios consistentes e bem documentados para aumentar a fidelidade da avaliação. Assim, decisões sobre o momento de adotar uma determinada tecnologia inovadora em sistemas espaciais operacionais, são acrescidas de grandes chances de sucesso.

O framework proposto CDnano buscou criar um ambiente integrado que atende plenamente ao processo de avaliação de maturidade tecnológica. Isso inclui desde o ambiente de concepção de desenvolvimento da tecnologia até os Centros de Missões de nanossatélites onde estão armazenadas evidências operacionais do comportamento da tecnologia em voo. Esses dois componentes são fontes de informações suficientes para classificação de nível TRL. O processo de avaliação padronizado e reproduzível é guiado pelo terceiro componente, a ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica.

A prototipação do CDnano permitiu demonstrar a efetividade do framework proposto. Em particular, a ferramenta FAMTEE, concebida para representar uma instância do componente Ferramenta de Avaliação de Maturidade Tecnológica, demonstrou aa

capacidade de documentar a evolução de uma tecnologia durante todo o seu ciclo de desenvolvimento. Essa capacidade da ferramenta se deve aos dois repositórios locais, um para armazenamento de artefatos de maturidade produzidos desde sua fase de concepção e outra multimissão para armazenar os dados relevantes sobre a tecnologia durante o voo em missões de nano satélites.

Conclui-se que o framework CDnano contempla todos os aspectos e ambientes necessários para acompanhar a evolução de maturidade tecnológica de experimentos espaciais que foram ou serão demonstrados em missões de nanosatélites.

6.1. Trabalhos futuros

O NanosatC-BR2 tem previsão de ser colocado em órbita ainda esse ano. Essa é uma excelente oportunidade para exercitar a interação entre os componentes e aplicar o protótipo do framework CDnano em uma segunda missão.

Dado a capacidade da ferramenta FAMTEE de armazenar dados científicos e operacionais de tecnologias em voo, pequenas adaptações podem ser feitas para atender a missões que não possuem Centro de Missão, as quais podem fazer uso do repositório multimissão provido pela FAMTEE. O pico satélite Tancredo-1, desenvolvido pela Escola Municipal Tancredo Neves da cidade de Ubatuba, São Paulo em parceria com o INPE, lançado no início de 2017, é um exemplo de missão que pode contar com esse repositório para coleta dos dados da missão.

Considerando que o framework CDnano é um protótipo de ambiente para avaliação de maturidade genérico, a instância do componente de Avaliação de Maturidade Tecnológica, FAMTEE, pode ser estendida para aceitar outro conjunto de questões ou mesmo outro método de avaliação. Outros algoritmos de avaliação poderão ser desenvolvidos. Esses podem ser tema de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENZIA SPAZIALE ITALIANA (ASI). **ASI Science Data Centre**. Frascati, Italy, 2009. 21p. Disponível em: <http://www.asdc.asi.it/brochure_ASDC.pdf>. Acesso em 10 out. 2014.

APACHE FOUNDATION **Maven Project 3.5.0**, 2017. Disponível em <<https://maven.apache.org>>. Acesso em 21 jan. 2017.

APACHE FOUNDATION **TomCat 7**. Disponível em <<https://tomcat.apache.org/download-70.cgi>>. Acesso em 21 jan. 2017.

BECKMANN, V. **The INTEGRAL Science Data Centre**. *Astro. Lett and Communications*. v. 39 p. 335-359, 1999. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0206506>> . Acesso em 4 ago. 2015.

BOUWMEESTER, J.; GUO, J. Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology. **Acta Astronautica**, v. 67, n. 7–8, p. 854–862, out. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576510001955>>. Acesso em: 4 ago. 2015.

BUSSE, F. D.; HOW, J. P.; SIMPSON, J. Demonstration of adaptive extended Kalman Filter for low earth orbit formation estimation using CDGPS. **Journal of the Institute of Navigation GPS Meeting**, v. 50, n. 2, p. 79-93, 2003. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.58.1823>>. Acesso em: 20 out. 2015.

CATARINO, L. C. **Abordagem dos modelos TRL, MRL e CMMI-DEV aplicada ao desenvolvimento de pequenos e médios fornecedores da cadeia produtiva espacial.** 2014. 175 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/11.05.14.16-TDI). Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3HBUKN8>>. Acesso em: 04 fev. 2017.

CHAGAS, A. T. R. O questionário na pesquisa científica. **Administração on line**, v. 1, n. 1, 2000. Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/22703089/875888180/name/artigo%252Bquestion%2525C3%2525A1rio.pdf>> Acesso em 02 Abr. 2017

COELHO H. **JPA Eficaz**: As melhores práticas de persistência de dados em Java. Casa do Código, 2013. 167p, ISBN(978-85-66250-31-2).

COSTA, L. L. **Processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de sistemas de pico e nanosatélites.** 2015. 332 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/04.08.17.42-TDI). Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JA39H2>>. Acesso em: 30 set. 2015.

DEPARTMENT OF DEFENSE (DoD). **Technology Readiness Assessment (TRA) deskbook.** Technology, , 2009. 10p. Defense Research and Engineering (DDR&E). Disponível em: <http://www.dod.mil/ddre/doc/DoD_TRA_July_2009_Read_Version.pdf>. Acesso em 15 Jun. 2015.

_____. **Technology Readiness Assessment (TRA) guidance.** DoD, Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering, (ASD(R&E)), 2011 20p. Disponível em:

<<http://www.acq.osd.mil/chieftechnologist/publications/docs/TRA2011.pdf>>. Acesso em 15 Jun. 2015.

DONATI, A., BERTRAND, R., MARTINEZ-HERAS, J. A., POLICELLA, N. Why Introducing Innovative Technology in Operations? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPACE OPERATIONS, 12., 2012, Stockholm, Sweden . **Proceedings...** AIAA, 2012. p.1–8. Disponível em: <<https://doi.org/10.2514/6.2012-1275544>> . Acesso em: 05 de Junho de 2015.

ECLIPSE FOUNDATION **Eclipse Kepler** 4.3. 2013. Disponível em <<https://www.eclipse.org/kepler>> . Acesso em 21 jan. 2017

FRAMEWORK In: PROCTER P. Longman: Dictionary of Contemporary English. 5 ed. Harlow: Pearson, 1978. 2081p.

GITHUB **GitHub**, 2017. Disponível em <<https://github.com>>. Acesso em 21 jan. 2017

HEIDT, H.; PUIG-SUARI, J.; MOORE, A. S.; NAKASUKA, S.; TWIGGS, R. J. CubeSat: a new generation of picosatellite for education and industry low-cost space experimentation. In: ... AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES, 14., Utah, USA **Proceedings...** AIAA/USU, 2000. p. 1–19.

JAKHU, R. S., PELTON, J. N. **Small satellites and their regulation**. Nova York: Springer briefs in space development, 2014. 99p. ISBN:978-1-4614-9423-2

JAYARAM, S. SLUCUBE: Innovative high performance nanosatellite science and technology demonstration mission. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 11–12, p. 1804–1812, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576509002306>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

KOUDELKA, O.; EGGER, G.; JOSSECK, B.; DESCHAMP, N.; CORDELL GRANT, C.; FOISY, D.; ZEE, R.; WEISS, W.; KUSCHNIG, R.; SCHOLTZ, A.; KEIM, W. TUGSAT-1/BRITE-Austria—The first Austrian nanosatellite. **Acta Astronautica**, v. 64, n. 11–12, p. 1144–1149, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576509000150>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

MANKINS, J. C. **Technology readiness levels** - a white paper. April, NASA - Office of Space Access and Technology, 19995. v. 6, n. 2, 5p. Disponível em: <<http://fellowships.teiimt.gr/wp-content/uploads/2016/01/trl.pdf>>. Acesso em 05 fev. 2015.

_____. **Research & development degree of difficulty (R&D3)** - White Paper, March, NASA - Office of Space Access and Technology, 1998. v. 10, 3p. Disponível em: <<http://www.economicswebinstitute.org/essays/nasadiff.pdf>>. Acesso em 10 out. 2015.

_____. Technology readiness assessments: A retrospective. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 9–10, p. 1216–1223, nov. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576509002008>>. Acesso em: 15 maio. 2015.

MARULANDA, J. I.; YARCE, A. A review of CubeSat projects in Latin America. In: **LATINO AMERICAN CUBESAT WORKSHOP**, 1., 2014, Brasília. **Proceedings...** Brasília, D.F, Brasil.: International Academy of Astronautics, 2014. 1: 12 p.

MEREGHETTI, S.; CREMONES, I. D. I.; BORKOWSKI, J. The INTEGRAL Burst Alert System. In: **INTEGRAL WORKSHOP**, 4., 2000, Alicante, Spain, **Proceedings...** Alicante: ESA SP-459, 2001. p. 513-516.

MONGODB **MongoDB database** 3.4.3, 2017. Disponível em <<https://www.mongodb.com>>. Acesso em 21 jan. 2017.

MUCH, R.; BARR, P.; HANSSON, L.; KUULKERS, E.; MALDARI, P.; NOLAN, J.; OOSTERBROEK, T.; ORR, A.; PARMAR, A. N.; SCHMIDT, M.; STERNBERG, J.; WILLIAMS, O. R.; WINKLER, C. The INTEGRAL ground segment and its science operations centre. **Astronomy & Astrophysics**, v. 411, n 1, p.L49 – L52, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361:20031252>>. Acesso em 13 out 2015.

NATIONAL INSTRUMENTS **Introdução à tecnologia FPGA**. National Instruments, 2016. Disponível em <<http://www.ni.com/white-paper/6984/pt/>>. Acesso em 01 de Mar. 2017.

NOLTE, W. L.; KENNEDY, B. M.; DZIEGIEL ROGER J., J. **Technology readiness level calculator**. New York: Air Force Research Laboratory (AFRL), 2003. 16p.

NOVAIS, A. F.; MATTIELLO FRANCISCO, M. F. A data center framework for technological readiness assessment of innovative technology on board CUBESATS. In: LATIN AMERICAN IAA CUBESAT WORKSHOP, 2., 2016, Florianópolis, SC. **Proceedings...** IAA, 2016.

ORACLE CORPORATION **MySql Community 5.7.18** Disponível em <<https://dev.mysql.com/downloads/>>. Acesso em 21 jan. 2017

PITTORI, C. AGILE Data Center and AGILE science highlights. **Nuclear Physics B**, 239–240, p. 104–108, jun. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920563213003940>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

RANKIN, D.; KEKEZ, D. D.; ZEE, R. E.; PRANAJAYA, F. M.; FOISY, D. G.; BEATTIE, A. M. The CanX-2 nanosatellite: Expanding the science abilities of nanosatellites. **Acta Astronautica**, v. 57, n. 2–8, p. 167–174, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009457650500086X>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

SARDA, K.; GRANT, C. Canadian advanced nanospace experiment 2 orbit operations : one year of pushing the nanosatellite performance envelope. In: AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES 22., Logan, Utah, 2009. **Proceedings...** AIAA/USU, 2009. Disponível em: <<http://utias-sfl.net/wp-content/uploads/SSC09-IV-6.pdf>>. Acesso em: 10 ago 2015.

SARDA, K.; GRANT, C.; EAGLESON, S.; KEKEZ, D. D.; ZEE, R. E. **Canadian Advanced Nanospace experiment 2**: on-orbit experiences with an innovative three-kilogram satellite. European Space Agency, (Special Publication) ESA SP, n. 660 SP, 2008. Disponível em: <<http://utias-sfl.net/wp-content/uploads/SSC08-II-5.pdf>>.

SAUSER, B.; GOVE, R.; FORBES, E.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E. Integration maturity metrics : Development of an integration readiness level. **Information Knowledge Systems Management**, v. 9, n. 1, p. 17–46, 2010.

SAUSER, B.; VERMA, D.; RAMIREZ-MARQUEZ, J.; GOVE, R. From TRL to SRL: the concept of systems readiness levels. In: CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH, 4., May 2002, Los Angeles, CA. **Proceedings...** IEEE, 2006. p. 1–10 Disponível em: <<http://www.boardmansauser.com/downloads/2005SauserRamirezVermaGoveCSER.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014

SCHUCH, N. J.; DURÃO, O. S. C. The Brazilian INPE-UFSM NANOSATC-BR CubeSat Program. In: IAA CONFERENCE ON UNIVERSITY SATELLITES

MISSIONS AND CUBESAT WINTER WORKSHOP, 2., 2013, Roma, Italy.

Proceedings... IAA, 2013.

STRATTA, G.; CAPALBI, M.; PERRI, M.; GIOMMI, P. The ASDC multi mission interactive archive: On line analysis of the Swift/XRT data. In: AIP CONFERENCE, 2010, Terrsa, Kyoto. **Proceedings...** v. 1279, p. 418–420, 2010.

UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE (GAO). **Best practices - better management of technology development can improve weapon system outcomes.** GAO, 1999, 80p.. Disponível em:

<<http://www.gao.gov/products/NSIAD-99-162>>. Acesso em 11 nov. 2015.

WOELLERT, K.; EHRENFREUND, P.; RICCO, A. J.; HERTZFELD, H. Cubesats: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations. **Advances in Space Research**, v. 47, n. 4, p. 663–684, fev. 2011. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117710006836>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

APÊNDICE A – Questões de Avaliação de Maturidade Tecnológica da FAMTEE

Esse apêndice tem o objetivo de descrever o conjunto de questões sobre uma nova tecnologia em fase de qualificação que determinam o nível TRL apropriado. Elas são adaptadas da ferramenta TRL Calculator.

Cada conjunto de questões pode ser aplicável especificamente à Hardware, à software ou aplicável a ambos.

Cada questão individualmente possui ainda um peso que determina sua prioridade dentro do respectivo nível TRL, podendo os valores: (1) questão dispensável, (2) uma questão de prioridade normal (3) para uma questão de alta prioridade respectivo nível. Essa representatividade é expressa da seguinte forma nas tabelas.

	Questão de alta prioridade
	Questão de prioridade normal
	Questão dispensável

Nível TRL: 1 - Investigação básica ou ideia em desenvolvimento

Foco: Pesquisa

Ambiente: Esboço

Descrição do nível: Apresenta a tecnologia em sua essência. **Descreve os objetivos da tecnologia e dá uma ideia de como a hipótese foi formulada.** Durante essa fase referências simples aos princípios físicos e matemáticos que viabilizam a tecnologia é suficiente para determinar a classificação de TRL 1.

Software e Hardware
Existe um esboço da tecnologia?
Definida a hipótese de pesquisa?
Foram definidos e verificados as leis físicas e premissas usadas na nova tecnologia?
Identificou os elementos básicos da tecnologia?
Quais os principais interessados nessa tecnologia?
Quais artigos e estudos publicados que confirmam os princípios básicos?
Software
O que software tem que fazer em termos gerais?
Tem em mente um conceito implementável em software?
Tem em mente os conceitos gerais aplicáveis para um possível algoritmo?

Durante essa etapa os artefatos aplicáveis são de caráter descritivo, entre eles:

- Hipótese de Pesquisa
- Referências aos artigos que descrevem as leis e princípios físicos envolvidos
- Objetivo da tecnologia em termos gerais

- Identificação dos prováveis stakeholders.

Nível TRL: 2 – Investigação suportada por um conceito tecnológico e/ou ideia de aplicação.

Foco: Pesquisa Ambiente: Acadêmico

Descrição do nível: Cria argumentos sustentáveis sobre a viabilidade e aplicação da tecnologia. Permite uma visão macro dos componentes e da ideia da tecnologia. Demonstra de forma conceitual o potencial que ela possui para ser adotada em missões operacionais. As aplicações, no entanto, ainda são especulativas.

Software e Hardware
Foi identificada uma aplicação principal para a tecnologia?
Estudos indicam que a aplicação dessa tecnologia é viável?
Uma solução de design preliminar foi formulada (e.g. Product Breakdown Structure)?
Foram identificados os elementos prioritários a serem desenvolvidos?
Identificou quais experimentos precisarão ser realizados em laboratório?
Software
Algum código teste para confirmar os princípios básicos?
Foram feitos experimentos usando dados simulados?
Estudos analíticos rigorosos confirmam os princípios básicos?
Identificou o hardware necessário para hospedar o software?
Hardware
Elementos básicos da tecnologia foram parcialmente caracterizados?
Foram usados recursos de modelagem e simulação para refinar as previsões de desempenho e confirmar os benefícios?

Foram feitas previsões preliminares de desempenho para cada elemento?

Exemplo de artefatos aplicáveis:

- Simulações
- Product Breakdown Structure
- Algoritmos

Nível TRL: 3 - Investigação suportada por um mínimo de experimentação

Foco: Pesquisa e Desenvolvimento Ambiente: Acadêmico e Laboratorial

Descrição do nível: Início da pesquisa e desenvolvimento. Estudos analíticos e laboratoriais são feitos para validação física das predições que se tem sobre cada elemento da tecnologia. Ainda não leva em consideração questões concernentes a integração.

Software e Hardware
Experimentos laboratoriais verificam a viabilidade da aplicação?
A viabilidade científica foi totalmente comprovada?
As medidas de efetividade foram totalmente estabelecidas?
Uma análise do presente estado da arte mostra que a tecnologia atende a uma necessidade?
Software
Estudos analíticos confirmam as previsões sobre os algoritmos?
Estão disponíveis esboços dos algoritmos de software?
Implementação preliminar indica que o software consegue atender as necessidades operacionais?
Foi realizado um Benchmark com softwares atualmente disponíveis que fazem uma tarefa similar?
Hardware
Realizou estudos analíticos para validar as previsões feitas sobre os elementos da tecnologia?
Validou as previsões de medidas de efetividade dos elementos que compõe a

tecnologia por modelagem e simulação?

Exemplo de artefatos aplicáveis:

- Simulações
- Algoritmos
- Análise Benchmark
- Documento de Medidas de Efetividade MoE e Critérios de Aceitação

Nível TRL: 4 - Validação dos componentes da tecnologia em ambiente de laboratório

Foco: Desenvolvimento Ambiente: Laboratório

Definição: Os principais componentes ou funcionalidades são desenvolvidos e integrados para demonstrar que podem trabalhar em conjunto. Apesar de baixa fidelidade dos resultados, a validação deve levar em conta o conceito formulado anteriormente e o ambiente de aplicação da tecnologia. Com o início do desenvolvimento dos componentes a validação atinge a primeira integração entre eles a fim de provar que conseguem trabalhar juntos para atingir o propósito do sistema. Propriedades emergentes não esperadas dessa integração passam a ser identificadas.

Software e Hardware
Foi desenvolvido o WBS (Work Breakdown Structure)?
Foram identificadas propriedades emergentes (efeitos transversais), caso haja algum?
Tecnologia demonstra funcionalidade básica em ambiente simplificado?
Os requisitos gerais do final foram identificados (documento de requisitos finalizado)?
Foram feitos experimentos em laboratório com os componentes disponíveis para comprovar que eles trabalham em conjunto (integração)?
Software
Foi desenvolvida a Arquitetura do Sistema (Documento de Arquitetura de Software preliminar)?
As funções que o software precisa desempenhar estão identificadas e detalhadas (documento de requisitos versão final)?
Realizada a conversão de algoritmos em pseudocódigo?
Integrações do tipo "ad-hoc" entre funções ou módulos demonstram que eles poderão

trabalhar em conjunto?
As funções individuais ou módulos foram demonstrados em ambiente de teste?
Hardware
Os componentes individuais foram testados em laboratório?
Foram usados Modelagem e Simulação para simulação alguns componentes e as interfaces entre eles?

Exemplos de artefatos:

- Documentação das propriedades emergentes
- Work Breakdown Structure (WBS) preliminar
- Documento de Especificação de Requisitos detalhado (Software) e DAS preliminar
- Resultados do desempenho do protótipo em testes de bancada

Nível TRL: 5 - Validação dos componentes da tecnologia em ambiente relevante

Foco: Validação Ambiente: Laboratório

Este nível tem a finalidade de acrescentar fidelidade aos resultados dos testes da tecnologia. O ambiente e os componentes que interagem com a tecnologia em questão são próximos dos reais nessa fase de validação. Validar cenários de operação e exceção.

Software e Hardware
Finalizada a integração em laboratório com alto grau de fidelidade?
Pronto para teste em ambiente operacional?
As interfaces entre os componentes/subsistemas são compatíveis com a realidade de operação?
Condições das instalações e equipamentos de teste se aproximam do ambiente real?
WBS finalizado?
Os requisitos de interface do sistema são conhecidos?
Software
Documento de Arquitetura do software finalizado?
As funções individuais foram testadas para verificar se funcionam apropriadamente? (Teste de software)
Interfaces externas descritas? (Fonte, formato, estrutura, método de suporte)
Análise de requisitos das interfaces internas concluída?
Implementação das funções e métodos individuais concluída?
Funções integradas em módulos?
Os algoritmos foram executados no processador sob as mesmas características do

ambiente final?

Exemplos de artefatos aplicáveis:

- Versão finalizada Work Breakdown Structure
- Documento de Arquitetura finalizado (Hardware e Software)
- Documento de interface
- Documento de testes de software

Nível TRL: 6 - Demonstração da tecnologia em ambiente relevante

Foco: Desenvolvimento Ambiente: Laboratório/ Espaço

Este nível é um complemento ao TRL-5 trocando os componentes ad-hoc por componentes reais. A demonstração pode ser realizada para um objetivo similar ao que foi originalmente planejado desde que use a mesma tecnologia. No caso de o único ambiente considerado relevante ser o próprio espaço, então a tecnologia deve ser demonstrada em voo, ao menos de forma escalável.

Software e Hardware
Definição do ambiente operacional foi finalizada? (definição do ambiente relevante)
O protótipo ou modelo de engenharia foi testado em ambiente relevante?
As análises dos resultados de teste verificaram as previsões de desempenho para o ambiente relevante?
Os testes de desempenho demonstrados estão de acordo com as medidas de efetividade especificadas?
Existem instalações e equipamentos preparados para simular os testes do modelo de engenharia em ambiente relevante?
Software
Os módulos individuais do sistema foram integrados e testados para provar que trabalham em conjunto? (Teste de integração)
Existe uma documentação preliminar do sistema?
Foi feita a análise da estrutura de banco de dados e das interfaces de comunicação?

Alguns exemplos de artefatos aplicáveis:

- Testes que comprovem que a tecnologia atende aos requisitos de desempenho previstos.
- Dados, de telemetria da tecnologia (se ambiente for espacial)
- Descrição completa do ambiente de demonstração

Nível TRL: 7 - Protótipo do Sistema demonstrado em Ambiente Espacial

Foco: Desenvolvimento Ambiente: Espaço

Definição: Atingir esse nível requer um protótipo do sistema real demonstrado no ambiente operacional. O sistema deve ser próximo ao real ou em escala do projetado para operação. Indica sucesso na demonstração da maioria das funcionalidades definidas como essenciais.

Software e Hardware
A maioria das funcionalidades foram demonstradas em ambiente operacional simulado?
As interfaces de sistema foram testadas individualmente sob condições de estresse?
Protótipo testado com sucesso em ambiente real?
Existe um protótipo totalmente integrado testado em ambiente relevante
Software
Algoritmo executado com sucesso em ambiente operacional?

Artefatos aplicáveis

- Dados de operação do protótipo em voo.

Nível TRL: 8 - Sistema real completo e qualificado em ambiente operacional através de testes e demonstrações

Foco: Validação Ambiente: Espaço

Definição: Nessa fase a tecnologia se encontra integrada ao sistema ou ambiente real de operação e marca o fim de desenvolvimento da maior parte dos elementos da tecnologia.

Software e Hardware
Sistema atende as especificações definidas previamente?
A tecnologia demonstrou ser compatível em forma, interfaces e funcionalidade com o sistema alvo?
Testes de qualificação concluídos?
Todas as funcionalidades demonstradas em ambiente real
Testes de aceitação finalizados?
Todas as interfaces internas e externas da tecnologia definidas?
Diagramas de arquitetura foram definidos?

Artefatos:

- Versão definitiva os artefatos requisitados nas fases anteriores
- Dados operacionais do protótipo em voo operacional.

Nível TRL: 9 - Sistema real completo e qualificado em ambiente operacional através de testes e demonstrações

Foco: Validação Ambiente: Espaço

Definição: Representa a correção da última deficiência ou carência do sistema. Agora o sistema opera em uma missão operacional real bem-sucedida.

Software e Hardware
Sistema foi construído e implantado com sucesso no sistema alvo?
Prova de voo bem sucedido em missões operacionais?
Conceito operacional implementado com sucesso?
Atual sistema inteiramente demonstrado?

Artefatos:

- Dados da tecnologia em missões operacionais.

ANEXO A – Questões da ferramenta TRL Calculator (AFRL)

Abaixo as questões da Ferramenta TRL Calculator com a seguinte configuração de cabeçalho:

The screenshot shows the AFRL Transition Readiness Level Calculator, version 2.2. The interface includes a 'Reset All' button, a 'Summary' button, and a 'Hardware and Software Calculator' section. The calculator shows a 'Technology Readiness Level Achieved' table with columns 1-9 and a 'Technical' column. The current status is 100% complete, with a green set point at 100% and a yellow set point at 67%. The calculator is configured for 'No Manufacturing' and 'No Programmatics'.

TRL 1 - Basic principles observed and reported	
"Back of envelope" environment	S/H
Physical laws and assumptions used in new technologies defined	S/H
Have some concept in mind that may be realizable in software	S
Know what software needs to do in general terms	S
Paper studies confirm basic principles	S/H
Mathematical formulations of concepts that might be realizable in software	S
Have an idea that captures the basic principles of a possible algorithm	S
Basic scientific principles observed	S/H
Research hypothesis formulated	S/H

TRL 2 - Technology concept and/or application formulated	
Potential system or component application(s) have been identified	S/H
Paper studies show that application is feasible	S/H
An apparent theoretical or empirical design solution identified	S/H
Basic elements of technology have been identified	H
Desktop environment	S/H
Components of technology have been partially characterized	H
Performance predictions made for each element	H
Some coding to confirm basic principles	S
Initial analysis shows what major functions need to be done	S/H
Modeling & Simulation only used to verify physical principles	H
Experiments performed with synthetic data	S
Rigorous analytical studies confirm basic principles	S/H

TRL 2 - Technology concept and/or application formulated TRL	
Individual parts of the technology work (No real attempt at integration)	S/H
Know what hardware software will be hosted on	S
Know what output devices are available	S/H
Know what experiments you need to do (research approach)	S/H

TRL 3 - Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept	
Academic environment	S/H
Predictions of elements of technology capability validated by Analytical Studies	H
Analytical studies verify predictions, produce algorithms	S
Science known to extent that mathematical and/or computer models and simulations are possible	H
Outline of software algorithms available	S
Predictions of elements of technology capability validated by Modeling and Simulation	H
Preliminary coding verifies that software can satisfy an operational need	S
Laboratory experiments verify feasibility of application	S/H
Predictions of elements of technology capability validated by Laboratory Experiments	H
Cross technology effects (if any) have begun to be identified	S/H
Paper studies indicate that system components ought to work together	S/H
Metrics established	S/H
Experiments carried out with small representative data sets	S
Algorithms run on surrogate processor in a laboratory environment	S
Know what software is presently available that does similar task (100% = Inventory completed)	S
Existing software examined for possible reuse	S
Know limitations of presently available software (Analysis of current software completed)	S
Scientific feasibility fully demonstrated	S/H
Analysis of present state of the art shows that technology fills a need	S/H

TRL 4 - Component and/or breadboard validation in laboratory environment	
Cross technology issues (if any) have been fully identified	S/H
Individual components tested in laboratory/by supplier (contractor's component acceptance testing)	H
M&S used to simulate some components and interfaces between components	H
Formal system architecture development begins	S
Overall system requirements for end user's application are known	S/H
Analysis provides detailed knowledge of specific functions software needs to perform	S
Laboratory experiments with available components show that they work together (lab kludge)	H
Requirements for each function established	S
Algorithms converted to pseudocode	S
Analysis of data requirements and formats completed	S
Stand-alone modules follow preliminary system architecture plan	S
Hardware in the loop/computer in the loop tools to establish component compatibility	H
Technology demonstrates basic functionality in simplified environment	S/H
Controlled laboratory environment	S/H
Experiments with full scale problems and representative data sets	S
Individual functions or modules demonstrated in a laboratory environment	S
Some ad hoc integration of functions or modules demonstrates that they will work together	S
Low fidelity technology "system" integration and engineering completed in a lab environment	S/H
Functional work breakdown structure developed	S/H

TRL 5 - Component and/or breadboard validation in relevant environment	
Cross technology effects (if any) identified and established through analysis	S/H
System interface requirements known	S/H
System software architecture established	S
External interfaces described as to source, format, structure, content, and method of support	S
Analysis of internal interface requirements completed	S
Interfaces between components/subsystems are realistic (Breadboard with realistic interfaces)	S/H

TRL 5 - Component and/or breadboard validation in relevant environment	
Coding of individual functions/modules completed	S
High fidelity lab integration of system completed, ready for test in realistic/simulated environments	S/H
Fidelity of system mock-up improves from breadboard to brassboard	H
Laboratory environment modified to approximate operational environment	S/H
Functions integrated into modules	S
Individual functions tested to verify that they work	S
Individual modules and functions tested for bugs	S
Integration of modules/functions demonstrated in a laboratory environment	S
Algorithms run on processor with characteristics representative of target environment	S
IPT develops requirements matrix with thresholds and objectives	S/H
Physical work breakdown structure available	S/H

TRL 6 - System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (Ground or Space)	
Cross technology issue measurement and performance characteristic validations completed	S/H
Operating environment for eventual system known	S/H
M&S used to simulate system performance in an operational environment	S/H
Factory acceptance testing of laboratory system in laboratory setting	H
Representative model / prototype tested in high-fidelity lab / simulated operational environment	S/H
Realistic environment outside the lab, but not the eventual operating environment	S/H
Inventory of external interfaces completed	S
Analysis of timing constraints completed	S
Analysis of database structures and interfaces completed	S
Prototype implementation includes functionality to handle large scale realistic problems	S
Algorithms partially integrated with existing hardware / software systems	S
Individual modules tested to verify that the module components (functions) work together	S
Representative software system or prototype demonstrated in a laboratory environment	S
Laboratory system is high-fidelity functional prototype of operational system	S/H
Limited software documentation available	S

TRL 6 - System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (Ground or Space)	
Engineering feasibility fully demonstrated	S/H

TRL 7 - System prototype demonstration in an operational (space) environment	
M&S used to simulate some unavailable elements of system, but these instances are rare	H
Each system/software interface tested individually under stressed and anomolous conditions	S/H
Algorithms run on processor(s) in operating environment	S
Operational environment, but not the eventual platform, e.g., test-bed aircraft	S/H
Components are representative of production components	H
Most functionality available for demonstration in simulated operational environment	S/H
Operational/flight testing of laboratory system in representational environment	S/H
Fully integrated prototype demonstrated in actual or simulated operational environment	S/H
System prototype successfully tested in a field environment.	S/H

TRL 8 - Actual system completed and (flight) qualified through test and demonstration (Ground and Space)	
Components are form, fit, and function compatible with operational system	S/H
System is form, fit, and function design for intended application and weapon system platform	S/H
Form, fit, and function demonstrated in eventual platform/weapon system	S/H
Interface control process has been completed	S/H
Final architecture diagrams have been submitted	S/H
Software thoroughly debugged	S
All functionality demonstrated in simulated operational environmenet	S/H
System qualified through test and evaluation on actual platform (DT&E completed)	S/H
DT&E completed, system meets specifications	S/H

TRL 9 - Actual system (flight) proven through successful mission operations	
Operational Concept has been implemented successfully	S/H
System has been installed and deployed in intended weapon system platform	S/H

Actual system fully demonstrated	S/H
Actual mission system "flight proven" through successful mission operations (OT&E completed)	S/H