



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.25.23.54-TDI

## **PROCESSO DE REFERÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA PICO E NANOSATÉLITES**

Jaime Enrique Orduy Rodriguez

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Walter Abrahão dos Santos, Douglas Soares dos Santos, e Geilson Loureiro, aprovada em 01 de abril de 2016.

URL do documento original:

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

INPE  
São José dos Campos  
2016

## **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/2016/03.25.23.54-TDI

## **PROCESSO DE REFERÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA PICO E NANOSATÉLITES**

Jaime Enrique Orduy Rodriguez

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Walter Abrahão dos Santos, Douglas Soares dos Santos, e Geilson Loureiro, aprovada em 01 de abril de 2016.

URL do documento original:

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

INPE  
São José dos Campos  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Rodriguez, Jaime Enrique Orduy.

R618p      Processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para pico e nanosatélites / Jaime Enrique Orduy Rodriguez. – São José dos Campos : INPE, 2016.  
xxxii + 203 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.25.23.54-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientadores : Drs. Walter Abrahão dos Santos, Douglas Soares dos Santos, e Geilson Loureiro.

1. Engenharia de sistemas. 2. Estações terrenas. 3. Pico e nanosatélites. I.Título.

CDU 629.7.08:629.78

---



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): **Jaime Enrique Orduy Rodriguez**

Título: " PROCESSO DE REFERÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA PICO E NANOSATÉLITES".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em

**Engenharia e Tecnologia  
Espaciais/Gerenciamento de Sistemas  
Espaciais**

Dr. **Maurício Gonçalves Vieira Ferreira**



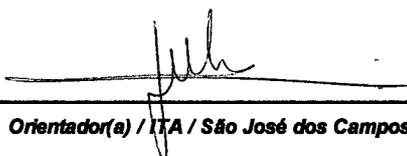
\_\_\_\_\_  
**Presidente / INPE / SJCampos - SP**

Dr. **Walter Abrahão dos Santos**



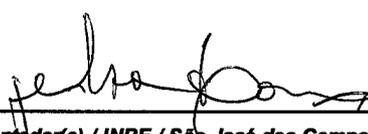
\_\_\_\_\_  
**Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP**

Dr. **Douglas Soares dos Santos**



\_\_\_\_\_  
**Orientador(a) / ITA / São José dos Campos - SP**

Dr. **Geilson Loureiro**



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

Dr. **Luis Eduardo Vergueiro Loures da Costa**



\_\_\_\_\_  
**Convidado(a) / ITA / São José dos Campos - SP**

**Este trabalho foi aprovado por:**

**maioria simples**

**unanimidade**

**São José dos Campos, 01 de Abril de 2016**



*“Somos polvo de estrellas.”*

*Carl Sagan.*



*A Dios y a la Virgen María, a mis papás, mis hermanas y sobrinos,  
esto es por ustedes y para ustedes, los amo.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e à Virgem Maria pela oportunidade de fazer mestrado no Brasil.

A toda minha família, que amo muito, pelo incentivo, carinho e apoio desde meu país, a Colômbia.

Principalmente a meus pais, Jaime e Luz Miryam, que desde o momento que decidi tomar a decisão de vir, não pararam de me ajudar em tudo o que precisei. Igualmente a minhas irmãs Andrea e Monica, e meus sobrinhos Juan Sebastian e Santiago, pela companhia e pelo amor mesmo com a distância.

A meu primo Endi e sua esposa Julieth, por tanto amor e ajuda, a minhas tias Yamile, Yasmine e Dila, e meu tio Paulino; pela ajuda econômica para poder cumprir este sonho.

A meus irmãos de coração: Cristhian Timoté, Yolima Garcia, Jhonathan Vargas e Jorge Espindola, e ao meu Sensei Freddy Acosta, com quem ainda divido muitos momentos de alegria, e dos quais recebi muito apoio quando precisei nesta escolha de vida.

Ao CNPq pela oportunidade dada por meio do Programa Estudante Convênio – Pós-Graduação PEC-PG 2013.

Aos meus orientadores, Dr. Geilson Loureiro, Dr. Walter Abrahão dos Santos e Dr. Douglas Soares dos Santos pela orientação neste trabalho. Pelas diversas dúvidas esclarecidas e ensinamentos no INPE e no ITA.

Aos professores do curso CSE/ETE, principalmente à Dra. Ana Maria Ambrosio, que junto com a banca do curso, me deram a oportunidade de estudar no INPE; Dr. Otavio Luiz Bogossian; Dr. Marcelo Lopes; Dra. Fatima Mattiello e Dr. Germano Kienbaum; com os quais recebi ensinamentos de categoria internacional por meio das disciplinas, e contei com todo seu apoio durante o curso.

Ao Edson W. Pereira, pela amizade e ajuda no desenvolvimento do mestrado, pelas informações técnicas, e esclarecimento de dúvidas em todo momento.

À secretaria do curso CSE, principalmente a Edleusa Aparecida Ferreira, quem esteve sempre disposta para apoiar em todas as etapas do curso. À Tuane Dias pela ajuda constante com os trâmites de eventos e congressos.

Aos amigos do LIT especialmente do LSIS, Roy Soler, Brenda Lopez, Renato Calado, Hernán Zambrano, Gabriel Coronel, Eduardo Bürger, Cleber Hoffmann e Carlos Lino pelo auxílio, esclarecimentos e comentários sobre os sistemas espaciais.

Aos amigos da colônia Latina, especialmente aos colombianos em São José dos Campos.

Ao meu amigo Brasileiro que com muito carinho sempre levarei no meu coração, Italo Pinto Rodrigues, pela constante ajuda no percorrer dos dois anos que estive no Brasil.

Ao Laboratório de Integração e Testes (LIT) por me permitir estudar e poder colaborar de alguma maneira com a aplicação dos meus conhecimentos em projetos espaciais.

Ao Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas (LSIS) do LIT por brindar-me com apoio e um bom ambiente de trabalho.

E por último, porém não menos importante ao INPE, que me proporcionou toda a infraestrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio do programa Estudantes-Convenio de Pós-Graduação – PEC-PG, da CAPES/CNPq - Brasil.

## RESUMO

Na América Latina, os projetos universitários com *CubeSats* propõem a criação do satélite por meio de processos de Engenharia de Sistemas, enquanto à estação terrena, propõem a aquisição de componentes para montar uma estação de radioamador; construção da estação com base a projetos bem-sucedidos passados; ou a compra do equipamento completo, pronto para uso. Estes procedimentos, em geral, não tem uma metodologia que os sistematizem. Este trabalho versa sobre estações terrenas para Pico e Nanossatélites e, mais especificamente, tem como objetivo geral a apresentação de um processo de referência para o desenvolvimento de estações terrenas compatíveis com esses tipos de satélites e a tomada de decisões de projeto. O processo apresentado, baseado na aplicação do processo de Engenharia de Sistemas do Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas (LSIS) que pertence ao Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE, visa em ver a estação terrena desses satélites de forma sistêmica, levando em consideração suas próprias necessidades. Por meio do exemplo prático de aplicação do processo com projetos brasileiros, conclui-se que o processo proposto neste trabalho pode ser usado em qualquer projeto de Pico e Nanossatélites e propõe-se vincular o desenvolvimento da estação terrena paralelamente com o desenvolvimento do satélite. Este trabalho é o primeiro esforço do INPE na participação do segmento solo de este tipo de satélites, o qual poderá ser usufruído pelos diversos projetos de Pico e Nanossatélites em desenvolvimento no Brasil, bem como qualquer projeto na América Latina.

Palavras-chave: Engenharia de Sistemas. Estações Terrenas. Pico e Nanossatélites.



# **PICO AND NANOSATELLITE GROUND STATION ARCHITECTURE DEVELOPMENT PROCESS**

## **ABSTRACT**

In Latin America, the university projects with CubeSats have proposed the creation of the satellite by means of systems engineering processes, while the ground station, have proposed the procurement of components to build a ham radio station, ground station construction based on the past successful projects, or the purchase of complete equipment, ready for use. These procedures generally lack a methodology with a systems point-of-view. This study deals with ground stations for Pico and Nanosatellites and its main objective is to present a reference process for the development ground stations compatible with these types of satellites and its design decision taking. The suggested process, based on the application of the engineering process of The Systems Concurrent Engineering Laboratory (LSIS) belonging to the Integration and Tests Laboratory (LIT) of the INPE, aims to look at the ground station systemically, leading into account their own needs. Through the practical example of application of the process with Brazilian projects, it is clear that the process proposed in this document can be used in any Pico and Nanosatellite project to link the development of the ground station in parallel with the development of the satellite. This work is the first effort at INPE in participating in the ground segment of this type of satellites, which can be used by many nanosatellites projects under development in Brazil, as well as in Latin America

Keywords: Systems Engineering. Ground Stations. Pico and Nano Satellites.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1- Arquitetura de uma Missão Espacial.....	8
Figura 2.2 - Subsistemas de satélites .....	10
Figura 2.3 - Primeira plataforma <i>CubeSat</i> desenvolvida 100% no Brasil, o AESP-14, no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE. .	12
Figura 2.4 - Visão geral do sistema de comunicações dos satélites de pequeno porte.....	13
Figura 2.5 - Satélite universitário e antenas da estação terrena <i>CubeSat</i> 1U Masat-1 e arranjo de antenas da estação terrena.....	19
Figura 2.6 - Diagrama de blocos de uma estação terrena para Pico e Nanossatélites.....	19
Figura 2.7 - Componentes do campo eletromagnético em uma onda plana ....	21
Figura 2.8 - Exemplo de diagrama de irradiação de antena.....	22
Figura 2.9 - Largura de banda.....	23
Figura 2.10 - Azimute e Elevação .....	24
Figura 2.11 - Descrição dos dados do TLE .....	25
Figura 2.12 - Deslocamento do Doppler.....	27
Figura 2.13 - Rádio Analógico usado pelo serviço radioamador .....	28
Figura 2.14 - Placa de <i>hardware</i> do SDR.....	29
Figura 2.15 - Tipos de portadoras .....	30
Figura 2.16 - Camadas do modelo OSI.....	31
Figura 2.17 - Frames do Protocolo AX.25 .....	32
Figura 2.18 - Caminho do pacote em AX.25 .....	32
Figura 2.19 - <i>Frame</i> do protocolo FX.25 .....	33
Figura 2.20 - Comparação do rendimento dos pacotes em AX.25 e FX.25. ....	34
Figura 2.21 - Ligação entre os equipamentos .....	35
Figura 2.22 - Empresas comerciais que oferecem soluções de ET .....	39
Figura 2.23 - Redes de estações terrenas de pequenos satélites.....	40
Figura 2.24 - Estações da rede RIBRAS.....	41

Figura 2.26 - Topologia das arquiteturas de sistema .....	46
Figura 2.27 - Funções e limites da Engenharia de Sistemas .....	47
Figura 2.28 - Modelo em 'V' da Engenharia de Sistemas .....	48
Figura 2.29 - Desenvolvimento do processo de Engenharia de Sistemas do LSIS .....	50
Figura 2.30 - Processos Técnico Comum e Mecanismo da Engenharia de Sistemas da NASA.....	51
Figura 2.31 - Processo de Engenharia de sistema do DoD .....	52
Figura 2.32 - Funções e relacionamentos do processo da ECSS .....	53
Figura 3.1 - <i>Framework</i> do segmento solo da missão RAX .....	57
Figura 3.2 - Processo de Engenharia de Sistemas adaptado para <i>CubeSat</i> ...	58
Figura 3.3.- Componentes da ET INPE-ITA.....	60
Figura 3.4 - Sistema irradiante da ET INPE-ITA.....	61
Figura 3.5 - Equipamentos do <i>Rack</i> da ET INPE-ITA .....	62
Figura 3.6 - Arquitetura de <i>software</i> da ET INPE-ITA .....	63
Figura 3.7 - Tela principal da ET INPE-ITA .....	65
Figura 3.8 - Resultados do teste na ET INPE-ITA.....	67
Figura 3.9 - Visão global da ET ITA .....	68
Figura 3.10 - Diagramas de blocos das configurações da ET ITA .....	70
Figura 3.11 - Antena tipo <i>Eggbeater</i> da ET ITA .....	71
Figura 3.12 - Visão global da ET UPTC .....	74
Figura 3.13 - Diagrama de blocos da ET UPTC .....	74
Figura 3.14 - Visão global da ET PAR.....	78
Figura 3.15 - Diagrama de blocos simplificado da ET PAR.....	78
Figura 3.16 - <i>Software</i> AMSAT-BR Plan73 v0.05.....	80
Figura 3.17 - <i>Software</i> SDR# v1.0.0.1357 .....	81
Figura 3.18 - <i>Fox Telemetry Analysis Tool</i> .....	82
Figura 4.1 - Diagrama de blocos da estação de referência.....	88
Figura 4.2 - Seleção de componentes para uma futura estação .....	89
Figura 4.3 - Enlace de comunicação .....	91

Figura 4.4 - Determinação do umbral de potência com o aplicativo da AMSAT .....	92
Figura 4.5 - <i>Design</i> esquemático da estação em desenvolvimento .....	94
Figura 4.6 - Planos de desenvolvimento do projeto .....	100
Figura.4.7 - Processo de Referência Macro .....	101
Figura 4.8 - Visão detalhada das atividades do processo .....	102
Figura 4.9 - Divisão das atividades por fases de missão .....	104
Figura 5.1- Processo genérico de desenvolvimento.....	107
Figura 5.2 - Engenharia de Requisitos do processo de referência.....	108
Figura 5.3 - Ferramenta IDEFØ.....	110
Figura 5.4 - Tarefa análise de <i>Stakeholders</i> de missão .....	111
Figura 5.5 - <i>Stakeholders</i> Principais de missão .....	112
Figura 5.6 - Atividade análise do ciclo de vida .....	119
Figura 5.7 - Processo do ciclo de vida .....	120
Figura 5.8 - Atividade análise de missão.....	122
Figura 5.9 - Exemplo de preocupações e MoEs da missão .....	123
Figura 5.10 - Elementos da missão e seus inter-relacionamentos .....	124
Figura 5.11 - Análise funcional .....	125
Figura 5.12 - Alternativas do conceito operacional.....	127
Figura 5.13 - Comparação das características operacionais das estações brasileiras .....	128
Figura 5.14 - <i>As Is / To Be</i> .....	129
Figura 5.15 - Atividade Análise da arquitetura operacional .....	129
Figura 5.16 - Decomposição funcional inicial da Estação Terrena.....	131
Figura 5.17 - Ferramenta N2 para identificação de trocas de informação dos elementos da missão espacial .....	132
Figura 5.18 - Ferramenta N2 para identificação de trocas de informação dos elementos da estação .....	133
Figura 5.19 - Diagrama de Contexto da estação terrena (Controle de antena) .....	134
Figura 5.20 - Árvore de identificação de requisitos. ....	135

Figura 5.21 - Definição do sistema ‘Estação Terrena’ .....	137
Figura 5.22 - Elementos que encaminham a solução da estação .....	138
Figura 5.23 - Tarefa de análise de requisitos de sistema .....	139
Figura 5.24 - IDEFØ para identificação de <i>Stakeholders</i> de sistema .....	139
Figura 5.25 - Ciclo de vida de um sistema de estação terrena simplificado...	140
Figura 5.26 - Exemplo de diagrama de contexto para identificação de stakeholders dos elementos da arquitetura da missão .....	141
Figura 5.27 - Cenários do ciclo de vida do sistema .....	143
Figura 5.28 - Diagrama de contexto em cenário de operação .....	144
Figura 5.29 - Diagrama de transição de modos .....	146
Figura 5.30 - Máquina de estados da estação terrena .....	147
Figura 5.31 - Camadas dos requisitos no ‘ <i>V model</i> ’ .....	151
Figura 5.32- Atividade Definição de arquitetura .....	152
Figura 5.33 - Arquitetura funcional genérica de uma estação terrena – PBS da estação terrena .....	154
Figura 5.34 - Arquitetura física genérica de uma estação terrena .....	155
Figura 5.35 - Diagrama de interligação da arquitetura .....	157
Figura 5.36 - Arquitetura definida por diagrama de blocos.....	158
Figura 5.37 - Atividade Detalhamento do projeto .....	159
Figura 5.38 - Diagrama N2 para identificar interfaces .....	161
Figura 5.39 - Característica dos componentes do subsistema de controle de antena .....	162
Figura 5.40 - Característica dos componentes do subsistema de comunicação .....	162
Figura 5.41 - Característica dos componentes do subsistema estrutural .....	163
Figura 5.42 - Característica dos componentes do subsistema irradiante .....	163
Figura 5.43 - Característica dos componentes do subsistema de modulação	164
Figura 5.44 - Característica dos componentes do subsistema <i>software</i> .....	164
Figura 6.1- Arquitetura física da ETB .....	175
Figura 7.1- Framework do projeto RAX.....	177
Figura 7.2 - Processo de referência do LSIS.....	181

Figura 7.3 - Processo de referência proposto - <i>Task</i> .....	182
Figura 7.4 - Processo de referência proposto - <i>Loops</i> .....	183
Figura 7.5 - Abordagens <i>Bottom-Up</i> e <i>Top-Down</i> .....	184



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1- Classificação dos satélites de acordo com a massa .....	9
Tabela 2.2 - Bandas de frequências.....	26
Tabela 3.1- Especificações técnicas das antenas da ET INPE-ITA. ....	61
Tabela 3.2 - Especificações técnicas das antenas ET ITA.....	71
Tabela 3.3 - Características técnicas do transceptor ET ITA .....	72
Tabela 3.4 - Especificações técnicas das antenas da ET UPTC.....	75
Tabela 3.5 - Especificações técnicas das antenas ET PAR.....	79
Tabela 4.1- <i>Software</i> das estações de referência .....	86
Tabela 4.2 - <i>Hardware</i> das estações de referência.....	87
Tabela 4.3 - Parâmetros operacionais de <i>CubeSats</i> .....	90
Tabela 4.4 - Parâmetros operacionais da estação terrena.....	93
Tabela 4.5 - Metodologia <i>Bottom-Up</i> para estabelecer estações terrenas.....	95
Tabela 4.6 - Definição da documentação do projeto .....	104
Tabela 5.1 - Procedimento da necessidade .....	109
Tabela 5.2 - Procedimento de identificação de <i>Stakeholders</i> de missão .....	113
Tabela 5.3 - Lista de identificação de Stakeholder.....	114
Tabela 5.4 - Procedimento de Elicitação de necessidades de <i>Stakeholders</i> .	114
Tabela 5.5 - Documento de necessidades de <i>Stakeholder</i> .....	115
Tabela 5.6 - Procedimento de obtenção da documentação .....	116
Tabela 5.7 - Formalização da análise de necessidades em Requisitos de Stakeholder .....	117
Tabela 5.8 - Procedimento de análise de necessidades de <i>Stakeholders</i> .....	118
Tabela 5.9 - Procedimento de análise de medidas de efetividade .....	119
Tabela 5.10 - Procedimento de análise do ciclo de vida do sistema .....	121
Tabela 5.11 – Exemplos de metas e objetivos da missão.....	123
Tabela 5.12 - Procedimento de análise de missão.....	124
Tabela 5.13 - Procedimento de análise de arquitetura operacional .....	130
Tabela 5.14 - Exemplos de requisitos de missão .....	136

Tabela 5.15 - Alternativas de solução .....	136
Tabela 5.16 - Exemplo de stakeholders para uma estação terrena dos elementos da arquitetura da missão .....	141
Tabela 5.17 - Análise de interesses dos Stakeholders.....	142
Tabela 5.18 - Lista de modos de acordo com as circunstâncias .....	145
Tabela 5.19 - Lista de eventos para cada modo .....	145
Tabela 5.20 - Procedimento de análise de funções essenciais.....	146
Tabela 5.21 - Lista de eventos da máquina de estados .....	147
Tabela 5.22 - Exemplo de lista de requisitos não funcionais.....	149
Tabela 5.24 - Folha de alocação de requisitos.....	155
Tabela 5.25 - Diagrama morfológico para o desenvolvimento de uma estação terrena .....	156
Tabela 5.26 - matriz de análise de decisão para definição dos componentes para a estação terrena .....	156
Tabela 5.27 - Procedimento de definição da arquitetura .....	158
Tabela 5.28 - Especificações dos componentes .....	165
Tabela 5.29 - Procedimento de projeto detalhado.....	165
Tabela 5.30 - Síntese da abordagem <i>Top-Down</i> .....	166
Tabela 5.31 - Continuação .....	167
Tabela 5.32 - Continuação .....	168
Tabela 5.33 - Conclusão .....	169
Tabela 6.1 - Pico e Nanossatélites brasileiros.....	172
Tabela 6.2 - Especificação de componentes da ETB.....	174

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1U	1 Unidade
AEB	Agência Espacial Brasileira
AESP	Aeroespacial
AFSK	<i>Audio Frequency-Shift Keying</i>
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
AMSAT	<i>Amateur Satellite</i>
ANATEL	Agencia Nacional de Telecomunicações
AOS	<i>Acquisition of Signal</i>
ARRL	<i>American Radio Relay League</i>
ASK	<i>Amplitude-Shift Keying</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
bps	bits por segundo
BPSK	<i>Binary Phase-Shift Keying</i>
CCS	Centro de Controle de Satélites
CCSDS	<i>Consultative Committee for Space Data Systems</i>
ConOps	Conceito de Operação
COTS	<i>Commercial-Off-The-Shelf</i>
CSP	<i>CubeSat Satellite Protocol</i>
dB	Decibel
dBic	Decibels sobre radiador isotrópico.
DoD	<i>Department of Defense</i>
DPSK	<i>Differential Phase Shift Keying</i>
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
ECSS	<i>European Cooperation for Space Standardization</i>
EGSE	<i>Electrical Ground Support Equipment</i>
ERS	Estação de Rastreo de Satélites
ESA	<i>European Space Agency</i>
ET	Estação Terrena
FAI	<i>Magnetic Field-Aligned Irregularities</i>
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FCS	<i>Frame Check Sequence Field</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
GCS	<i>Ground Communication Subnet</i>
GENSO	<i>Global Educational Network for Satellite Operations</i>
GSTS	<i>Ground Station System</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IARU	<i>International Amateur Radio Union</i>
IDEF0	<i>Integration Definition for Function Modeling 0</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
INCOSE	<i>International Council on Systems Engineering</i>
INFELCOM	<i>Grupo de Investigación en Informática, Electrónica y Comunicaciones</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
IP	<i>Protocolo de Internet</i>
ISIS	<i>Innovative Solutions In Space</i>
ITA	<i>Instituto Tecnológico de Aeronáutica</i>
KISS	<i>Keep It Simple Stupid</i>
LFA	<i>Loop Fed Array</i>
LGPL	<i>General Public License</i>
LHCP	<i>Left-Hand Circular Polarization</i>
LIT	<i>Laboratório de Integração e Testes</i>
LOS	<i>Loss of Signal</i>
LSIS	<i>Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MBSE	<i>Model Based Systems Engineering</i>
MCS	<i>Mission Control System</i>
MCTI	<i>Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação</i>
ME	<i>Mission Exploitation</i>
MoEs	<i>Medidas de Efetividade</i>

MoPs	Medidas de Desempenho
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NFS	<i>National Science Foundation</i>
NORAD	<i>North American Aerospace Defense Command</i>
OSCAR	<i>Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PAR	Pardinho
PBS	<i>Product Breakdown Structure</i>
PID	<i>Protocol Identifier Field</i>
PM	<i>Phase Modulation</i>
PQPSK	<i>Differential Quaternary Phase Shift Keying</i>
Prof.	Professor
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAX	<i>Radio Aurora eXplorer</i>
RHCP	<i>Right Hand Circular Polarization</i>
SDR	<i>Software-Defined Radio</i>
SEP	<i>Systems Engineering Plan</i>
SERPENS	Sistema Espacial para Realização de Pesquisas e Experimentos com Nanossatélites
SID	Serviço de Informação e Documentação
SSC	<i>Space Station Control</i>
SSDL	<i>Space Systems Development Laboratory</i>
STI	Serviço Técnico de Informação
STK	<i>Systems Tool Kit</i>
SysML	<i>Systems Modeling Language</i>
TAG	Etiqueta
TBC	<i>To Be Confirmed</i>
TC	Telecomando
TCA	<i>Time of Closest Approach</i>
TCP	Protocolo de controle de transmissão
TLE	<i>Two-Line Element</i>
TNC	<i>Terminal node controller</i>

TT&C      *Telemetry, Tracking, and Command*  
UPTC      *Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia*  
USA        *United States Of America*  
USD        *United States Dollar*

## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação .....	2
1.2. Objetivo Geral.....	3
1.3. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Metodologia .....	4
1.5. Estrutura da dissertação .....	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	7
2.1. Sistemas Espaciais.....	7
2.2. Satélites .....	9
2.2.1. Classificação .....	9
2.2.2. Subsistemas de Satélites .....	10
2.3. CubeSats .....	11
2.3.1. Subsistema de comunicações (TT&C) e estação terrena .....	12
2.4. Segmento solo de missões espaciais .....	14
2.4.1. Estações Terrenas (GSTS) .....	15
2.4.2. Tipos de estações terrenas .....	17
2.4.3. Estações terrenas universitárias .....	18
2.4.4. Elementos que compõem uma estação terrena .....	20
2.4.4.1. Sistema Irradiante .....	20
2.4.4.2. Controle de Antena .....	23
2.4.4.3. Transceptor de RF .....	25
2.4.4.4. Modem .....	29
2.4.4.5. <i>Software</i> e Interface de Usuário .....	36
2.4.4.6. Estrutura de suporte da estação .....	37
2.4.5. Empresas comerciais de estações terrenas para Pico e Nanossatélites.....	38
2.4.6. Redes de estações terrenas para Pico e Nanossatélites .....	39
2.4.7. Serviço Radioamador.....	41

2.5. Engenharia de Sistemas .....	43
2.5.1. Classificação de Sistemas complexos .....	44
2.5.1.1. Escala e escopo .....	44
2.5.1.2. Função .....	45
2.5.1.3. Estrutura (Arquitetura).....	45
2.5.2. Princípios da Engenharia de Sistemas.....	46
2.5.3. Escopo da Engenharia de Sistemas .....	47
2.5.4. Modelo em 'V' da Engenharia de Sistemas.....	48
2.5.5. Processos de Desenvolvimento para Sistemas Espaciais .....	48
2.5.5.1. Processo do LSIS.....	49
2.5.5.2. Processos de Engenharia de Sistemas totalmente definidos.....	50
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	55
3.1. Radio Aurora Explorer (RAX).....	55
3.2. Processo de desenvolvimento da arquitetura de CubeSats .....	57
3.3. Estação Terrena PY2AEC (INPE-ITA).....	58
3.3.1. Metodologia de Desenvolvimento .....	59
3.3.2. Descrição da estação.....	59
3.3.2.1. Sistema Irradiante .....	60
3.3.3. Controle de Antena .....	61
3.3.4. Transceptor de RF .....	62
3.3.5. Software .....	63
3.3.6. Interface do Usuário .....	65
3.3.6.1. Rastreamento de Satélites .....	66
3.3.6.2. Recepção de Dados.....	66
3.3.6.3. Envio de Telecomandos.....	67
3.4. Estação Terrena Portátil PY2DGS (ITA).....	68
3.4.1. Metodologia de Desenvolvimento .....	69
3.4.2. Descrição da Estação .....	69
3.4.2.1. Sistema Irradiante .....	70
3.4.2.2. Transceptor de RF .....	71
3.4.2.3. Modem e <i>Software</i> .....	72

3.5. Estação Terrena HJ7JAR (UPTC) .....	73
3.5.1. Metodologia de Desenvolvimento .....	73
3.5.2. Configuração da Estação .....	74
3.5.2.1. Sistema Irradiante .....	75
3.5.2.2. Controle de Antena .....	75
3.5.2.3. Transceptor de RF e Modem.....	76
3.6. Estação Terrena PY2SDR (PAR) .....	76
3.6.1. Metodologia de Desenvolvimento .....	77
3.6.2. Descrição da Estação .....	77
3.6.2.1. Sistema Irradiante .....	78
3.6.2.2. Transceptor de RF .....	79
3.6.2.3. Software .....	80
4 DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA PICO E NANOSSATÉLITES .....	83
4.1. Abordagem <i>Bottom-Up</i> .....	84
4.1.1. Definição do objetivo de desenvolvimento .....	85
4.1.2. Busca de alternativas de desenvolvimento .....	86
4.1.2.1. Comparação de soluções.....	88
4.1.2.2. Resultados da análise comparativa.....	89
4.1.3. Definição dos parâmetros do satélite .....	90
4.1.3.1. Parâmetros operacionais do Pico ou Nanossatélite .....	90
4.1.4. Projeto do sistema de telecomunicações - Cálculo de enlace ( <i>Link Budget</i> ).....	91
4.1.5. Definição dos parâmetros da estação terrena.....	92
4.1.6. Definição da arquitetura da estação terrena.....	93
4.1.7. Integração e testes da estação terrena .....	94
4.2. Abordagem <i>Top-Down</i> da Engenharia de Sistemas .....	96
4.2.1. Identificação de necessidades gerais referentes ao segmento solo de projetos com Pico e Nanossatélites universitários. ....	96
4.2.2. Processo geral de engenharia de sistemas .....	98

4.2.3.	Processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de estações terrenas para Pico e Nanossatélite .....	99
4.2.4.	Aplicabilidade .....	100
4.2.5.	Estrutura geral do processo .....	101
4.2.5.1.	Gerenciamento.....	103
4.2.6.	Documentação .....	104
4.2.6.1.	Análise dos stakeholders da missão e requisitos da missão:.....	105
4.2.6.2.	Análise da missão .....	105
4.2.6.3.	Descrição da arquitetura operacional da missão.....	105
4.2.6.4.	Requisitos de sistema .....	105
4.2.6.5.	Definição dos requisitos de sistema .....	105
5	DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO DE REFERÊNCIA.....	107
5.1.	Necessidades .....	108
5.2.	Concepção do projeto (Definição do Problema) .....	110
5.2.1.	Análise de <i>Stakeholders</i> de missão da estação terrena.....	111
5.2.1.1.	Identificar <i>Stakeholders</i> de Missão da estação terrena .....	112
5.2.1.2.	Elicitar necessidades de <i>Stakeholder</i> .....	114
5.2.1.3.	Obtenção de documentação .....	115
5.2.1.4.	Análise de necessidades de Stakeholder.....	116
5.2.1.5.	Análise de Medidas de Efetividade .....	118
5.2.2.	Análise do ciclo de vida .....	119
5.2.3.	Análise de missão .....	121
5.2.3.1.	Elementos da missão .....	124
5.2.3.2.	Análise funcional .....	125
5.2.3.3.	Análise de operação da missão .....	125
5.2.3.4.	Alternativas do conceito operacional.....	126
5.2.4.	Análise da arquitetura operacional .....	129
5.2.4.1.	Identificar funções dos elementos da missão.....	130
5.2.4.2.	Identificar interfaces dos elementos da missão.....	131
5.2.4.3.	Identificar requisitos .....	135
5.2.4.4.	Identificar alternativas de solução .....	136

5.3.	Definição do sistema.....	137
5.3.1.	Análise de requisitos do sistema.....	138
5.3.1.1.	Identificar Stakeholders de sistema.....	139
5.3.1.2.	Análise de stakeholder de sistema.....	140
5.3.1.3.	Análise de contexto.....	141
5.3.1.4.	Análise de funções essenciais.....	142
5.3.1.5.	Desenvolvimento de Requisitos Não funcionais.....	149
5.3.1.6.	Especificação de requisitos funcionais e de desempenho.....	150
5.3.2.	Definição da arquitetura (Definição de subsistemas).....	152
5.3.2.1.	Definir os conceitos da arquitetura inicial.....	153
5.3.2.2.	Desdobrar a arquitetura funcional.....	153
5.3.2.3.	Definir arquitetura.....	158
5.3.3.	Projeto detalhado.....	159
5.3.3.1.	Levantar componentes da arquitetura.....	159
5.3.3.2.	Desenvolver sistema físico detalhado.....	161
6	CASO DE ESTUDO: ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA.....	171
6.1.	CubeSats brasileiros.....	171
6.2.	Estação terrena brasileira.....	172
6.3.	Aplicação do processo.....	173
6.4.	Resultados da aplicação do processo.....	174
7	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	177
7.1.	Contribuição do processo proposto em relação à revisão bibliográfica.....	177
7.1.1.	Projeto RADIO AURORA EXPLORER.....	177
7.1.2.	Processo de desenvolvimento da arquitetura de <i>CubeSats</i> .....	178
7.1.3.	Contribuição do processo proposto em relação às referências tradicionais.....	180
7.2.	Contribuição do processo proposto em relação à abordagem do LSIS.....	181
7.3.	Contribuição do processo proposto em relação à prática <i>Bottom-Up</i> ....	183
7.3.1.	Contribuição do processo proposto em relação à definição da solução de estação terrena.....	185
8	CONCLUSÃO.....	187

8.1. Objetivos atendidos .....	187
8.2. Contribuições .....	187
8.3. Limitações.....	189
8.4. Trabalhos futuros.....	189
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	191
ANEXO A – ANÁLISE DE STAKEHOLDERS .....	203
ANEXO B – ANÁLISE DE MISSÃO .....	223
ANEXO C – ARQUITETURA OPERACIONAL DA MISSÃO.....	249
ANEXO D – REQUISITOS DO SISTEMA .....	263
ANEXO E – DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA DA ETB.....	283
ANEXO F – PLANO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS .....	305

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de projetos referentes a Pico e Nanossatélites, denominados pequenos satélites, do tipo *CubeSat*, em ambiente universitário cresceu na América Latina de forma significativa na última década. Em 2002 existiam menos de dois projetos ativos, em 2016, este o número supera os 20 (MARULANDA; YARCE, 2014). Além disso, no Brasil se observou um aumento significativo no desenvolvimento deste tipo de satélites por um lado com o NanoSatC-BR1, o AESP-14, e o Serpens, já lançados (INPE, 2014; ITA, 2015a; AEB, 2015), e pelo outro o Tancredo 1, o NanoSatC-BR2 e, o ITASAT ainda em desenvolvimento (ERENO; RAMOS, 2014).

Contudo, o avanço no desenvolvimento desses projetos no Brasil está mais centrado no segmento espacial do que no segmento solo. Isto pode ser observado nos projetos de Pico e Nanossatélites lançados, anteriormente citados, onde o satélite foi desenvolvido por uma equipe nacional, e as estações terrenas foram adquiridas de uma empresa estrangeira.

Este trabalho versa sobre estações terrenas para satélites de pequeno porte e tem como objetivo o desenvolvimento de um processo de referência baseado em Engenharia de Sistemas para orientar na tomada de decisões quanto ao desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para Pico e Nanossatélites, que atenda a atual necessidade dos desenvolvedores destes satélites, de ter autonomia sobre o planejamento e execução das etapas de testes de telecomunicações, e a posterior operação, além de gerar um segmento solo eficiente, de baixo custo, e flexível.

Com esta dissertação, pretende-se analisar os aspectos significativos relacionados ao desenvolvimento do segmento solo de missões espaciais de Pico e Nanossatélites, e a importância do desenvolvimento dessas estações, para capacitação de mão de obra, e fortalecimento da academia, em vez de sua aquisição de um fabricante. Para isto, foram contrastadas estações de referência para caracterizar uma estação ideal, e com essa base propõe-se um processo de referência para o desenvolvimento das estações levando em

consideração as necessidades dos desenvolvedores de Pico e Nanossatélites no Brasil.

O processo de referência, baseado na Engenharia de Sistemas e na gestão de projetos, é apresentado de forma gráfica por meio de ferramentas de criação de modelos, com o objetivo de apresentar uma fonte de informações detalhadas para o desenvolvimento, que possa ser usado no meio acadêmico por quem desenvolve Pico e Nanossatélites. O processo abrange a identificação das necessidades de *stakeholders*<sup>1</sup>, análise de missão, e definição dos requisitos de sistema e subsistemas.

### 1.1. **Motivação**

Este trabalho é o esforço inicial para o desenvolvimento de estações terrenas para Pico e Nanossatélites com mão de obra nacional, integrando nesse desenvolvimento tecnologias atuais, principalmente COTS. Essas tecnologias no campo espacial, claramente visíveis por meio dos pequenos satélites, abriram uma porta ao espaço para que as universidades conseguissem projetar, construir, testar, e colocar em órbita satélites com pouco orçamento. Wertz et al. (2011) afirmam que uma missão espacial com satélites de pequeno porte (*Small Satellites*) custa entre 0,02% e 0,2% do valor de uma missão espacial de pesquisa científica e aplicações tecnológicas, com satélites de grande porte. Com a vantagem do custo, a educação e o treinamento na área espacial em ambiente universitário podem-se expandir cada vez mais, e a grande motivação deste trabalho é aproveitar essa vantagem e poder contribuir com as pesquisas universitárias, por meio de um processo de referência que ajudará no desenvolvimento final do projeto.

Além da seleção do segmento solo, outra das preocupações dos desenvolvedores de pequenos satélites são as causas das falhas das missões desse tipo de satélites, de acordo com Swartwout (2013) dentro da pesquisa dos 100 primeiros *CubeSat*, realizada entre os anos 2000 e 2012, as três principais causas de falhas nas missões com *CubeSats*, nessa década, tem

---

<sup>1</sup> Segundo INCOSE (2015) um *stakeholder* é um partido que tem o direito, ação ou reclamação em um sistema ou em suas características, para satisfazer suas necessidades e expectativas.

sido por 'não contato' (falha do satélite) com 45% de incidência (amostra de 100 projetos), 'comunicações' e 'sistema de potência' com 17% cada uma, sendo que as falhas por 'não contato' poderiam ser a causa de qualquer sistema, inclusive de comunicações. Com isso pode-se inferir, que se deve colocar mais esforço no que diz respeito às telecomunicações, isto é, tanto do satélite quanto do solo, para garantir o sucesso da missão, e assim diminuir a estatística para níveis mais aceitáveis, já que a taxa de insucesso de missões espaciais universitárias é de quase 50% (SWARTWOUT, 2013). Bürger et al. (2016) afirmam que provavelmente uma falha no subsistema de comunicações (TT&C) especificamente no *design* do desdobramento da antena foi uma das causas principais do insucesso da missão do satélite AESP-14.

Neste trabalho os esforços foram concentrados na aplicação de um processo de Engenharia de Sistemas. O trabalho também se propõe conscientizar a respeito dos tópicos relacionados com a comunicação entre o satélite e a estação terrena. Finalmente, o trabalho pretende ser uma fonte de informações sobre a metodologia de desenvolvimento de estações terrenas, já que as referências e ferramentas disponíveis não proporcionam um guia para desenvolver o segmento solo desta classe de satélites.

## 1.2. **Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho é apresentar um processo de referência para o desenvolvimento de estações terrenas, com ênfase em Pico e Nanosatélites de órbita baixa (LEO).

## 1.3. **Objetivos Específicos**

Com a finalidade de alcançar o objetivo geral do projeto, os objetivos específicos, listados abaixo, deverão ser atendidos:

- a) Desenvolver um processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para Pico e Nanosatélites;
- b) Exemplificar a aplicação deste processo de referência desenvolvido, com o desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para

Pico e Nanossatélites adaptada às necessidades dos satélites brasileiros deste porte;

- c) Discutir as contribuições geradas pelo processo proposto.

#### 1.4. Metodologia

Do ponto de vista da natureza da pesquisa, a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho segundo Silva e Menezes (2005) foi de pesquisa aplicada, objetiva a gerar conhecimento para aplicação prática. E do ponto de vista da abordagem do problema, de acordo com Gil (2002) é uma pesquisa exploratória, realizando levantamento bibliográfico; em entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e análise de exemplos que estimulem a compressão.

A sequência da metodologia usada na concepção do trabalho é apresentada a seguir:

- a) Fundamentação teórica dos conceitos de estações terrenas; Engenharia de Sistemas; e processos de desenvolvimento.
- b) Revisão das referências bibliográficas, focada em processos de referência e estações terrenas para Pico e Nanossatélites.
- c) Desenvolvimento do processo de referência, partindo da pesquisa de satélites de pequeno porte; e da abordagem atual de desenvolvimento de estações terrenas, cria-se uma abordagem customizada para estações terrenas, apoiada pelo processo de Engenharia de Sistemas do Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas (LSIS).
- d) Aplicação do processo criado: na exemplificação de uma estação terrena desenvolvida no Brasil.
- e) Discussão da abordagem proposta frente às necessidades, literatura e exemplos.

## 1.5. **Estrutura da dissertação**

O trabalho está estruturado de acordo com a seguinte divisão de Capítulos:

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO: apresenta o escopo do trabalho, os objetivos, a motivação, a metodologia utilizada para desenvolvimento e a estruturação do texto.

Capítulo 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: apresenta os conceitos teóricos abordados para a fundamentação do trabalho.

Capítulo 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: apresenta exemplos de estações terrenas para Pico e Nanossatélites desenvolvidas por radioamadores e por equipes de pesquisa de universidades.

Capítulo 4 - DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA PICO E NANOSSATÉLITES: apresenta a caracterização dos atributos das estações terrenas; a abordagem atual de desenvolvimento de estações, e de forma genérica apresenta o processo de desenvolvimento de uma estação terrena para Pico e Nanossatélites proposto.

Capítulo 5 - DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO: apresenta detalhadamente todas as atividades e tarefas para o desenvolvimento do processo proposto, por meio da apresentação de diagramas, métodos e ferramentas para utilização em cada atividade.

Capítulo 6 - CASO DE ESTUDO: ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA: apresenta a aplicação do processo proposto no desenvolvimento de uma estação terrena baseada nas necessidades dos atuais Pico e Nanossatélites desenvolvidos no Brasil, apresentando a adaptação do processo com cinco satélites brasileiros, os resultados gerais e as considerações sobre a aplicação.

Capítulo 7 - DISCUSSÃO: apresenta a análise de resultados e contribuições técnicas do processo proposto por meio de comparações entre o processo proposto com a literatura, e características quanto à aplicabilidade.

Capítulo 8 - CONCLUSÃO: apresenta a conclusão do trabalho por meio dos objetivos atendidos, contribuições e limitações do processo proposto, e sugestões para pesquisas futuras na linha de pesquisa do segmento solo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta dissertação é de caráter multidisciplinar, por este motivo, neste Capítulo são apresentados os conceitos básicos que foram explorados para a realização do trabalho.

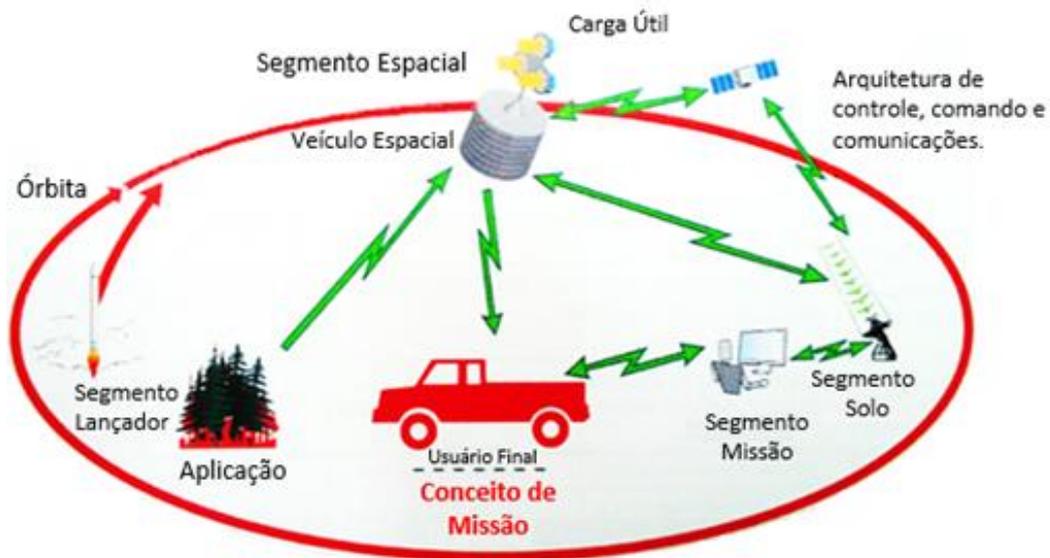
### 2.1. Sistemas Espaciais

Um sistema é a construção ou coleção de elementos diferentes que, em conjunto, produzem resultados que não podem ser obtidos pelos elementos isoladamente. Os elementos, ou partes, podem incluir pessoas, *hardware*, *software*, instalações, políticas e documentos; isto é, todas as coisas necessárias para produzir resultados em nível de sistema. Os resultados incluem propriedades, características, funções, comportamento e desempenho. O valor acrescentado pelo sistema como um todo, além da contribuição independente das partes, é principalmente o relacionamento entre elas, ou seja, como são interconectadas (INCOSE, 2015 citado por RECHTIN, 2000).

Segundo Ley et al. (2009) um sistema espacial se compõe por três segmentos, sendo eles: (i) segmento espacial, que compreende o veículo espacial (satélite) e sua carga útil; (ii) segmento de transferência, que provê transporte ao veículo espacial até o espaço por meio de um lançador; e, (iii) segmento solo, que compreende o controle e monitoramento do veículo espacial e sua carga útil, com a finalidade de distribuir e processar os dados recebidos. Os três segmentos são coordenados de acordo com os objetivos da missão. O *design* e a consideração das dependências entre aqueles segmentos são os principais desafios para conduzir com sucesso uma missão espacial. Fortescue et al. (2011) acrescentam que o sistema espacial compreende todos os elementos, tanto do segmento espacial quanto do segmento solo, incluindo as interfaces entre esses elementos.

Com mais detalhe, Wertz et al. (2011) afirmam que todas as missões espaciais consistem de um conjunto de oito elementos ou componentes, que juntos conformam a arquitetura da missão, como pode ser observado na Figura 2.1.

Figura 2.1- Arquitetura de uma Missão Espacial



Fonte: Adaptada de Wertz (2011).

Os oito elementos que correspondem a arquitetura da missão são:

- 1) Aplicação: objetivo principal para o qual a missão é construída;
- 2) Segmento Espacial (plataforma do satélite): correspondendo aos subsistemas principais do satélite;
- 3) Segmento Espacial (carga útil do satélite): correspondendo aos equipamentos que executam o objetivo para o qual o satélite foi construído;
- 4) Segmento Missão: consiste no pessoal e os equipamentos para executar a operação da missão;
- 5) Órbita: corresponde ao curso ou trajetória do segmento espacial no espaço;
- 6) Arquitetura de controle, comando e comunicações: corresponde ao conjunto de componentes que satisfazem os requisitos de enlaces de comunicação, comando e controle entre os segmentos;
- 7) Segmento lançador: inclui a infraestrutura de lançamento e o foguete que enviará o veículo espacial à órbita;

- 8) Segmento Solo: corresponde à infraestrutura e ao equipamento em terra destinado ao envio de comandos, recepção de telemetria e rastreamento do satélite.

## 2.2. Satélites

Um satélite, também denominado veículo espacial, corresponde a qualquer elemento que esteja em órbita da Terra com um determinado porte. Os satélites fabricados ou desenvolvidos por pessoas são caracterizados como satélites artificiais (BOGOSSIAN, 2014).

### 2.2.1. Classificação

Os satélites podem ser classificados em função da aplicação e da utilização, mas também por sua massa, em (TRISTANCHO, 2010): (i) Satélites de Grande Porte; (ii) Satélites de Mediano Porte; (iii) Satélites de Pequeno Porte (*SmallSats*).

De acordo com o relatório, publicado pela NASA (2014), os satélites que estão na faixa de 0,1 kg até 180 kg correspondem a satélites de pequeno porte (pequenas dimensões em massa e volume), conforme se apresenta na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Classificação dos satélites de acordo com a massa

Nome do grupo	Massa [Kg]
Grande porte	Maior a 1000
Mediano porte	180-1000
<b>Minissatélite</b>	<b>100-180</b>
<b>Microssatélite</b>	<b>10-100</b>
<b>Nanossatélite</b>	<b>1-10</b>
<b>Picossatélite</b>	<b>0,1-1 (inclusive)</b>
Femtossatélite	Menor a 0,1

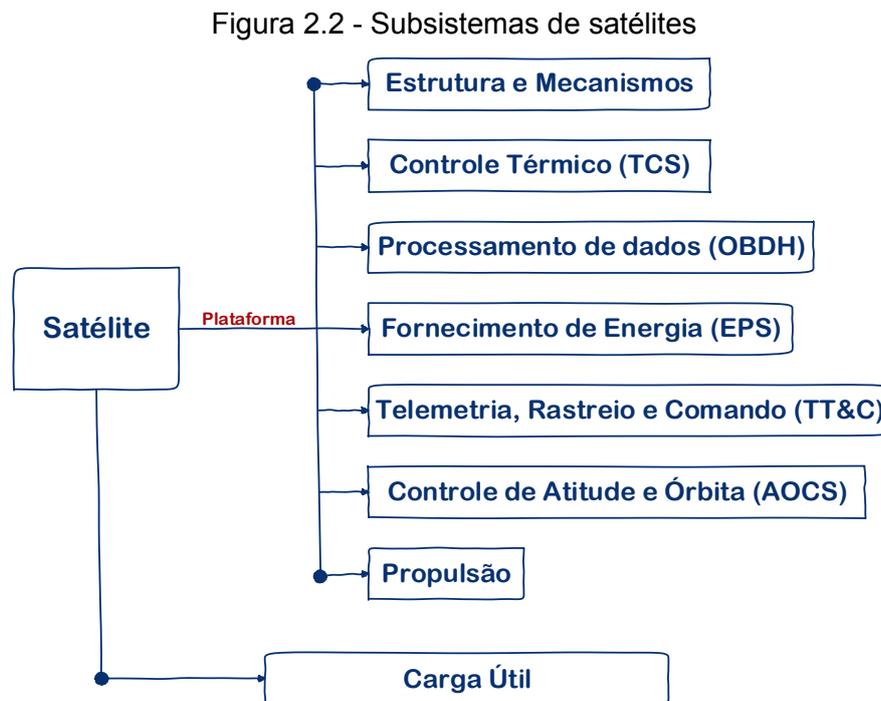
Fonte: Adaptada de NASA (2014).

Fortescue et al. (2011) afirmam que o desenvolvimento dos satélites de pequeno porte altamente competentes, rápidos, baratos e capazes de realizar distintas missões espaciais, foi devido à combinação da redução dos

orçamentos para missões espaciais por parte dos governos, e a crescente capacidade da microeletrônica na criação de elementos que cada vez consomem menos potência, e menos espaço a um menor custo.

### 2.2.2. Subsistemas de Satélites

Os satélites são compostos de vários subsistemas, os quais desempenham uma série de funções para cumprir a missão determinada. Segundo Ley et al. (2009), a complexidade dos subsistemas aumentou dramaticamente ao longo das últimas décadas. No entanto, a lógica funcional de cada subsistema, bem como aspectos da sua compatibilidade não mudou significativamente. Na Figura 2.2 podem ser observados os subsistemas que geralmente, compõem os satélites.



Fonte: Adaptada de Ley et al. (2009)

Cada subsistema tem uma função específica, entretanto, para fins desta dissertação somente será abordado com maior foco o Subsistema de Telemetria, Rastreamento e Comando (TT&C) responsável pela comunicação direta com a estação terrena, por esse motivo, sendo de vital importância seu conhecimento e detalhe. De acordo com Kirkpatrick (2005), o subsistema de Telemetria, Rastreamento e Comando ou subsistema de telecomunicações fornece

a interface entre os sistemas do satélite e a estação terrena. Os comandos do operador são enviados ao satélite por meio deste subsistema.

As funções do subsistema (TT&C) são:

- Recepção e detecção de comandos (receber o sinal de *uplink* e processá-lo);
- Modulação e transmissão de telemetria (aceitar dados dos sistemas do satélite, processá-los e transmiti-los);
- *Ranging* (receber, processar e transmitir sinais que vão determinar a posição do satélite);
- Operações: processamento de dados do subsistema, manter a sua própria saúde e status, apontar as antenas, detectar e recuperar falhas.

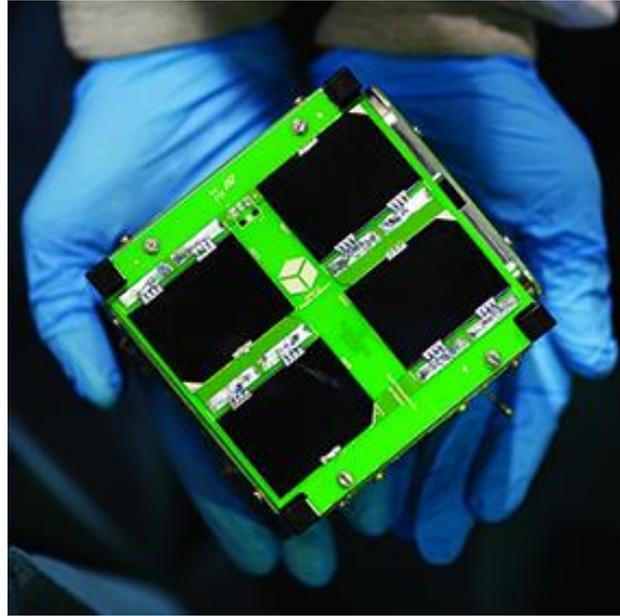
### 2.3. CubeSats

Os *CubeSats* são satélites de pequeno porte, classificados nos grupos dos Picossatélites e/ou Nanossatélites. Estes satélites foram resultado do esforço de colaboração entre Prof. Jordi Puig-Suari da *California Polytechnic State University* (CalPoly), *San Luis Obispo*, e o Prof. Bob Twiggs da SSDL (*Stanford University's Space Systems Development Laboratory*) (LEE et al., 2009). O propósito do projeto, iniciado em 1999, foi fornecer um padrão de Picossatélites para reduzir custos e tempo de desenvolvimento, aumentando a acessibilidade ao espaço. Um *CubeSat*<sup>1</sup>, como pode ser observado na Figura 2.3, é um satélite de forma cúbica de 10 cm de lado (10 cm x 10 cm x 11.3 cm), com uma massa de até 1,33 kg. Sendo que, o cubo de aproximadamente 1000 cm<sup>3</sup> e massa de 1,33 kg, é referenciado como '1U', os *CubeSats* maiores conservam este padrão, simplesmente, aumentando o número de unidades.

---

<sup>1</sup> *CubeSats*, disponível em: <http://www.cubesat.org/> acesso em: 02 jan. 2016

Figura 2.3 - Primeira plataforma *CubeSat* desenvolvida 100% no Brasil, o AESP-14, no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE.



Fonte: Revista pesquisa FAPESP (2014)

Segundo Twiggs et al. (2005) o programa *CubeSat* foi projetado para que as missões espaciais sejam concluídas em até dois anos, ou menos, o que permite que os estudantes estejam envolvidos no ciclo de vida completo da missão, especialmente em:

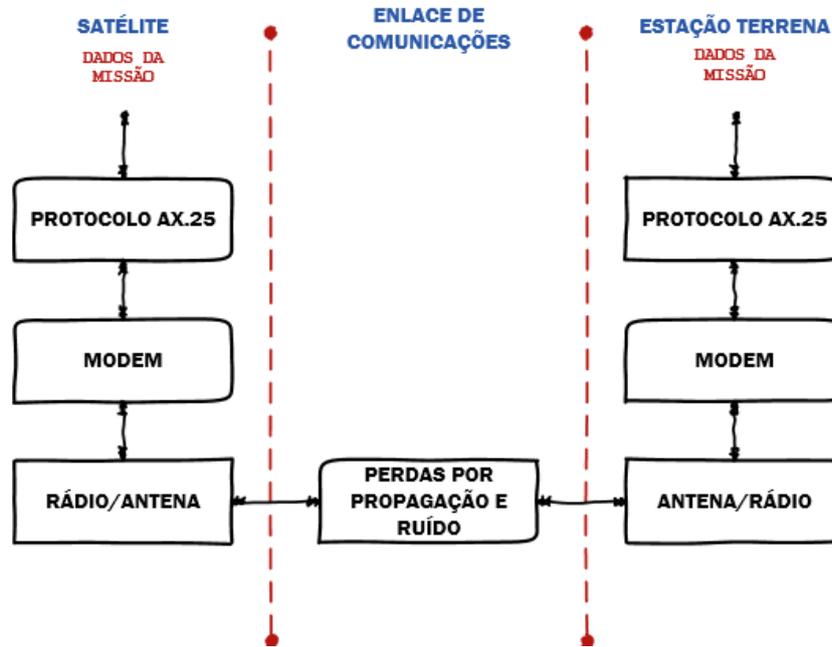
- Planejamento da missão e dos requisitos;
- Projeto, análise e testes;
- Fabricação, montagem e controle de qualidade;
- Integração e testes de sistema;
- Operação do satélite via estação terrena.

### **2.3.1. Subsistema de comunicações (TT&C) e estação terrena**

Um dos subsistemas críticos do satélite é o subsistema de comunicação, o qual deve garantir que seja possível o envio de dados de maneira confiável desde e para o satélite (ALMINDE et al., 2002). A Figura 2.4 apresenta a visão

geral do subsistema de comunicações do satélite de pequeno porte e o enlace com a estação terrena.

Figura 2.4 - Visão geral do sistema de comunicações dos satélites de pequeno porte.



Fonte: Adaptada de Alminde et al. (2002)

Conforme a Figura 2.4, o enlace de comunicações é conformado por blocos recíprocos entre o satélite e a estação terrena. Os dados da missão são os dados que necessitam ser transmitidos. Isto quer dizer que para estabelecer o *design* da estação terrena, ou do satélite, devem-se levar em consideração os dois segmentos. O bloco denominado protocolo é o sistema de empacotamento desses dados a serem transmitidos, segundo Alminde et al. (2002), neste caso, o protocolo AX.25 é o responsável pela gestão do enlace. O Modem gera a banda base, com os dados da missão, que será modulada por meio de uma portadora pelo rádio e posteriormente enviada ao espaço por meio da antena. O bloco do protocolo corresponde à segunda camada do modelo OSI (*Open System Interconnection*) de comunicações (camada de enlace de dados), e o bloco do rádio/antena corresponde a primeira camada (camada física).

No que diz respeito às estações terrenas, a NASA (2014) afirma que os satélites de pequeno porte usam uma variedade de arquiteturas para os

sistemas de solo, incluindo sistemas herdados com topologia hierárquica. Um dos fatores mais relevantes para os sistemas de solo é o custo da infraestrutura e do pessoal, portanto para reduzir esses custos, é comum nas estações terrenas de pequenos satélites misturar ou empacotar os centros de controle convencionais e as estações terrenas de rastreamento em uma única unidade e em um único local geográfico. Isto quer dizer, que quando se refere a uma estação terrena para Pico e Nanosatélites, está referindo-se ao próprio segmento solo, no entanto estação terrena é somente a interface com o satélite, já que após o recebimento de informações, as mesmas precisam ser armazenadas, processadas, e estudadas, requerendo processos operacionais e organizacionais, os quais são compreendidos totalmente pelo segmento solo, e não pelos equipamentos da estação.

#### **2.4. Segmento solo de missões espaciais**

O segmento solo de missões espaciais consiste de toda a infraestrutura e os equipamentos de comunicação associados com as estações fixas ou móveis ao redor do mundo, conectadas por vários enlaces de dados, permitindo comandar e rastrear o satélite, além de receber e processar a telemetria da missão e distribuir a informação para os operadores e os usuários finais (WERTZ et al., 2011).

Dentro do escopo do segmento solo, existem quatro componentes fundamentais para conseguir comandar, rastrear, receber e processar dados desde o satélite, sendo estes: *hardware*, *software*, pessoal e operações (HOLDAWAY, 2003).

A norma ECSS (2000) que trata sobre os sistemas terrestres e operações, reúne esses quatro componentes em dois elementos principais:

- a) Organizações de operações de solo: compreendem os recursos humanos que executam diversas tarefas operacionais e preparam os dados das operações da missão, isto é, procedimentos, documentação, parâmetros de missão, dados de descrição de missão.

- b) Sistemas de solo: correspondem a todos os elementos de infraestrutura em terra que são usados para apoiar as atividades de preparação que antecedem à fase operacional da missão, condução das operações da missão e das atividades pós-operacionais.

Dentro dos elementos do sistema de solo se encontram (ECSS, 2000):

- Sistema de Controle de Missão (*Mission Control System - MCS*);
- Equipamentos Elétricos de Suporte em Terra (*Electrical Ground Support Equipment - EGSE*);
- Sistema de Estação Terrena (*Ground Station System - GSTS*);
- Sub-rede de Comunicação terrena (*Ground Communication Subnet - GCS*).

Conforme a norma ECSS (2000), o sistema de estação terrena (GSTS) constitui a interface direta com o segmento espacial em órbita e com o controle da missão. A estação terrena fornece funções de suporte para controlar os elementos do segmento espacial e exploração dos produtos da missão. Dentro da estação terrena são consideradas duas componentes, de acordo com sua utilização:

- GSTS-SSC (*Ground Station System - Space Segment Control*): em apoio do controle de segmento espacial, isto é, serviços de telemetria, telecomando e rastreamento, tanto para a plataforma quanto para a carga útil;
- GSTS-ME (*Ground Station System - Mission Exploitation*): em apoio à exploração missão, isto é, transmissão e recepção de dados da carga útil, como sinais de telecomunicações, imagens da Terra, dados científicos, entre outros.

#### **2.4.1. Estações Terrenas (GSTS)**

De acordo com Ichikawa (2006), uma estação terrena é de importância primordial para o sucesso da missão, é a primeira e última peça no enlace de

comunicação. Seu principal propósito é realizar seguimento ao satélite e receber seus dados para posteriormente fazer a análise. Para Holdaway (2003), além de acompanhar o satélite para determinar sua posição em órbita, uma estação terrena inclui funções altamente complexas, sendo:

- a) Operações de Telemetria para adquirir e registrar dados de satélite e o *status*;
- b) Operações de Comando para interrogar e controlar as várias funções do satélite;
- c) Operações de Controle para determinar parâmetros orbitais, agendar as passagens do satélite, e monitorar o carregamento do computador de bordo;
- d) Operações de processamento de dados para apresentar todos os dados científicos e de engenharia nos formatos necessários para a evolução bem-sucedida da missão;
- e) Permitir enlaces de voz e dados para outras estações terrestres em todo o mundo e centros de processamento.

A comunicação com o satélite possui dois nomes, dependendo da direção dos dados, Camponogara (2011) os define como:

- Telecomando (TC) ou *uplink*: consiste na ligação de subida, em que a transmissão é realizada da estação terrena para o satélite;
- Telemetria (TM) ou *downlink*: Refere-se à ligação de descida, no qual ocorre a transmissão do satélite para a estação terrena, podendo apresentar o status dos diversos subsistemas do satélite (telemetria de serviço), além da transmissão dos dados coletados pela carga útil.

#### **2.4.2. Tipos de estações terrenas**

As estações terrenas, segundo Rodríguez (2011), podem ser classificadas em (a) estação fixa, (b) estação móvel e (c) estação móvel modular, descritas a seguir:

- a) Estação fixa: é uma estação que está localizada em um único ponto determinado. A localização do ponto onde a estação terrena vai ser construída, depende de fatores como a altura dos prédios próximos, a facilidade de alimentação dos equipamentos, o espaço suficiente para não perturbar outras atividades, e o clima da região;
- b) Estação móvel: é aquela estação que consegue estabelecer comunicação com o satélite em diferentes pontos ou em movimento. São estações que contam com equipamentos básicos, não robustos, e geralmente são levados em meios de transporte, tais como, carros, aviões, barcos, entre outros;
- c) Estação móvel modular: é uma estação geralmente de pequenas dimensões que possui a capacidade de ser desmontada para ser transportada com facilidade a qualquer lugar.

Conforme informações do sítio eletrônico do INPE (2011), as estações terrenas também podem ser classificadas de acordo com a sua função:

- a) Estações de Rastreamento e Controle de Satélites (TT&C): estas, além de receber os dados de funcionamento de todos os subsistemas de bordo, telecomandam a configuração e funcionamento dos mesmos, e são usadas para executar as medidas de distância e velocidade dos satélites.
- b) Estações de Recepção de Dados de Carga Útil (ME): estas são dedicadas à recepção de dados gerados pelos instrumentos embarcados que determinam a missão do satélite.

No caso das estações terrenas para satélites universitários é possível adicionar uma classificação a mais das anteriormente mencionadas. Neste

caso, existem projetos que compartilham informações com outras estações, ou possuem mais de uma estação dedicada à operação, sem ser necessariamente o centro de missão, portanto, essas estações conseguem (escutar) receber os dados de funcionamento de todos os subsistemas de bordo e executar as medidas de distância e velocidade dos satélites, porém, sem telecomandar a configuração e funcionamento dos mesmos, denominadas unicamente Estações de Rastreamento de Satélites (ERS). Um exemplo das estações (ERS) são as estações do serviço radioamador.

### **2.4.3. Estações terrenas universitárias**

As estações terrenas universitárias são principalmente projetadas para se comunicarem com satélites desenvolvidos por estudantes, como se observa na Figura 2.5. O tamanho e a complexidade da estação serão estabelecidos pelo serviço que ela irá desempenhar e das características operacionais do segmento espacial. As estações destes projetos são construídas com base aos conhecimentos técnicos do serviço radioamador, realizando a comunicação nas bandas UHF e VHF, reguladas pela *International Amateur Radio Union* (IARU), e utilizando pacotes do protocolo de comunicação AX.25 (WICKRAMANAYAKE, 2007).

Um exemplo das universidades que possuem programas espaciais baseados em projetos criados por estudantes é o *CubeSat 1U MASAT-1*, este satélite de pequeno porte desenvolvido pela *Budapest University of Technology and Economics* em Budapeste (Hungria), foi o primeiro satélite desenvolvido nesse país. Um dos propósitos da equipe de desenvolvimento foi a criação de uma estação terrena automatizada que controlasse remotamente o MASAT-1, sendo capaz de receber de telemetria, e enviar telecomandos ao satélite sem supervisão. A equipe conseguiu construir uma estação com essas características, e relatam que a quantidade de dados por dia é quatro vezes maior com a automação, do que sendo operada por humanos (DUDÁS et al., 2014).

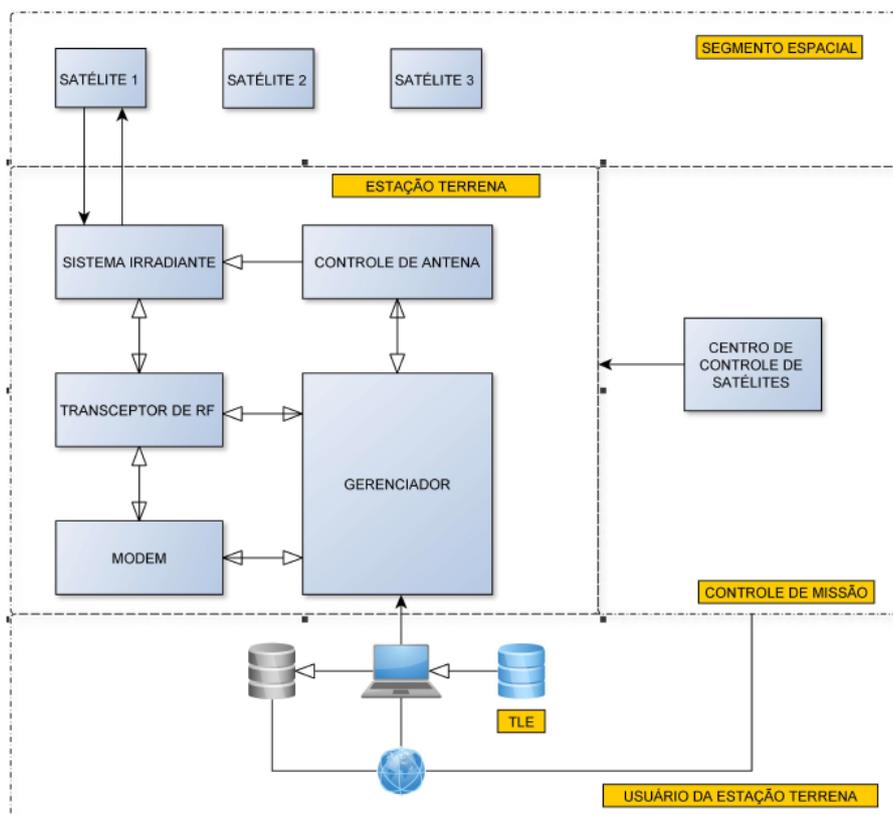
Figura 2.5 - Satélite universitário e antenas da estação terrena *CubeSat 1U Masat-1* e arranjo de antenas da estação terrena.



Fonte: Adaptada de Dudás et al. (2014)

As estações terrenas universitárias, geralmente, para satélites de órbita baixa, podem ser divididas em subsistemas, como é apresentado na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Diagrama de blocos de uma estação terrena para Pico e Nanosatélites



Fonte: Produção do autor

A Figura 2.6 apresenta, por meio de um diagrama de blocos, os subsistemas da estação, sendo estes: o sistema irradiante, o controle da antena, o transceptor de RF, o Modem, o Software gerenciador e a interface de usuário, e seus relacionamentos com os outros segmentos que compõem uma missão espacial, como o CCS e o segmento espacial.

#### **2.4.4. Elementos que compõem uma estação terrena**

Os subsistemas da estação terrena são planejados com o fim de satisfazer os requisitos previamente estabelecidos nas etapas de desenvolvimento, em outras palavras, os blocos correspondem a características que surgiram a partir das necessidades dos enlaces de comunicação com o satélite. Na maioria das vezes, uma estação típica para Pico e Nanossatélites, do tipo *CubeSat*, é composta por sete subsistemas, não obstante, este número pode aumentar ou diminuir dependendo do *design* da mesma e das capacidades desejadas pelos desenvolvedores.

##### **2.4.4.1. Sistema Irradiante**

O sistema irradiante corresponde às antenas da estação e suas interfaces. Rodríguez (2011) descreve uma antena como um condutor, encarregado de converter a energia elétrica, que é entregue pelo transmissor, em energia eletromagnética para enviar os sinais e vice-versa, já que recebe ondas eletromagnéticas e transforma estas em sinais elétricos para que possam ser processados por um receptor. Para Cardama et al. (2002) a função da antena é irradiar a potência que é fornecida com as características de direção adequadas para a aplicação.

As antenas possuem características, as quais devem ser levadas em consideração para fazer a escolha da mesma segundo sua aplicação, estas características gerais são denominadas parâmetros de antena, descritas a seguir.

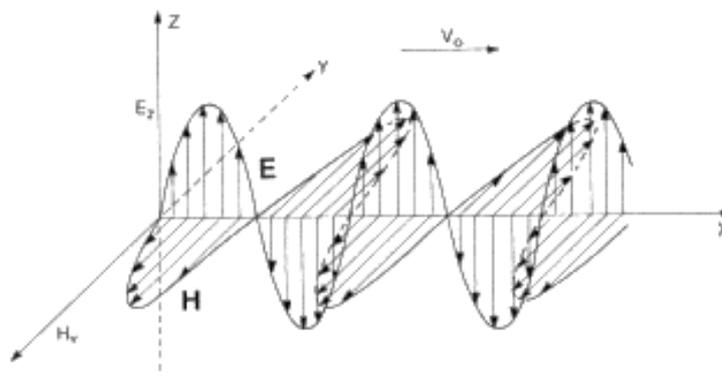
- **Polarização**

O tipo de antena a utilizar determina a polarização do sistema, esta segundo Perez (2006), é definida como a orientação do vetor do campo elétrico. A onda

eletromagnética pode ser considerada plana, na qual as componentes dos campos elétricos e magnéticos, são em todos os momentos perpendiculares entre si, e ortogonais à direção da propagação, como ilustra a Figura 2.7.

A polarização depende do plano de referência escolhido, que geralmente, é o plano da superfície da terra, entretanto, quando não é possível estabelecer um plano de referência, no caso das comunicações por satélite, estabelece-se como polarização linear.

Figura 2.7 - Componentes do campo eletromagnético em uma onda plana



E: componente do campo elétrico; H: componente do campo magnético; Vo: orientação do vetor do campo elétrico.

Fonte: Pérez et. al. (2006)

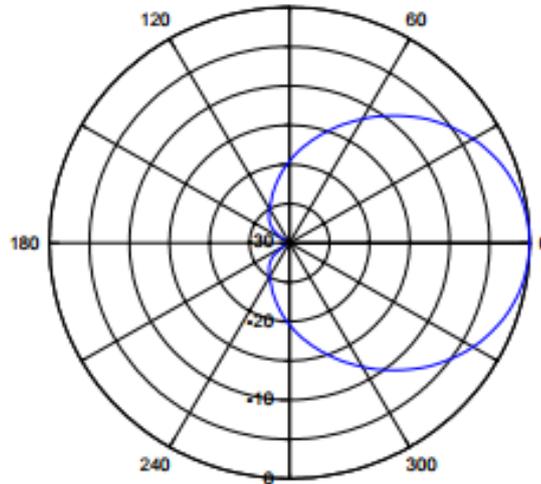
Outro tipo de polarização é a polarização circular, caracterizada por possuir um campo elétrico resultante de magnitude constante que gira no plano perpendicular à direção de propagação. Existem dois tipos de polarização circular: Polarização Circular Direita (RHCP) e Polarização Circular Esquerda (LHCP), segundo a definição da IEEE (1993) o sentido da polarização é determinado pela observação da direção de rotação do vetor do campo elétrico desde um ponto atrás da fonte de perturbação. Este tipo de polarização é frequentemente utilizada nas estações terrenas para pequenos satélites pela facilidade de implementação.

- **Diagrama de irradiação**

Segundo o sítio eletrônico do centro de tecnologia da UFRJ (2003) o diagrama de radiação representa graficamente o comportamento da antena quanto a

sua irradiação. O diagrama é comumente encontrado nos planos horizontal e vertical, como ilustra a Figura 2.8.

Figura 2.8 - Exemplo de diagrama de irradiação de antena



Em azul se apresenta a direção da energia irradiada da antena

Fonte: Valente (2004)

- **Diretividade**

A diretividade de uma antena segundo Valente (2004) é a relação entre o campo irradiado pela antena na direção de máxima irradiação e o campo que seria gerado por uma antena isotrópica<sup>2</sup> que recebesse a mesma potência, como pode ser observado na Equação 2.1.

Onde  $E_{m\acute{a}x}$ : Energia da antena estudada e  $E_{ISO}$ : Energia da antena isotrópica.

$$D = \frac{E_{m\acute{a}x}}{E_{ISO}} \quad (2.1)$$

- **Ganho**

O ganho, matematicamente, é o resultado do produto da eficiência pela diretividade como se observa na Equação 2.2.

---

<sup>2</sup> Antena isotrópica corresponde a uma antena que irradia energia uniformemente em todas as direções.

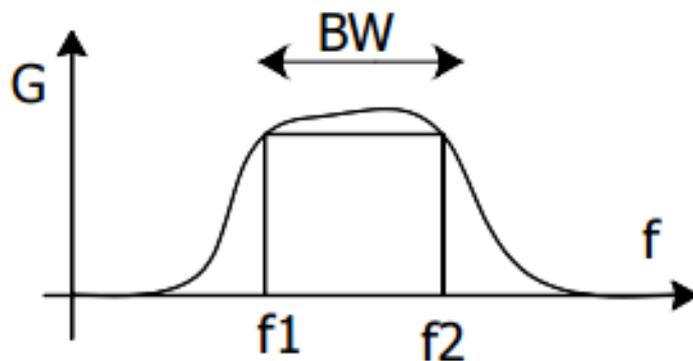
Onde  $G$  é o ganho,  $\eta$  é a eficiência e  $D$  é a diretividade.

$$G = \eta * D \quad (2.2)$$

- **Largura de banda**

Largura de banda é o intervalo de frequência à qual a antena deve funcionar satisfatoriamente, dentro das normas técnicas vigentes a sua aplicação, esse intervalo se representa com as letras BW, como se apresenta na Figura 2.9.

Figura 2.9 - Largura de banda



G: Corresponde ao ganho da antena, f; corresponde às frequências, e BW à largura de banda.

Fonte: Valente (2004)

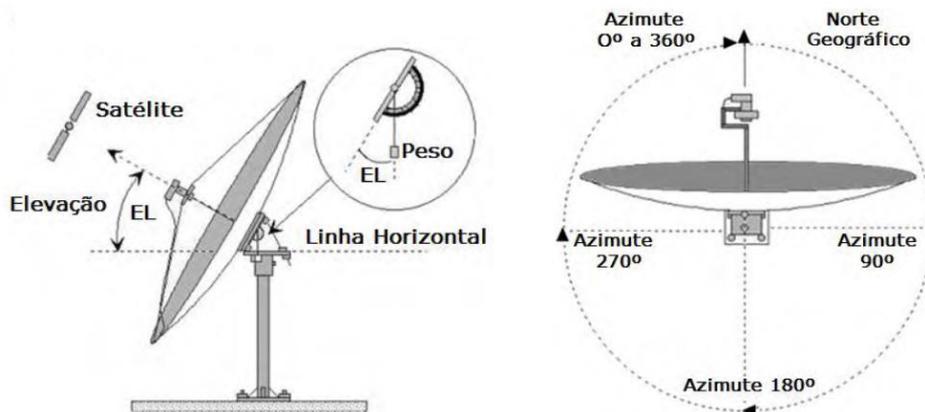
#### 2.4.4.2. Controle de Antena

A função principal do controle da antena é a movimentação do sistema irradiante para rastreamento do satélite. O sistema de seguimento ou de controle de posicionamento angular mantém a antena ou o arranjo de antenas apontando à posição do satélite, este sistema compensa a movimentação relativa entre a estação e o satélite, as características de este sistema são definidas de acordo com o tipo de antena e a órbita do satélite (OSORIO; ANDRADE, 2006).

O controle de antena posiciona as antenas com respeito a ângulos de Azimute e Elevação. De acordo com Kallas (2011) o Azimute é a distância angular,

medida sobre o horizonte, a partir de um ponto de origem, no sentido horário, até o círculo vertical que passa por um determinado astro, a sua vez define elevação como o ângulo que deve existir no plano vertical entre o satélite e a antena da estação terrena, ilustrado na Figura 2.10.

Figura 2.10 - Azimute e Elevação



Fonte: ESTEVES (1980) citado por RAFAEL (2011).

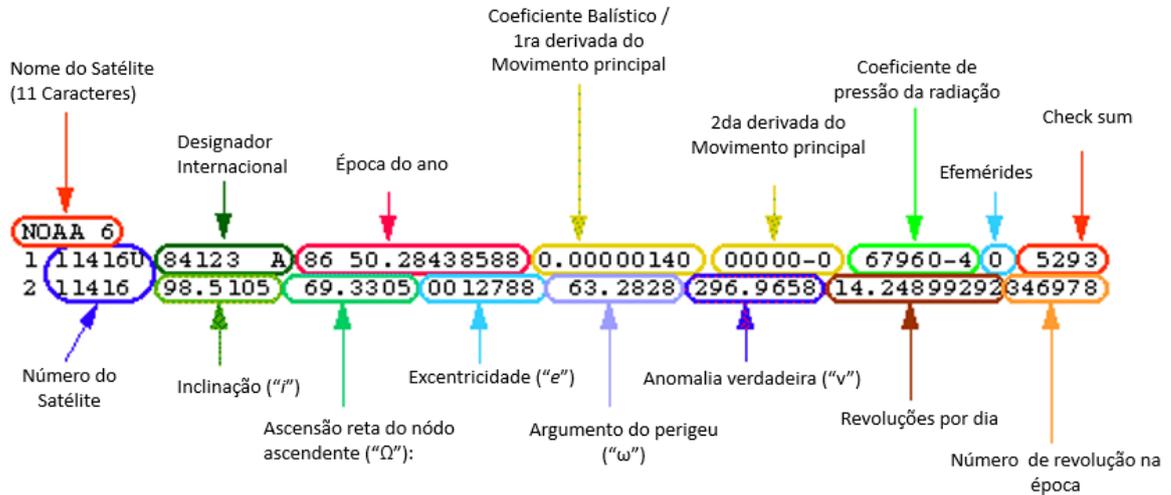
- **Rotor**

Com o propósito de movimentar as antenas, são utilizados atuadores os quais gerenciam a resposta desejada do sistema. Existem atuadores mecânicos, hidráulicos e elétricos, dependendo do tipo de energia utilizada. Para o direcionamento das antenas de uma estação terrena de Pico e Nanossatélites são empregados atuadores elétricos, frequentemente são utilizados rotores comerciais que efetuam os dois movimentos.

Para estabelecer a movimentação correta do conjunto de antenas por meio do rotor, o subsistema utiliza um método de seguimento do satélite por meio de *software*, tomando os elementos keplerianos (*keps*) do satélite para localizá-lo na posição correta. Os *keps* segundo AMSAT-CT (2002) são basicamente números (dados matemáticos), que permitem determinar as órbitas dos satélites inclusive dos astros e estrelas. Os *keps* estão incluídos nos denominados TLE (*Two Line Elements*), esta abreviatura corresponde a um conjunto de elementos formatados em duas linhas com 69 algarismos cada uma, que correspondem aos parâmetros orbitais, que além de ter informação dos *keps*, levam informação de identificação do elemento

espacial, como ilustra a Figura 2.11. Assim que para que o sistema realize a movimentação do arranjo de antenas, deve atualizar constantemente os TLE dos satélites a serem rastreados.

Figura 2.11 - Descrição dos dados do TLE



Fonte: Adaptada de NASA (2011)

#### 2.4.4.3. Transceptor de RF

Este sistema tem a função de transmitir, via RF, informação desde terra para o satélite, e receber respostas e informação na banda de frequência atribuída.

Um transceptor é um componente que realiza a transmissão e a recepção, em conjunto, trasladando o sinal com as informações até uma onda portadora nas frequências de operação, não obstante, para fins práticos, vale ressaltar cada função e cada elemento por separado, isto é, transmissão e recepção. Para poder estabelecer a comunicação entre o satélite e a estação terrena, devem-se levar em consideração alguns conceitos, para poder entender como se realiza a comunicação, descritos a seguir.

- **Frequências**

A frequência segundo o Art.3º do anexo da Resolução da Anatel nº 303 (2002), corresponde ao número de ciclos senoidais completados por uma onda eletromagnética em um segundo. Exprime-se usualmente em hertz (Hz). Estas frequências são classificadas pelo comprimento de onda, gerando uma

denominação por banda de frequência, como se apresenta na Tabela 2.2. Como mencionado anteriormente na seção 2.3, os Pico e Nanossatélites operam usualmente em frequências de radioamadorismo.

Tabela 2.2 - Bandas de frequências

<b>Frequências</b>	<b>Banda</b>
3 KHz a 30 KHz	VLF (Very Low Frequency)
300 KHz a 3000 KHz	MF (Medium Frequency)
<b>30 MHz a 300 MHz</b>	<b>VHF (Very High Frequency)</b>
3 GHz a 30 GHz	SHF (Super High Frequency)
30 KHz a 300 KHz	LF (Low Frequency)
3 MHz a 30 MHz	HF (High Frequency)
<b>300 MHz a 3000 MHz</b>	<b>UHF (Ultra High Frequency)</b>
30 GHz a 300 GHz	EHF (Extremely High Frequency)

Fonte: Produção do autor.

O serviço radioamador possui faixas de frequências determinadas, cada faixa para uso diferente. Em satélites são usualmente usadas as frequências nas bandas de 2 m (VHF) e de 70 cm (UHF).

- **Transmissor**

De acordo com Rodriguez (2011) o transmissor é o encarregado de adequar o sinal original para enviar os sinais em forma de ondas eletromagnéticas por meio de uma antena. Para conseguir enviar sinais, a seção de transmissão está formada por vários componentes entre eles amplificadores de potência e o modulador.

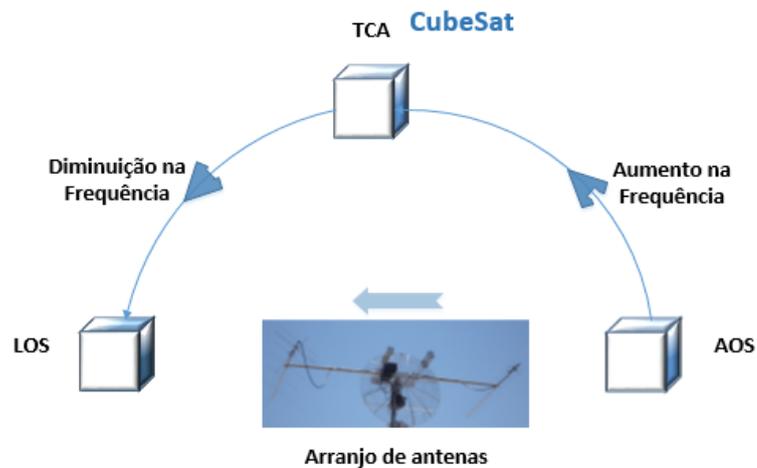
- **Receptor**

O receptor é o encarregado de converter o sinal recebido do satélite para poder interpretá-lo. A seção de recepção também está composta por vários componentes entre eles conversores e, em alguns casos, o demodulador.

- **Efeito Doppler**

O efeito Doppler é uma alteração na frequência observada de uma onda que ocorre quando a fonte e o observador estão em movimento relativamente um ao outro, como se observa na Figura 2.12. Nas comunicações via satélite, a frequência aumenta quando o satélite e a estação se aproximam um do outro, e diminui quando se separam (ICHIKAWA, 2006).

Figura 2.12 - Deslocamento do Doppler



(i) AOS: aquisição de sinal. É o tempo em que um satélite está acima do horizonte do observador. (ii) TCA: tempo de aproximação mais próximo. Este é o tempo quando o satélite está mais próximo do observador, o Doppler é zero. (iii) LOS: perda de sinal. É o momento quando o satélite passa por baixo do horizonte do observador.

Fonte: Adaptada de Ichikawa (2006)

O Doppler deve ser corrigido continuamente configurando as frequências de recepção e transmissão, segundo Dascal et al. (2013) para a banda de 2 m, o descolamento máximo é de  $\pm 3,27$  KHz, para 70 cm é de  $\pm 9,76$  KHz, e para Banda de 13 cm (Banda-S) é de  $\pm 53,8$  KHz.

- **Tipos de transceptores**

Existem dois tipos de transceptores, sendo estes: analógico e digital. Segundo Cardozo e Chamon (2004), os primeiros sistemas de satélite utilizavam comunicações analógicas, as quais buscavam preservar a forma do sinal de informação, maximizando a relação sinal a ruído. Para os satélites atuais, os sinais de informação são inicialmente convertidos para uma sequência de bits

que, em seguida, modulam uma portadora de RF. No receptor, o sinal de RF é demodulado, os bits são recuperados e o sinal original é regenerado. Isto é, a comunicação tende a ser digital.

Os transceptores analógicos comumente são os rádios que as estações de radioamador usam em suas estações, a Figura 2.13, apresenta um rádio analógico.

Figura 2.13 - Rádio Analógico usado pelo serviço radioamador



Fonte: Qsl (2016b)

O transceptor digital possui mais componentes virtuais que reais, isto é, se compõe por uma placa de *hardware* como se apresenta na Figura 2.14, porém seu desenvolvimento e aplicação e *software*. Estes tipos de transceptores são denominados de rádios definidos por software ou SDR.

- **Rádio Definido por Software (SDR)**

Para conseguir entender o SDR é necessário mencionar o DSP (*Digital Signal Processing*) que, para Youngblood (2002), é um processador digital de operações numéricas de altíssima velocidade que, neste caso, desempenha funções de rádio a níveis que antigamente eram considerados inalcançáveis com equipamentos analógicos; este último incorporou equipamento radioamador no mercado para oferecer melhor desempenho, redução de ruído e filtragem digital. O SDR é um sistema de rádio, apoiado no DSP, onde os componentes que frequentemente são *hardware* neste caso são implementados em *software*, ganhando mais capacidade operacional e diminuindo o custo do equipamento. O SDR se caracteriza pela flexibilidade,

assim trocando ou modificando seus programas (códigos) de *software* é possível alterar seu funcionamento. O rádio desenvolvido em *software* permitiu a atualização de novos e melhores modos e uma melhor taxa de desempenho sem a necessidade de trocar constantemente o *Hardware* (YOUNGBLOOD, 2002).

Figura 2.14 - Placa de *hardware* do SDR



Fonte: Superkuh (2016)

Originalmente a placa de *hardware* 'DVB+T+DAB+FM', apresentada na Figura 2.14, usada como SDR, era destinada à recepção de televisão por FM. Atualmente no mercado radioamador, este tipo de dispositivos, denominados *Dongle (Doméstico)*, converteram-se em uma ajuda no processamento de dados digitais para os desenvolvedores. Entre os mais famosos dispositivos se encontram o *FUNcube Dongle*<sup>3</sup>, e o *GAUSS Ground Dongle*<sup>4</sup>.

#### 2.4.4.4. Modem

O modem da estação corresponde a interface entre o computador da estação e o transceptor de RF, isto é, entre o digital e o analógico (RODRÍGUEZ, 2011).

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.funcubedongle.com/> acesso em: 02 jan. 2016

<sup>4</sup> Disponível em: <http://www.gaussteam.com/services/satellite-subsystem/radio/> acesso em: 18 mar. 2016

O modem modifica o formato da informação elétrica (de uma onda denominada portadora) com o objetivo de transmiti-la com a menor potência possível; à menor distorção possível, e com facilidade de recuperação da informação original, ao menor custo possível, processo denominado modulação. A demodulação é o processo físico em que possibilita recuperar a informação do sinal transmitido (CAMPOS et al., 2016).

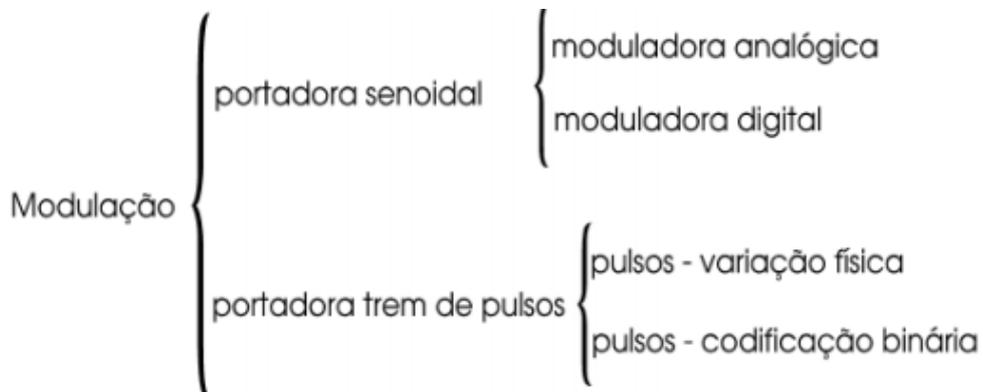
Existem dois tipos de modulação para as portadoras analógicas, como ilustra a Figura 2.15, uma delas de caráter analógico e a outra digital (UFRGS, 2014).

- Moduladora analógica: AM (*Amplitude Modulation*) ou modulação em amplitude; FM (*Frequency Modulation*) ou modulação em frequência; PM (*Phase Modulation*) ou modulação em fase.
- Moduladora digital: ASK (*Amplitude Shift Keying*) ou modulação por deslocamento de amplitude; FSK (*Frequency Shift Keying*) ou modulação por deslocamento de frequência; PSK (*Phase Shift Keying*) ou modulação por deslocamento de fase.

A modulação em fase PSK é dividida em três tipos

- BPSK: monobit (2-PSK);
- QPSK: multi-nível (4-PSK) e (8-PSK);
- DPSK; DQPSK: diferencial.

Figura 2.15 - Tipos de portadoras



Fonte: Campos et al.(2016)

- **Protocolo de rede (Enlace de comunicações) - AX.25**

A função principal do protocolo AX.25 é transmitir pacotes de informação. Em sua criação teve por objetivo ajudar aos desenvolvedores de estações terrenas e usuários de equipamentos de rádio do serviço radioamador (BEECH et al., 1998). Este protocolo foi criado pelo radioamador Terry Fox, e foi adotado pela ARRL (*American Radio Relay League*) em outubro de 1984 (RCCA, 2016), tem estado em serviço ao redor de 32 anos.

O protocolo AX.25 que funciona tanto em *Half Duplex* quanto em *Full Duplex* está situado na camada de enlace de dados no modelo de referência OSI composto por sete camadas, como se apresenta na Figura 2.16, o qual padroniza e caracteriza as funções de comunicação de um sistema de computação. O AX.25 utiliza para seu funcionamento as duas primeiras camadas (as mais baixas) por onde se executam suas funções por meio de máquinas de estados finitos.

Este protocolo, em 2016, está presente na maioria das estações terrenas e nos Pico e Nanossatélites universitários. Na revisão bibliográfica foram pré-selecionadas 12 estações para caracterizar o seu *design* onde 11 das 12 estações terrenas ao redor do mundo usam ainda o protocolo AX.25.

Figura 2.16 - Camadas do modelo OSI

<b>Camada</b>	<b>Função</b>
7	<b>Aplicação</b>
6	<b>Presentação</b>
5	<b>Sessão</b>
4	<b>Transporte</b>
3	<b>Rede</b>
2	<b>Enlace de Dados</b>
1	<b>Física</b>

Fonte: Adaptada de Beech (1998)

O protocolo é enviado por meio de pequenos blocos de informação, denominados *Frames* ou estruturas, geralmente a informação é empacotada em três modos de *Frames*, sendo: (i) *Frame* de informação (I), (ii) *Frame* de supervisão (S), e (iii) *Frame* sem numerar (U). Cada trama está composta por segmentos denominados campos, apresentados na Figura 2.17.

Figura 2.17 - Frames do Protocolo AX.25

Flag	Address	Control	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

a)

Flag	Address	Control	PID	Info	FCS	Flag
01111110	112/224 Bits	8/16 Bits	8 Bits	N*8 Bits	16 Bits	01111110

b)

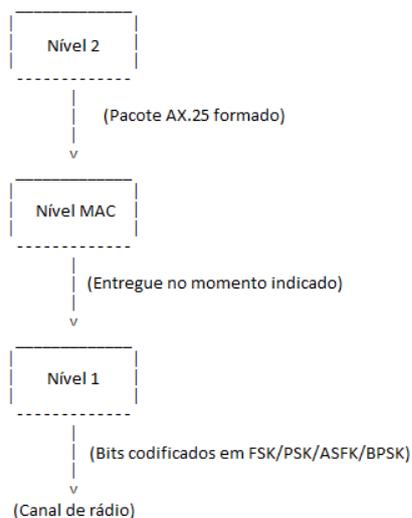
a): Construção dos Frames (U) e (S);

b): Construção do Frame (I).

Fonte: Adaptada de Beech (1998)

A Figura 2.18 apresenta o caminho que segue o pacote de AX.25 até a transmissão pelo canal de rádio, o 'nível 2' é a camada de enlace de dados o 'nível MAC' é a interface que realiza o controle de acesso ao médio, e o 'nível 1' é a camada física.

Figura 2.18 - Caminho do pacote em AX.25



Fonte: Adaptada de Ramírez (2000).

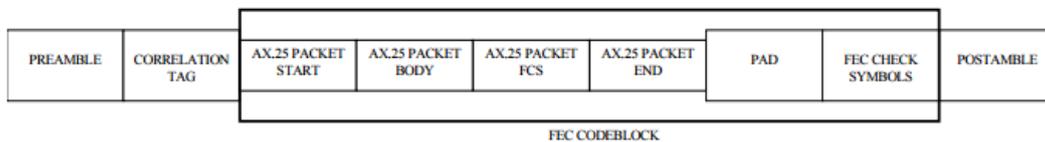
- **Protocolo de Rede (FX.25)**

Um dos problemas do protocolo AX.25 é que não considera a correção de erros, assim este se converte em um protocolo com baixo desempenho em ambientes onde o canal de comunicações é propenso a erros, a falha de um único bit causará que o AX.25 (16-bit Frame) seja inválido, resultando o descarte do pacote completo (MCGUIRE et al., 2006).

Segundo o McGuire et al. (2006), a extensão FX.25 para AX.25 implementa uma correção de erros (FEC) denominada "*wrapper*" em torno de um pacote AX.25. O FX.25 desloca uma parte do AX.25 colocando o processo de correção de erro na parte inferior da camada 2 do modelo OSI (enlace de dados), reduzindo a necessidade de aumentar pedidos de retransmissão e aumentando o rendimento em ambientes de canais unidirecionais.

A estrutura do *Frame* FX.25 encapsula os pacotes do protocolo AX.25, e não duplica os serviços prestados deste, como se apresenta na Figura 2.19.

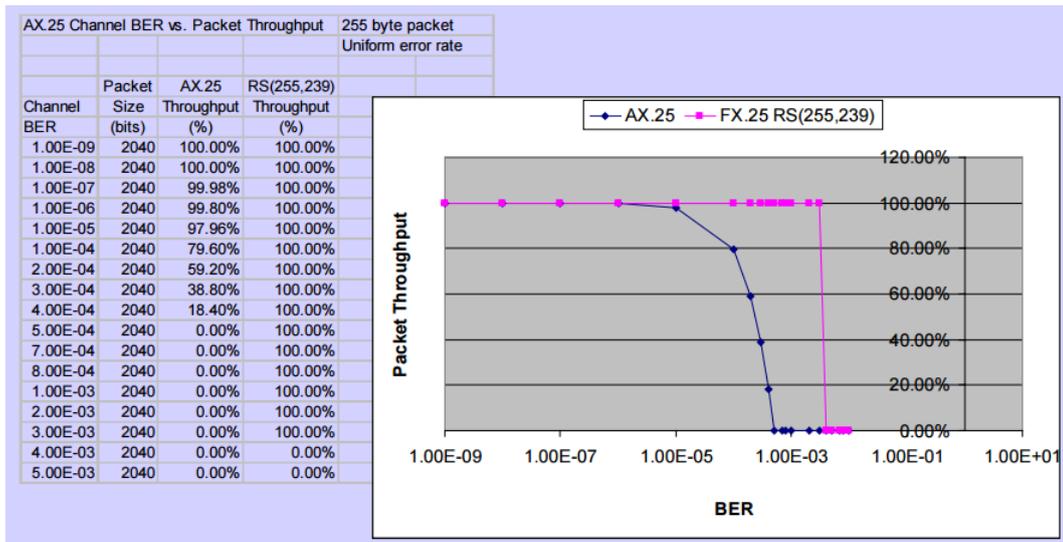
Figura 2.19 - *Frame* do protocolo FX.25



Fonte: Beech (1998)

O protocolo FX.25 mantém a compatibilidade que existe com os equipamentos que usam o protocolo AX.25. A Figura 2.20 apresenta uma comparação entre os pacotes de dados com os dois protocolos e a taxa de erro de bits (BER) entre eles. O rendimento dos pacotes do mesmo tamanho (2040 Bits) com FX.25 é de 100%, com taxas de erro altas entre 3,00E-03 até 1,00E-09, enquanto o protocolo AX.25 tem um bom desempenho com taxas de erro menores, entre 1,00E-08 até 1,00E-09, vale ressaltar que, com taxas de erro maiores o desempenho dele é quase nulo.

Figura 2.20 - Comparação do rendimento dos pacotes em AX.25 e FX.25.



Em azul se apresenta o desempenho do protocolo AX.25, em roxo se apresenta o desempenho do protocolo AX.25 com a adição do FEC (FX.25).

Fonte: McGuire (2007)

- **Protocolo de rede (*Cubesat Space Protocol-CSP*)**

O CSP (*CubeSat Space Protocol*), é o Protocolo exclusivo para *CubeSat*, baseado nos protocolos de comunicação da CCSDS (*Consultative Committee for Space Data Systems*).

O CSP é um protocolo que trabalha na camada do modelo OSI (Rede) projetada para *CubeSats*. O conceito foi desenvolvido por um grupo de estudantes da Universidade de Aalborg (Dinamarca) em 2008, para a missão *CubeSat AAUSAT3*. O protocolo é baseado em um cabeçalho de 32 *bits* contendo informação das camadas de transporte e rede. A implementação deste protocolo, a partir do 2011, é mantida pelos alunos da Universidade de Aalborg e da empresa *spin-off*, da missão AAUSAT3, *GomSpace ApS* (GOMSPACE, 2011).

O código CSP está disponível sob uma Licença Pública Geral GNU (LGPL) no *github* sob '*gomspace / libcsp*' (BEZEM et al., 2013).

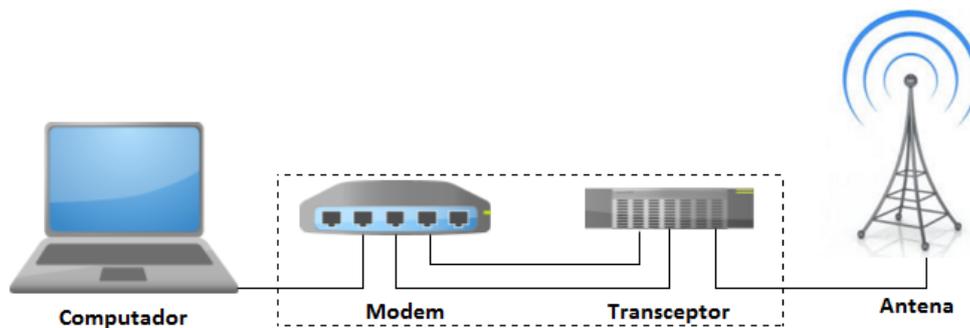
- **Tipos de modems**

Existem dois tipos de modems que são usados atualmente pelas estações terrenas, sendo estes modems desenvolvidos em *hardware* como o TNC e modems desenvolvidos em *software*, descritos a seguir:

- a) TNC (*Terminal node Controller*): é um dos mais conhecidos e utilizados modems do mercado, porém, sua tecnologia é bastante antiga. O TNC é o encarregado de trabalhar com modos digitais, ele realiza o processamento da informação entre o transceptor e o computador como ilustra a Figura 2.21.

No modem é onde o protocolo AX.25 é tratado, e age de acordo com o envio do sinal, para transmissão agrupa-se a informação gerada pelo computador em pacotes, que são modulados em banda base. Para recepção demodula o sinal recebido, gerando novamente a banda base e, dessa forma, envia a informação ao computador. Para realizar a comunicação entre o computador e o TNC utiliza-se o protocolo KISS ("*Keep It Simple, Stupid*").

Figura 2.21 - Ligação entre os equipamentos



Em alguns casos, o transceptor e o modem convertem-se um único equipamento  
Fonte: Adaptada de QSL (2016a)

- b) Modem desenvolvido em *Software*: a função do modem permanece sendo o processamento dos modos digitais, no entanto, em *software*, ele se converte em um programa a mais instalado no computador com interface com a placa de som, com um custo menor e com mais flexibilidade, já que pode-se ter vários tipos de modems na estação.

#### 2.4.4.5. **Software e Interface de Usuário**

Nas estações terrenas existem diferentes tipos de *softwares* os quais desempenham várias funções antes da passada, durante a passada e depois da passada do satélite. O *software* embarcado na estação é classificado em três grupos, sendo estes: (i) de rastreamento, (ii) de controle, e (iii) de rádio/modem. Existe ainda uma outra classificação de software denominada *software* de interface do usuário, todavia, neste caso cada um deles contém no seu desenvolvimento uma interface gráfica para o usuário denominada GUI (*Graphical User Interface*).

- **Software para rastreamento**

Usado para identificar a tanto a posição inicial (AOS-Aquisição de sinal) quanto a final (LOS-Perda de Sinal) do satélite. Estes *softwares* surgiram do ambiente radioamador e são gratuitos (em sua maioria), e obtêm os dados orbitais de *sites web* tais como *Celestrak*<sup>5</sup> que se apoia na NORAD (*North American Aerospace Defense Command*) para atualizar os dados constantemente. Os *softwares* livres deste tipo mais usados no médio encontram-se *Gsat/ Predict*, *Orbitron*, *NOVA/ SatScape*, entre outros.

- **Software para controle e gerenciamento**

Permite controlar orquestrar os elementos da estação nas três etapas da passada, assim como também conseguem controlar uma estação remotamente por meio da internet. Em sua maioria estes *softwares* são de desenvolvimento do proprietário da estação, pois é ele quem coordena como a estação vai funcionar, um exemplo deste tipo de *softwares* pode ser o 'Plan 73' da estação PY2SDR, detalhada no Capítulo 3, seção 3.2, o qual gerencia a estação completa, inclusive serve como *software* de rastreamento de satélites. Outro exemplo é o *ROTOR CONTROL SOFTWARE*, disponível em internet<sup>6</sup>, com a finalidade de realizar controle do rotor da antena.

---

<sup>5</sup> Disponível em: <http://www.celestrak.com/NORAD/elements/> acesso em: 02 jan. 2016.

<sup>6</sup> Disponível em: [http://www.dxzone.com/catalog/Software/Antenna\\_rotor\\_control/](http://www.dxzone.com/catalog/Software/Antenna_rotor_control/) acesso em: 02 jan. 2016.

- **Software de rádio**

Executam funções de tratamento de sinais, eles permitem a recepção de qualquer tipo de taxas e modos de transmissão de dados (analógico e digital), além disso permitem realizar correção de erros o que garante a boa qualidade do sinal e a confiabilidade da estação e, por último permitem decodificar as informações provenientes dos sinais. Estes tipos de programas também são gratuitos desenvolvidos pelo serviço radioamador. Entre os mais usados estão o BAYCOM 1.6 para MS-DOS, o AWG *Packet Engine*, o KISS *Console* para *MS-Windows*, e o SDR#Sharp.

No sítio eletrônico da AMSAT<sup>7</sup> é possível fazer *download* gratuito dos *softwares* mais usados disponíveis para qualquer sistema operacional entre eles se encontram programas de controle de rotor, sintonização de rádio, decodificação de telemetria, análise de dados entre outros.

#### 2.4.4.6. Estrutura de suporte da estação

A estrutura da estação suporta a instalação externa e interna da estação, e depende da característica funcional dela, ou seja, do tipo de estação ou de serviço a prestar, para as estações móveis uma estrutura não é necessária, uma vez que o *design* delas comumente não contém um sistema de controle de antena e, a antena pode ser levada simplesmente com as mãos.

O subsistema estrutural é necessário para as estações fixas e as estações móveis modulares que usam controle de antena, em sua maioria as estações terrenas são autossuportadas e se diferenciam pela penetrabilidade ao campo.

- **Estrutura não penetrável**

Estes tipos de montagens não penetram a área onde a estação vai permanecer, usualmente são usados suportes, tipo tijolos, para assegurar a

---

<sup>7</sup> Disponível em: <http://www.amsat.org/amsat-new/tools/softwareArchive.php#win-trk> acesso em: 02 jan. 2016.

estabilidade (RODRÍGUEZ, 2011), e é implementado quando o uso da estação não é constante ou quando a estação é móvel modular.

- **Estrutura penetrável**

Estes tipos de montagens penetram a área da estação onde a estação vai permanecer, usualmente são penetradas zonas como os terraços (RODRÍGUEZ, 2011).

#### **2.4.5. Empresas comerciais de estações terrenas para Pico e Nanossatélites**

No mercado existe uma grande quantidade de desenvolvedores de componentes para as estações e, de estações terrenas prontas. A Figura 2.22 apresenta quatro fabricantes que mostraram maior impacto no mercado de Pico e Nanossatélites. Segundo a NASA (2014), o preço dessas estações oscila entre USD \$ 10.000 e USD \$ 100.000.

Estas empresas fornecem soluções prontas com altas capacidades e distintos serviços, a marca mais conhecida e com maior nível de prontidão tecnológica<sup>8</sup> é a ISIS (TRL 9), empresa que oferece estações terrenas modulares com serviços em três bandas de frequência: VHF, UHF e Banda S. A ISIS forneceu duas estações no Brasil, uma para o projeto NANOSATC-BR1 e outra para o AESP-14.

---

<sup>8</sup> TRL: escala numérica usada para expressar o grau em que uma tecnologia está pronta para aplicação em uma missão espacial (WERTZ, 2011).

Figura 2.22 - Empresas comerciais que oferecem soluções de ET

Nome da tecnologia	Descrição	Desenvolvedor	Nível de Maturidade TRL	Imagem
<b>ISIS Small Satellite Ground Station</b>	Configuração de Estação terrena detalhada para microsatélites e CubeSats (Nas bandas VHF, UHF e S)	Innovative Solutions In Space (Holanda)	<b>9.</b> Tem sido usada com sucesso em pelo menos uma missão: Delfi-C3 missão NANOSAT (2008)	
<b>Open System of Agile Ground Systems (OSAGS)</b>	Rede de baixo custo de três estações terrestres Banda S equatorial	Espace, Inc. (USA)	<b>8.</b> Utilizada com sucesso em agosto de 2002 para operar o MIT HETE-2 missão.	
<b>Satellite Tracking and Control Station (STAC)</b>	Configuração de Estação terrena detalhada para microsatélites e CubeSats (Nas bandas VHF, UHF e L e S)	Clyde Space (Escócia)	<b>8.</b> Instalada no telhado da Universidade de Strathclyde, em Glasgow, na Escócia. Operacional por 2 anos.	
<b>Mobile CubeSat Command &amp; Control Ground Station (MC3)</b>	Rede de estações terrestres totalmente autônomas de apoio Programa Colony da NRO	Naval Postgraduate School (USA)	<b>6.</b> TRL avaliação suportada por Griffith (2011)	

Fonte: Adaptada de NASA (2014)

#### 2.4.6. Redes de estações terrenas para Pico e Nanosatélites

Com o auge dos projetos *CubeSat*, o número de estações no mundo incrementou-se também. Ao realizar cálculos da eficiência dessas estações com relação a sua utilidade, cada estação rastreia e telecomanda exclusivamente um satélite de órbita baixa entre 350 km e 600 km, nessa faixa de altura o satélite estaria realizando entre 14,7 e 15,7 órbitas por dia, e ao redor de duas ou até três passadas pela mesma estação (isto dependendo do tipo específico de órbita), em média o tempo de cada passada é de 15 minutos, assim cada estação estaria sendo utilizada somente 0,75 horas por dia, o que equivale a 3% da sua capacidade, estando inoperativa aproximadamente 23 horas. Para evitar o desperdício de energia e ao mesmo tempo aumentar a utilidade da estação, os desenvolvedores de estações pensaram na ajuda mútua entre projetos, isto é, emprestar a estação para qualquer satélite que precisar dela e vice-versa. Este conceito foi abordado a

princípio, nos Estados Unidos pela universidade de *Stanford* com uma rede denominada *Mercury* em 2004, criada por James Clutter.

A Figura 2.23 apresenta seis redes de estações terrenas para Pico e Nanossatélites desenvolvidas ao redor do mundo. As redes Mercury, GSN, MC3 e GENSO não continuaram sua implementação. As redes ativas, em 2016, são SATNet da Calpoly (USA) e SatNOGS da Grécia.

O objetivo principal de uma rede de estações terrenas corresponde ao incremento de dados que podem ser descarregados ou enviados ao satélite, assim como o incremento no controle das operações por parte dos proprietários dos satélites (KLOFAS, 2009).

Figura 2.23 - Redes de estações terrenas de pequenos satélites

	Mercury	GSN	MC3	GENSO	SATNet	SatNOGS
<b>Paradigma</b>	Cliente servidor	Cliente servidor	Legacy GCA	Hybrid P2P	Distribuída	Distribuída
<b>GS Remota</b>	Dados	Dados	Dados	Audio/Data	Dados	Dados
<b>Federação</b>	SIM	-	SIM		SIM	SIM
<b>Agendamento</b>	-	-	Central	Distribuída	Hybrid	Distribuída
<b>Segurança</b>	Central	-	Central	Central	Distribuída	Central
<b>Fonte</b>	Source forge (2003)	-	-	-	Github	Github
<b>Licença</b>	GPLv2	-	-	ESA	Apache v2	GNU Affero GPL
<b>País</b>	USA	Japão	USA	Europa	USA	Grécia

Fonte: Adaptada de Aguado (2015)

É importante referenciar as redes de estações desenvolvidas no mundo, já que no Brasil, o IFF (Instituto Federal Fluminense) está desenvolvendo uma rede deste tipo, com nome RIBRAS (Rede Integrada Brasileira de Rastreamento de Satélites) inicialmente composta de seis estações ligadas através da Internet, de propriedade dos Institutos Federais, como apresenta a Figura 2.24.

O diâmetro de cobertura de cada estação da rede RIBRAS, segundo Salotto (2014) é de aproximadamente de 200 km com uma elevação de 12 graus. O principal objetivo deste projeto é apoiar as operações da constelação de Pico

e Nanossatélites QB50. O IFF (Rio) e o IFMT (Cuiabá) serão os centros principais da rede.

Figura 2.24 - Estações da rede RIBRAS



Em verde são apresentadas as coberturas das estações dos Institutos Federais.

Fonte: Adaptada de IFF (2015)

#### 2.4.7. Serviço Radioamador

O Radioamador é o serviço de telecomunicações de interesse restrito, destinado ao treinamento próprio, intercomunicação e investigações técnicas, levadas a efeito por amadores, devidamente autorizados, interessados em radiotécnica unicamente a título pessoal e que não visem qualquer objetivo pecuniário ou comercial (ANATEL, 2015).

Além do serviço radioamador, existe o serviço radioamador por satélite, que conforme a IARU (2006) se define como o serviço de rádio comunicação utilizando estações espaciais em satélites para o mesmo objetivo do serviço radioamador.

O uso das estações terrenas para satélites de orbita baixa (Pico e Nanossatélites) é devido ao impulso que o serviço radioamador deu no setor

espacial. Como mencionado anteriormente, a maioria de programas e de equipamentos são desenvolvimentos deste serviço, além disso, a documentação necessária para conseguir a alocação de frequências é desenvolvida por radioamadores, e são eles quem tem a maior experiência no assunto. Finalmente para poder operar uma estação que opere nas faixas de frequências destinadas para esse serviço, deve-se contar com uma autorização de um radioamador devidamente licenciado.

A AMSAT trabalhando pelo objetivo da pesquisa e comunicação espacial criou a constelação de satélites conhecida como OSCAR (*Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio*), isto é, satélites em órbita levando equipamento radioamador. A partir dessa constelação a comunidade radioamadorística tem desenvolvido muitos equipamentos e cargas úteis para satélites de pequeno porte.

- **Estações terrenas de radioamador**

As estações de radioamadores se caracterizam por estar equipadas com sistemas de comunicações robustos tais como rádios, modems, amplificadores, fontes de corrente, conversores, antenas e computadores, como se apresenta na Figura 2.25a. Mas o avanço da tecnologia na elaboração de produtos altamente compactos criou uma nova geração de estações terrenas para radioamadores, como se apresenta na Figura 2.25b, as estações de radioamador deixaram de ser robustas em *hardware* para ser robustas em *software*.

Figura 2.25 - Evolução do *hardware* das estações terrenas de radioamadores



a): Estação de radioamador da *Technical University of Cluj-Napoca*

b): Estação terrena auxiliar de recepção da ET PY2SDR.

Fonte: Adaptada de DASCAL et. al. (2013)

## 2.5. Engenharia de Sistemas

O Standard 1220-1994 do IEEE (1995) define a Engenharia de Sistemas como uma abordagem colaborativa interdisciplinar para derivar, desenvolver e verificar uma solução balanceada do sistema ao longo do ciclo de vida, que satisfaça às expectativas dos *stakeholders* e atenda a aceitação pública.

Loureiro (1999) define o processo do ciclo de vida como um conjunto de atividades que caracteriza a evolução do produto, começando pela percepção dos requisitos dos *stakeholders*, e terminando com a eliminação do produto. Nesse contexto Loureiro (1999) define *stakeholders* como qualquer indivíduo ou organização cuja satisfação ou insatisfação é afetada pelos atributos de um produto, seu processo do ciclo de vida ou suas organizações executoras.

Weck et al. (2011) incrementam o termo complexidade à definição da Engenharia de Sistemas, determinando que o sistema é caracterizado por um alto grau de complexidade técnica e social, e processos elaborados, destinados a cumprir funções importantes na sociedade.

Weck et al. (2011) expõem que para distinguir o uso da Engenharia de Sistemas existem quatro características que ajudam no entendimento na hora da aplicação, sendo: (i) Engenharia de Sistemas existe no mundo real, isto é, o sistema de interesse deve ter uma parte física (real) dentro dos seus componentes. (ii) Artificialidade, que existe em virtude da intervenção do homem, o sistema deve ser concepção do homem ou modificado por ele, do contrário estaria sendo tratado um processo de um sistema natural. (iii) Dinamismo, ele assegura que as propriedades, os elementos e as inter-relações são fluidas, ou seja, sempre mudam com relação ao tempo. (iv) Envolvimento dos humanos, tais como projetistas, construtores, operadores, entre outros.

Complementando a definição de sistema do INCOSE, apresentada no início deste capítulo, pode-se dizer que o sistema é mais do que a combinação de *hardware* e *software*. Também, nele se incluem a organização, o pessoal, os sistemas de treinamento, as instalações, o tráfego de informação, o suporte, os procedimentos operacionais, e as políticas organizacionais, a fim de coincidir que o sistema é completamente definido pela combinação desses recursos operacionais com o ambiente operacional em ordem de alcançar um propósito. O sistema entrega uma capacidade operacional, não somente um produto.

Ryan et al. (2015) esclarecem que o propósito do sistema é denominado missão, e esta representa o ponto de partida do mesmo.

### **2.5.1. Classificação de Sistemas complexos**

Em Weck et al. (2011) um sistema complexo é classificado em três perspectivas, sendo: escopo, função, e arquitetura, definidos a seguir.

#### **2.5.1.1. Escala e escopo**

A escala abrange geografia, demografia, pessoal e outros aspectos que permitirão a medição do sistema quantitativamente, o escopo abrange o limite do problema. A escala e o escopo são fatores importantes na definição do sistema, segundo De Weck et al. (2011) muitas propostas feitas para sistemas

complexos não foram bem-sucedidas devido a que não foram bem escaladas. Assim, para conseguir definir a escala e o escopo devem-se determinar os limites (fronteiras) do sistema. Os limites e as interconexões do sistema não são acidentais, são resultados de um processo de design deliberado.

#### 2.5.1.2. **Função**

De acordo com o dicionário (MICHAELIS, 2016) função é uma ação natural e própria de qualquer coisa, que corresponde a uma atividade especial, serviço, encargo ou missão. Segundo De Weck et al. (2011) a função está completamente ligada ao propósito do sistema, é a razão pela qual o sistema existe, isto é, a função está ligada à missão do sistema. Em concordância com o exposto por Ryan et al. (2015).

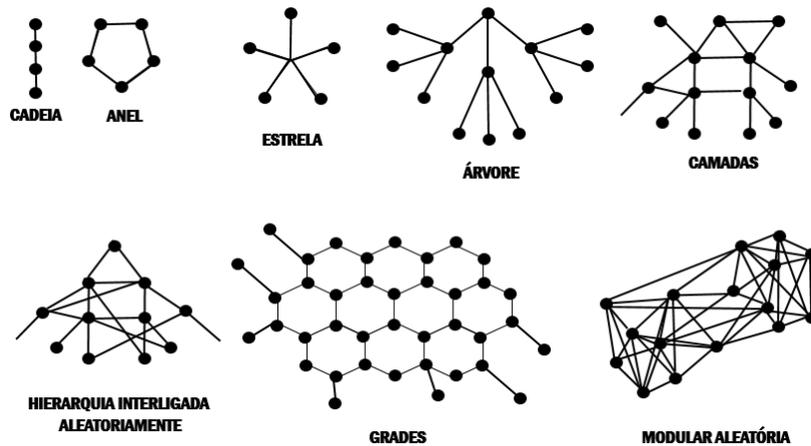
#### 2.5.1.3. **Estrutura (Arquitetura)**

A arquitetura segundo Clements (1996) refere-se aos objetos que compõem um sistema, as especificações comportamentais para esses componentes e os padrões e mecanismos que conformam as interações entre eles.

A arquitetura envolve um número de conceitos, tais como modos de decomposição, que determina a separação do problema em subproblemas ou componentes; e hierarquia, que corresponde a organização da decomposição, entre outros.

A Figura 2.26 apresenta as topologias usadas na construção da arquitetura, onde é possível observar a decomposição e a hierarquia dos sistemas.

Figura 2.26 - Topologia das arquiteturas de sistema



Fonte: Adaptada de De Weck et al. (2011)

Loureiro (2014) classifica um sistema complexo por três fatores (i) variedade: diferentes tipos de elementos em um conjunto, (ii) conexão: número de ligações ou relacionamentos entre elementos e (iii) desordem, ou seja, nível de entrelaçamento de conexões.

### 2.5.2. Princípios da Engenharia de Sistemas

Segundo Loureiro (2011) existem 11 princípios que determinam a Engenharia de Sistemas, sendo:

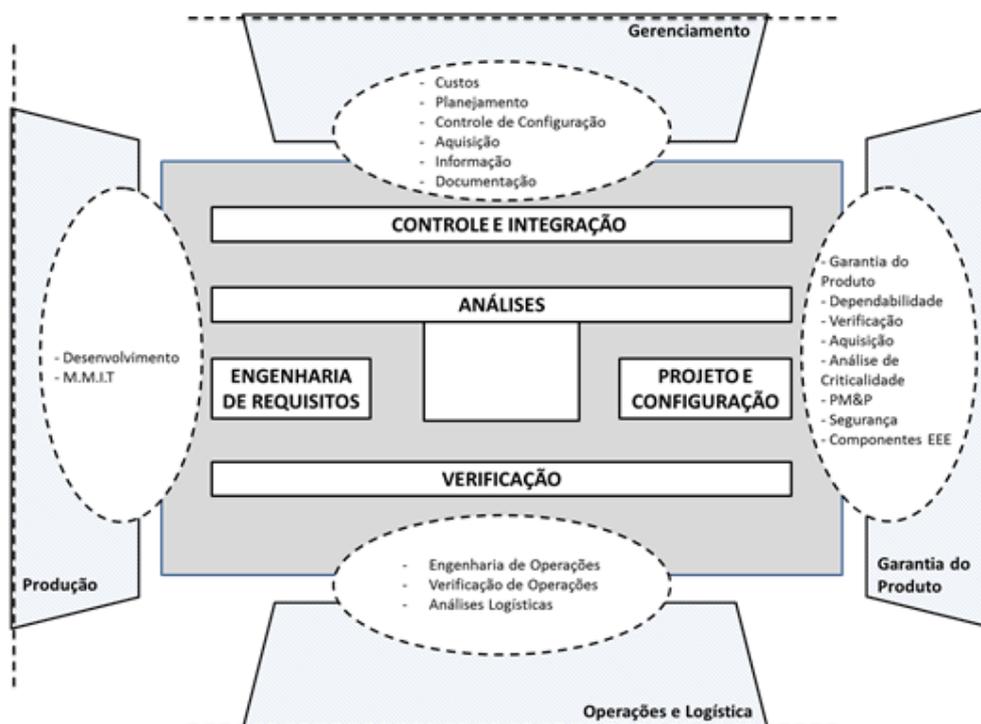
- 1) O todo é a vida do sistema;
- 2) A solução do sistema é composta por elementos de organização e de produto;
- 3) O sistema existe em uma hierarquia;
- 4) Os sistemas são arquitetados *Top Down* e, o AIT *Bottom Up*;
- 5) Os sistemas são arquitetados de fora para dentro e o AIT de dentro para fora;
- 6) Separar o domínio do problema do domínio da solução;
- 7) Os sistemas são arquitetados alternando entre o problema (essencial) e o domínio da solução (implementação);

- 8) Os sistemas são arquitetados alternando entre quatro hierarquias: *Stakeholders*, requisitos, funções, implementação;
- 9) A arquitetura é totalmente descrita pela estrutura e comportamento;
- 10) As arquiteturas procuram minimizar o acoplamento e maximizar a coesão;
- 11) Para se derivar tratamento de exceções, parte-se do comportamento normal.

### 2.5.3. Escopo da Engenharia de Sistemas

A norma ECSS (2009) apresenta por meio da Figura 2.27 os limites da disciplina (área específica de especialização dentro do assunto geral) de Engenharia de Sistemas, os relacionamentos com as outras disciplinas, e sua partição interna.

Figura 2.27 - Funções e limites da Engenharia de Sistemas



Cinco funções da Engenharia de Sistemas: Controle e Integração, Análise, Engenharia de Requisitos, *Design* e Configuração e Verificação.

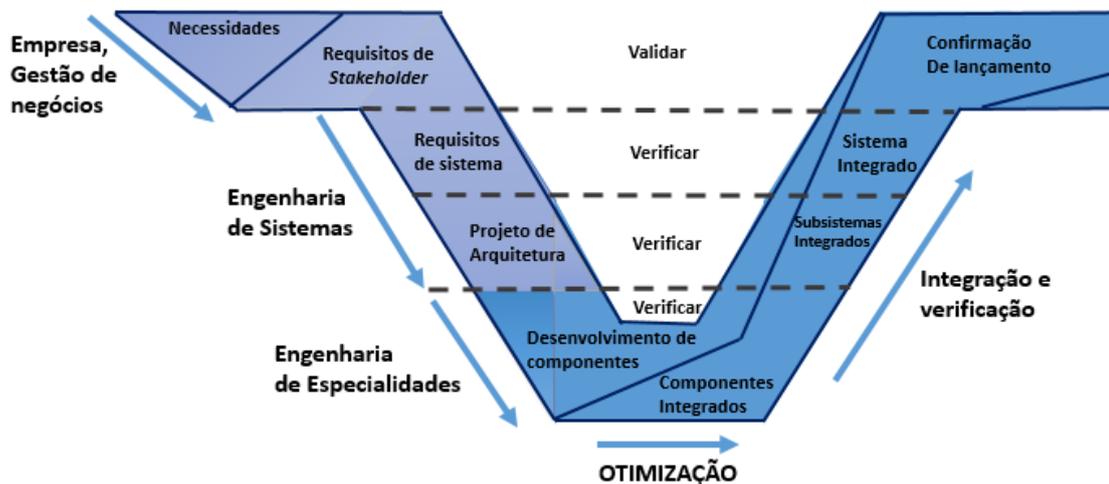
Fonte: Adaptada da ECSS-E-ST-10C (2009)

## 2.5.4. Modelo em 'V' da Engenharia de Sistemas

A Figura 2.28 apresenta uma representação gráfica do ciclo de vida, denominada modelo em 'V'. A verificação ocorre na horizontal e entre a definição de cada fase. A descida do modelo em 'V' define o que deve ser feito, e a subida, a partir dos componentes, constrói o sistema e verifica o produto com relação a especificação (STEVENS et al., 1998).

O escopo desta dissertação se apresenta na Figura 2.28 no modelo em 'V' em cor azul claro, o qual começa desde a elicitação de necessidades e termina no projeto da arquitetura do sistema.

Figura 2.28 - Modelo em 'V' da Engenharia de Sistemas



Validação: é a confirmação, por meio do fornecimento de evidências objetivas, que os requisitos de aplicações ou do usuário foram cumpridos. (ESA,2012) Verificação: demonstra, por meio de um processo dedicado, que o sistema cumpre os requisitos aplicáveis e é capaz de mantê-los durante todo o ciclo de vida do projeto/produto (ESA, 2012)

Fonte: Adaptada de Loureiro (1999)

## 2.5.5. Processos de Desenvolvimento para Sistemas Espaciais

Davenport (1993) citado por Tsohou (2013) define um processo como "um conjunto estruturado de medidas de atividades concebidas para produzir uma saída específica para um cliente ou mercado em particular". Da mesma forma, Branco e Myers (2008) citado por Tsohou (2013) definem um processo como

"uma sequência de atividades realizadas em uma ou mais entradas para entregar uma saída".

Um processo de referência é a relação entre um conjunto de entradas que serão convertidas em saídas mediante uma série de atividades. O objetivo principal de um de processo de referência é ajudar as empresas ou pessoas que realizam práticas semelhantes com reutilização de processos comprovados, sem ter que desenvolver seu próprio a partir do zero (LA ROSA et al., 2007).

#### **2.5.5.1. Processo do LSIS**

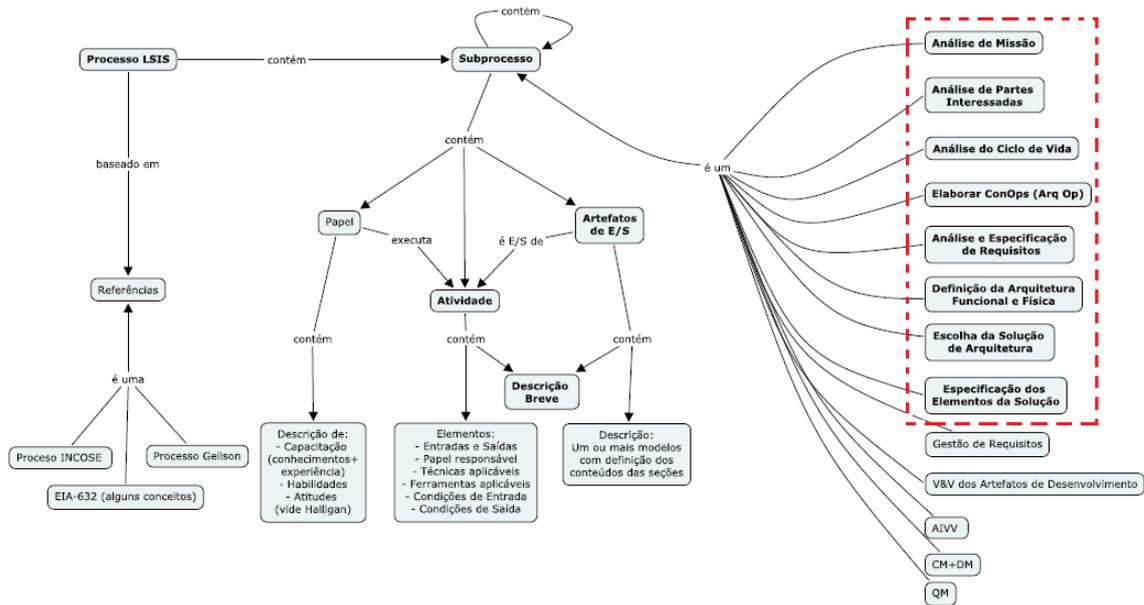
O LSIS (Laboratório de Engenharia simultânea de Sistemas), é um grupo interno do LIT (Laboratório de Integração e Testes) que visa a desenvolver competências na aplicação de abordagens e técnicas de Engenharia Simultânea de Sistemas.

Zanta (2012) descreve que os objetivos principais do grupo são a criação de um processo de referência de desenvolvimento do produto que atenda as características organizacionais dos programas espaciais e necessidades específicas do LIT, e o treinamento de recursos humanos com as capacidades necessárias para o desenvolvimento futuro de GSE.

O LSIS com o propósito de padronizar um processo de Engenharia de Sistemas, criou um processo de referência baseado no INCOSE, em alguns conceitos da norma EIA-632 e no processo gerado na tese de doutorado do atual chefe do LIT, em 2016, Geilson Loureiro.

O processo descreve, atividades e artefatos para elaborar os subprocessos de desenvolvimento. A Figura 2.29 apresenta os conceitos que deram origem ao processo do LSIS.

Figura 2.29 - Desenvolvimento do processo de Engenharia de Sistemas do LSIS



Dentro do quadro vermelho pontilhado encontram-se as atividades do processo.

Fonte: Adaptada de LSIS (2015)

Por meio do processo do LSIS foi abordado o problema da carência de metodologias para estabelecer uma estação terrena para Pico Nanossatélites. O resultado da aplicação do processo do LSIS foi a customização e adaptação deste processo para esse tipo de produtos.

### 2.5.5.2. Processos de Engenharia de Sistemas totalmente definidos

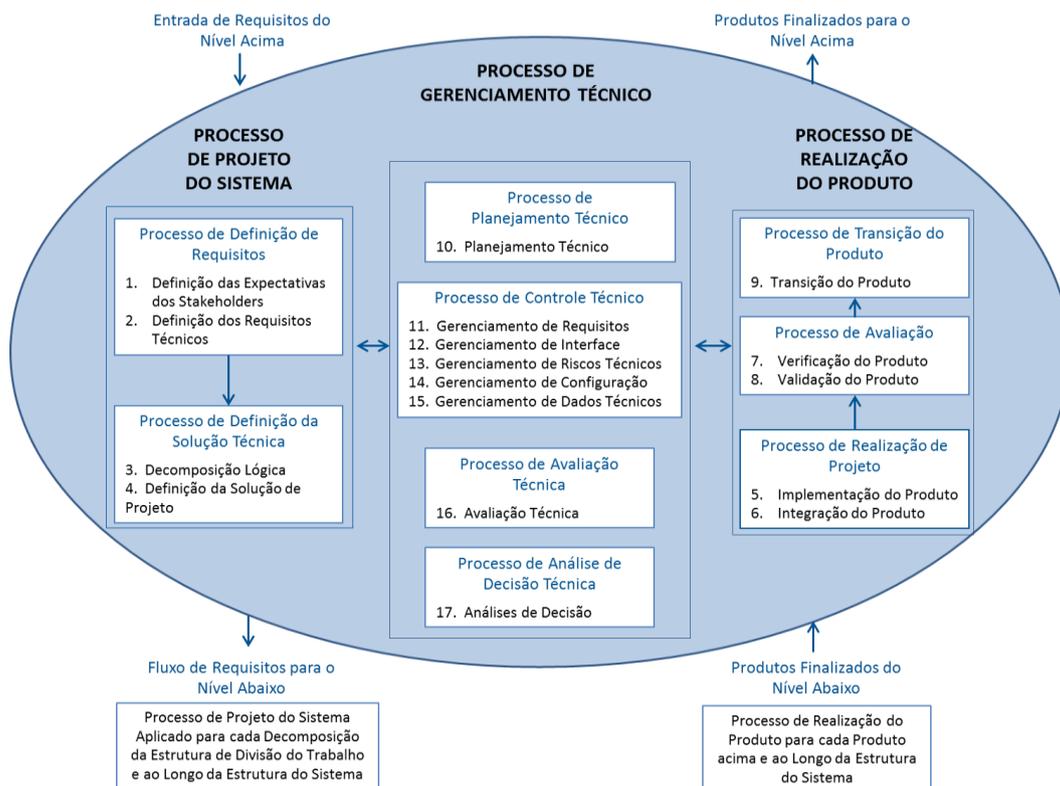
INCOSE é uma organização que promove as melhores práticas e processos de referência da Engenharia de Sistemas, e é uma autoridade no assunto. No entanto, no âmbito espacial, além do INCOSE, existem mais processos de referência para desenvolvimento de produtos, estes são divulgados por organizações importantes, entre esses processos importantes destacam-se três, sendo:

- 1) NASA - USA

Há três conjuntos de processos técnicos comuns no processo de Engenharia de Sistemas da NASA, sendo eles: Processo de projeto do sistema, processo de realização do produto, e processos de gerenciamento técnico, mostrados na Figura 2.30.

Os processos são usados para definir as expectativas dos stakeholders, gerar os requisitos técnicos e convertê-los em uma solução de sistema balanceada. Estes processos são aplicados a cada um dos produtos da estrutura do sistema desde a parte superior da estrutura até a parte inferior definindo se os componentes do sistema podem ser construídos, comprado ou reutilizados (NASA, 2007).

Figura 2.30 - Processos Técnico Comum e Mecanismo da Engenharia de Sistemas da NASA



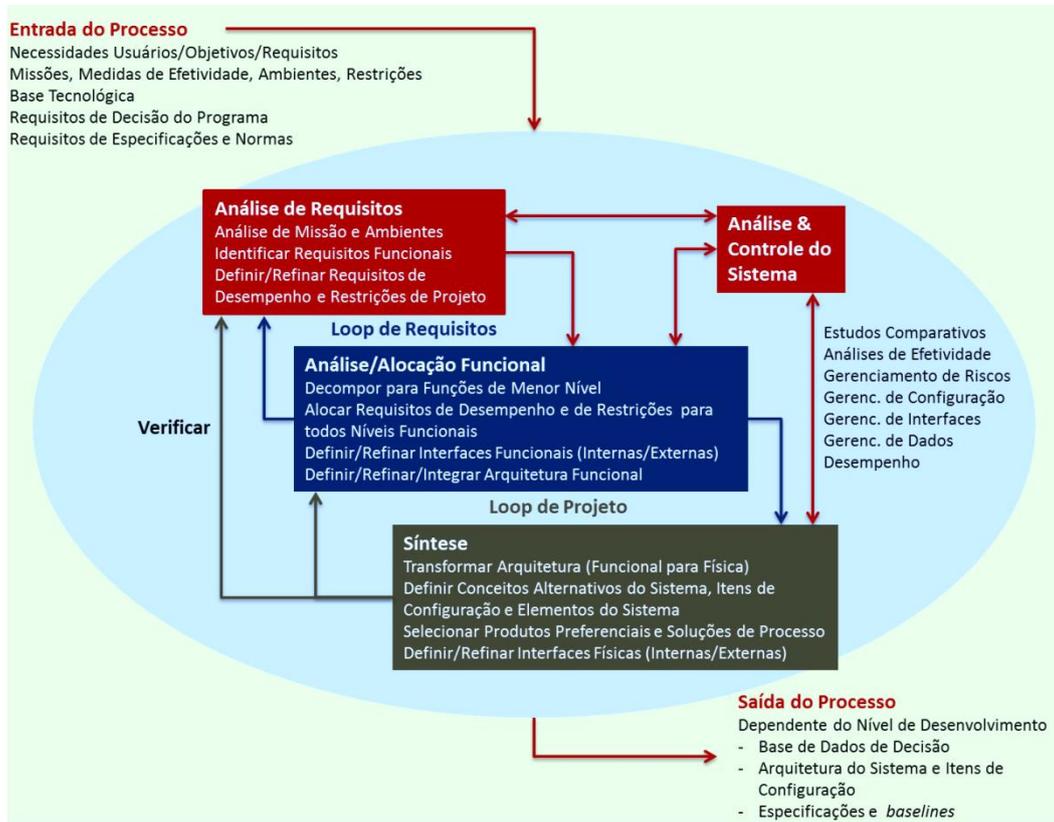
Fonte: Adaptado de NASA (2007)

## 2) DoD - USA

Segundo o *Department of Defense* (2001) o processo de Engenharia de Sistemas (SEP) é um processo de resolução de problemas, iterativo e recursivo, aplicado sequencialmente de cima para baixo por equipes integradas. Ela transforma necessidades e exigências em um conjunto de descrições de produto e processo, gerando informações para tomadas de decisão, e fornecendo a entrada para o próximo nível de desenvolvimento, como se apresenta na Figura 2.31.

Neste processo três grandes tarefas são definidas, análise de requisitos, análise e alocação funcional e síntese, uma quarta grande etapa de processo está entre cada fase a qual realiza o controle do sistema.

Figura 2.31 - Processo de Engenharia de sistema do DoD



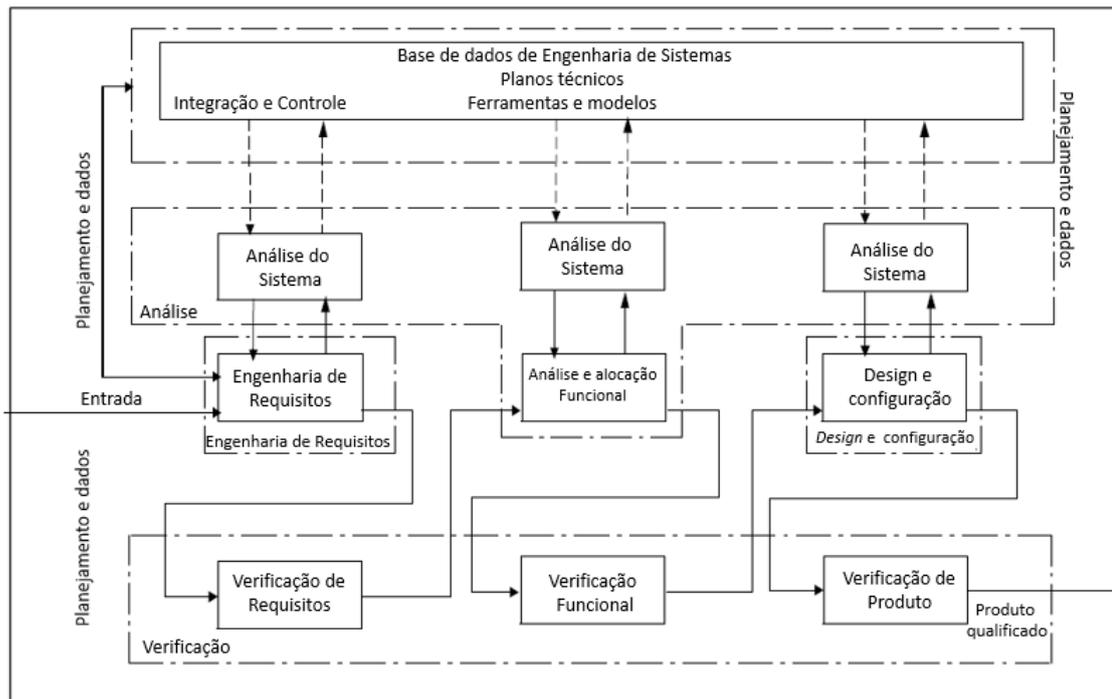
Fonte: Adaptado de DoD (2015)

### 3) ECSS - ESA

Segundo a norma este processo é composto de atividades a serem realizadas pela organização de Engenharia de Sistemas dentro de cada fase do projeto. O objetivo é a obtenção de um produto que satisfaça o cliente de acordo com requisitos técnicos, e os objetivos pré-estabelecidos de custo e tempo.

Durante essas fases, a organização de Engenharia de Sistemas deriva o projeto orientando a soluções técnicas que utilizam como entrada exigências dos interessados. Este processo é iterativo, como se apresenta na Figura 2.32, de cima para baixo troca várias soluções de design, enquanto aumenta o nível de detalhamento.

Figura 2.32 - Funções e relacionamentos do processo da ECSS



Fonte: Adaptado da ECSS (2004).

Finalmente, de acordo com Lopes (2015), dadas às diversas restrições associadas com os Pico e Nanossatélites torna-se improdutivo aplicar processos padrões de desenvolvimento de sistemas, tanto para o segmento espacial quanto para o segmento solo, necessitando realizar algumas modificações para que os processos se tornem ferramentas de capacitação de mão de obra. Por outro lado, Pereira<sup>9</sup> afirma que um processo educacional tem uma magnitude diferente à magnitude de um processo aplicado a um projeto tipo satélite de comunicações. Os processos anteriormente citados, ESA, DoD, NASA, destinados a esses projetos, podem não ser adequados por que o rigor da metodologia é diferente.

<sup>9</sup> Entrevista concedida por PEREIRA, Edson W. **Metodologia de desenvolvimento de estações terrenas para Pico e Nanossatélites**. [jan. 2016]. Entrevistador: Jaime Enrique Orduy. Pardinho, 2016. 1 arquivo .mp3 (60 min.).



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta, em primeiro lugar, dois exemplos de projetos de sistemas espaciais em que se aplicam metodologias para suportar a disciplina de Engenharia de Sistemas, um deles utilizando MBSE para modelar o segmento espacial e o segmento solo, e o outro simplificando os processos tradicionais de Engenharia de Sistemas para projetos *CubeSat*. Apresenta também exemplos de estações terrenas (GSTS/ET) desenvolvidas por empresas, universidades e pela iniciativa de radioamadores, especificamente, para atuar com Pico e Nanossatélites. Destacam-se, no contexto desta dissertação, quatro estações terrenas, sendo elas: a estação PY2AEC do INPE, a estação PY2DGS do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), a estação HJ7JAR da *Universidad Pedagógica y Tecnológica, de Colombia* (UPTC) e a estação PY2SDR do radioamador Edson Pereira. As informações relacionadas a essas estações foram obtidas por contato direto com os responsáveis e por meio da documentação técnica disponível.

As quatro estações foram selecionadas pelas diferenças entre si, no que diz respeito às suas características técnicas, com isso, posteriormente pode-se fazer uma análise comparativa das melhores opções de estações terrenas para pequenos satélites. Esta abordagem foi adotada devido à mínima quantidade de referências disponíveis estritamente dedicadas a processos que estabeleçam a arquitetura de estações terrenas.

#### 3.1. Radio Aurora Explorer (RAX)

O projeto RAX foi o primeiro *CubeSat* financiado por uma Fundação Nacional de Ciência (NFS) dos Estados Unidos. As missões do projeto RAX têm sido construídas por estudantes, engenheiros e professores da Universidade de Michigan em colaboração com cientistas da SRI International. Dentro do projeto RAX foram lançados dois satélites, sendo eles, RAX-1 e RAX-2, este último desenvolvido com o padrão *CubeSat*. O objetivo primário das missões RAX é estudar a formação de irregularidades de plasma alinhadas ao campo magnético (FAI) na parte inferior da ionosfera polar 80-300 km (SPANGELO et al., 2012).

Segundo Spangelo et al. (2012), utiliza-se no projeto RAX a metodologia *Model Based Systems Engineering* (MBSE) para a criação de um *framework* que ajude no desenvolvimento do *CubeSat*. O MBSE utiliza *Systems Modeling Language* (SysML) como sua linguagem de modelagem, que é uma linguagem específica de domínio da Engenharia de Sistemas usada para especificar, analisar, projetar, otimizar e verificar sistemas.

Segundo SPANGELO et. al. (2013) o projeto RAX, utilizou MBSE com os seguintes objetivos:

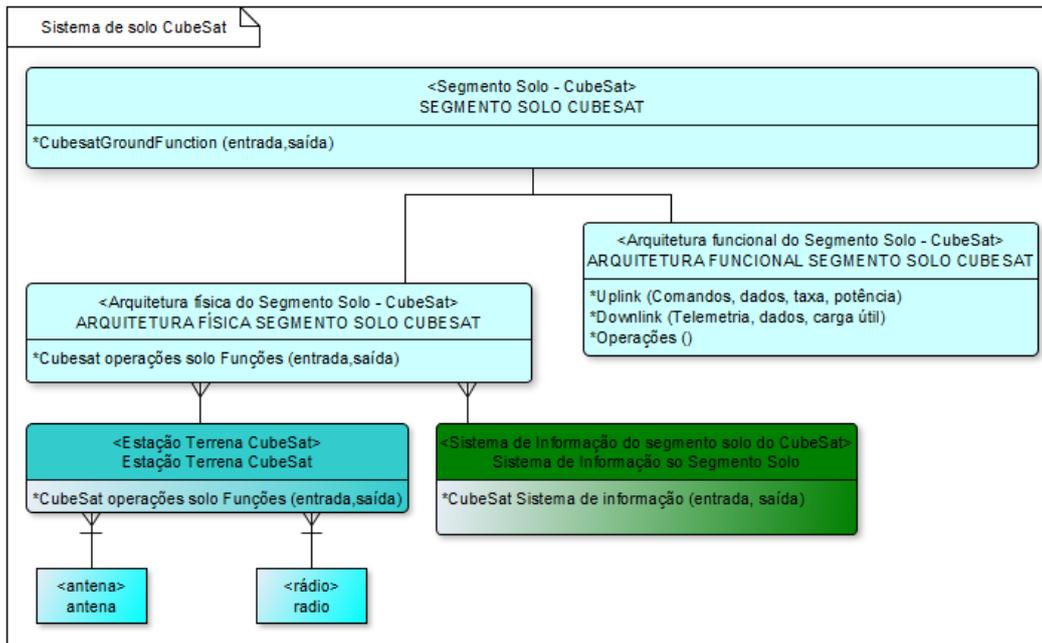
- Aumentar a experiência de modelagem de *CubeSats* por médio de *SysML*.
- Utilizar a *framework* como uma ferramenta educacional;
- Pesquisar a integração de modelos analíticos em determinação orbital, projeto estrutural, execução de cronograma, entre outros.

O projeto RAX, segundo Spangelo et. al. (2012), compreende (i) A modelagem da missão completa, incluindo a determinação orbital e suas interfaces para entidades externas, tais como a estação terrena. (ii) O hardware do satélite, incluindo sistemas, subsistemas, componentes e suas interfaces. (iii) Comportamento do satélite. (iv) Restrições e medidas de efetividade.

A síntese do projeto consiste na definição da arquitetura do sistema, descrição de subsistemas, por médio de modelagens e simulações de ambientes operacionais.

No que diz respeito ao segmento solo, interesse deste documento, segundo Spangelo (2012), o *framework* modela sua funcionalidade por meio de um diagrama de blocos de componentes físicos, apresentado na Figura 3.1. A estrutura do segmento solo é composta pela estação terrena, que a sua vez se descompõe em rádio e antena. A separação do sistema de solo em arquitetura física e funcional permite ao *framework* ser mais flexível. Definindo sempre a função do segmento solo como envio de telecomandos, recepção de telemetrias e rastreamento do satélite, porém, podendo estabelecer diferentes arquiteturas para a estação.

Figura 3.1 - *Framework* do segmento solo da missão RAX



Fonte: Adaptada de Spangelo et al. (2012).

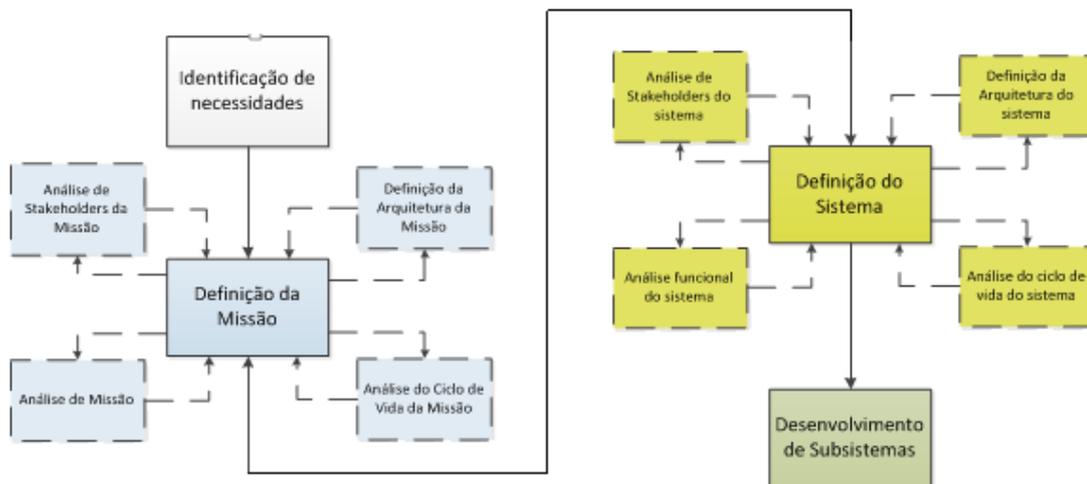
O projeto RAX apresenta um *framework* baseado na utilização da metodologia MSBE, o qual será amadurecido ao longo das seguintes missões RAX.

### 3.2. Processo de desenvolvimento da arquitetura de CubeSats

Lopes (2014) apresenta um processo de referência para o desenvolvimento de um satélite de pequeno porte, no qual realiza uma adaptação dos processos complicados de Engenharia de Sistemas em um processo simples gerando a arquitetura de um *CubeSat*. A Figura 3.2 apresenta o macroprocesso adaptado com as atividades em alto nível de abstração.

O processo de Lopes (2014) foi aplicado no Projeto AESP-14, gerando a arquitetura do Picossatélite AESP-14. O processo mostrou ser importante em todas as etapas do desenvolvimento, porém, enquanto as estações terrenas e o segmento solo, o processo de Lopes preferiu utilizar as infraestruturas existentes do que desenvolver o sistema de estação terrena.

Figura 3.2 - Processo de Engenharia de Sistemas adaptado para *CubeSat*



Fonte: Adaptada de Lopes (2015)

### 3.3. Estação Terrena PY2AEC (INPE-ITA)

É uma estação fixa de rastreamento e controle para satélites de órbita baixa, baseada na tecnologia SDR, localizada no ITA<sup>1</sup> no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) em São José dos Campos, São Paulo. A estação, pertence ao grupo de estações terrenas ativas do INPE/MCTI conforme ao relatório geral dos bens do INPE (2013), e opera em frequências de radioamadorismo com o prefixo PY2AEC, determinado pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel).

A ET INPE-ITA foi adquirida, como um kit<sup>2</sup> em 2013, da empresa Holandesa *Innovative Solutions In Space*<sup>3</sup>, com o propósito de ser parte da arquitetura de solo do primeiro *CubeSat* brasileiro NanoSatC-BR1 (INPE/MCTI, 2014a). Além de integrar o projeto do NanoSatC-BR1, a estação do ITA foi selecionada para atuar como centro de controle do segundo *CubeSat* brasileiro, e primeira plataforma a ser construída totalmente no país, o AESP-14 (ITA, 2015b). Futuramente a ET INPE-ITA contará com mais um *software* de interação, ainda em desenvolvimento, com o propósito de acompanhar o controle do *CubeSat* ITASAT-1 (ITASAT-1, 2015).

<sup>1</sup> Latitude: 23°12'34.28''S, Longitude: 45°52'29.16''O, Altitude: 603 NMM.

<sup>2</sup> ISIS *groundstation kit* disponível em: [www.cubesatshop.com](http://www.cubesatshop.com) acesso em: 02 jan. 2016

<sup>3</sup> ISIS®, disponível em: <http://www.isispace.nl/cms/> acesso em: 02 jan. 2016

### 3.3.1. Metodologia de Desenvolvimento

A empresa ISIS, fornecedora das estações do formato da ET INPE-ITA, é o *spin off* do projeto *CubeSat Delfi- C3<sup>4</sup>* da *Delft University of Technology* na Holanda (ISIS, 2015). A empresa comercializa estação terrena como uma solução fechada, a qual possui *Copyright*, por consequência, não é acessível sua metodologia de desenvolvimento. Não obstante, segundo o estudo de campo desenvolvido na estação, observou-se que a maioria de componentes e *softwares* instalados são comerciais (COTS) ou livres, que é o caso do *Predict*. Segundo a pesquisa é válido dizer que a estação terrena oferecida pela empresa ISIS foi estabelecida por meio de engenharia de componentes, que segundo a definição de Kleemann (2010) consiste em montar sistemas utilizando componentes já implementados. Por meio de outro ponto de vista, também é válido dizer que possivelmente foi usada a Engenharia de Sistemas nesse projeto, decidindo usar topologias herdadas e acoplar os componentes às necessidades dos desenvolvedores. Contudo, não existe uma referência tangível do processo de desenvolvimento.

O custo da estação para o INPE foi de USD \$ 48.900 (INPE, 2013).

### 3.3.2. Descrição da estação

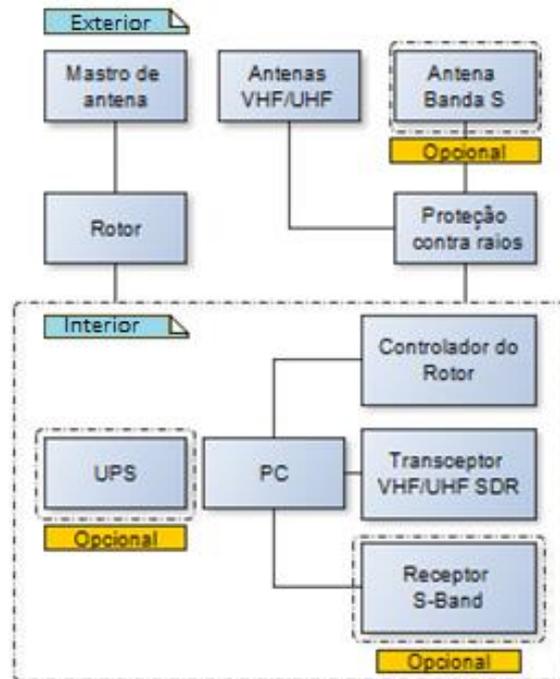
A ET INPE-ITA é composta por dois grupos de componentes, determinados em relação ao lugar de operação, sendo estes: exterior e interior, conforme são apresentados na Figura 3.3. No grupo de componentes exterior, situados na cobertura do prédio de Engenharia Eletrônica, encontra-se o sistema irradiante, o rotor das antenas, e os elementos para garantir a operação e a segurança do sistema, como a estrutura mecânica que suporta as antenas e a proteção contra raios, com suas respectivas linhas de transmissão. Na parte interior, encontra-se o *rack* com os elementos principais da estação, como o transceptor, o controlador dos rotores, o receptor em banda S, a unidade de potência ininterrupta e o computador.

---

<sup>4</sup> Disponível em: [www.delfispace.nl/delfi-c3](http://www.delfispace.nl/delfi-c3)

A estação opera *Full Duplex* nas bandas VHF e UHF, possui serviço de internet 24/7 e é operada frequentemente por alunos de graduação e pós-graduação, tanto do ITA quanto do INPE, no local ou via operação remota por meio do aplicativo *TeamViewer*®.

Figura 3.3.- Componentes da ET INPE-ITA.



Em azul apresentam-se os blocos principais da estação. Os quadros amarelos indicam os componentes opcionais.

Fonte: Adaptada de ISIS (2013).

### 3.3.2.1. Sistema Irradiante

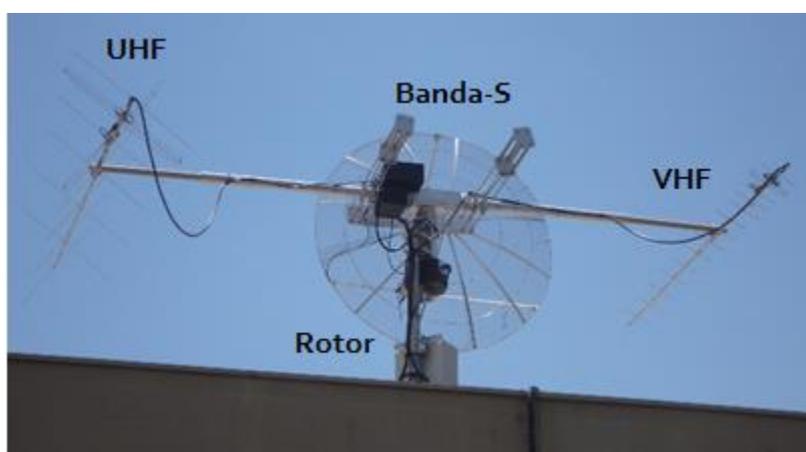
O sistema irradiante é composto por três antenas, operando em VHF, UHF e Banda-S, especificadas na Tabela 3.1. As três antenas estão em uma mesma estrutura, o que garante a movimentação simultânea, conforme se apresenta na Figura 3.4.

Tabela 3.1- Especificações técnicas das antenas da ET INPE-ITA.

Antena	Banda (MHz)	Ganho	Tipo
<i>M2 Antenna Systems, Inc.</i> Modelo No: 2MCP14.	VHF/140-148	12dBic LH/RHCP	Yagi-Uda 2 m
<i>M2 Antenna Systems, Inc.</i> Modelo No: 436CP30	UHF/432-440	16dBic LH/RHCP	Yagi-Uda 70 cm
<i>RF HAMDESIGN: PRIME FOCUS MESH DISH KIT 1.9 Meter DISH</i>	S /2400-2402	21.4dBic RHCP	Parabólica de malha 1.9 m

Fonte: Adaptada de ISIS (2012b)

Figura 3.4 - Sistema irradiante da ET INPE-ITA.



Sistema irradiante em posição de repouso no terraço do prédio da Engenharia Eletrônica no ITA. Da direita para a esquerda, encontram-se as antenas de VHF, Banda-S e UHF, no centro observam-se os rotores para o posicionamento.

Fonte: Produção do autor.

### 3.3.3. Controle de Antena

A ET INPE-ITA utiliza, para este fim, rotores da empresa *M2 Antenna Systems, Inc.*, especificados em um único componente, o AZEL-1000CB. Os rotores são movimentados mediante um motor DC e uma caixa de engrenagens para reduzir a velocidade, e são operados por meio do controlador RC2800PRKX, instalado no *rack* conforme apresentado na Figura 3.5, que por sua vez é comandado por computador por meio de uma interface RS232 (ISIS, 2012).

A movimentação dos rotores é realizada de forma manual ou automática de acordo com a necessidade. A estação em modo automático efetua a movimentação dos rotores para rastrear o satélite direcionando o conjunto de antenas três minutos antes da passada na posição de contato do satélite com o horizonte; quando o satélite estiver pronto para ser rastreado, os rotores fazem o rastreamento completo de sua trajetória e, finalmente, na última posição de comunicação permanecem três minutos até voltar a posição inicial ou de repouso.

Caso mais de um satélite esteja passando sobre a estação, o sistema começará a rastrear o primeiro satélite que entrar na área de cobertura. Segundos antes da entrada do segundo, ou terceiro satélite, a estação escolhe aquele que tem a prioridade mais alta, previamente estabelecida pelo usuário, e automaticamente descartará o outro.

Figura 3.5 - Equipamentos do *Rack* da ET INPE-ITA

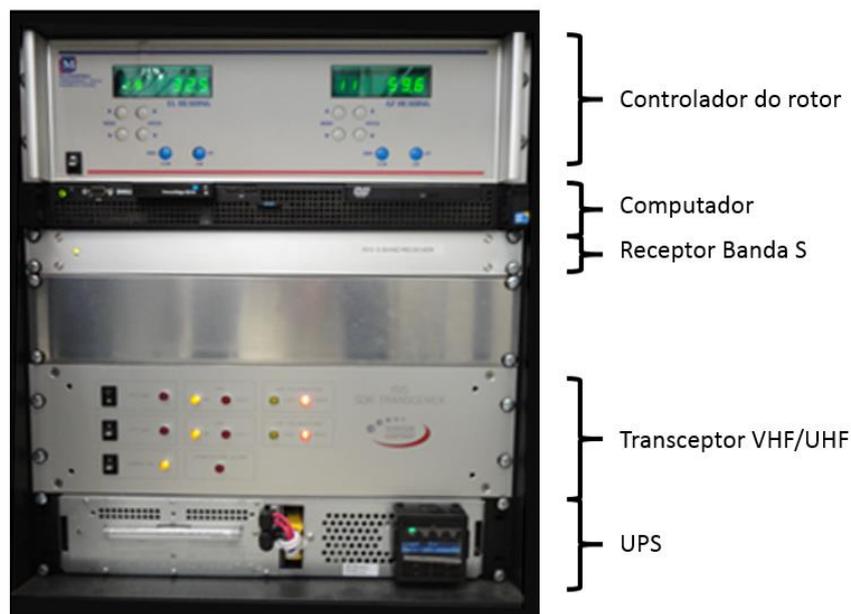


Imagem frontal dos equipamentos no *rack* da ET INPE-ITA no ITA.

Fonte: Adaptada de ISIS (2013).

### 3.3.4. Transceptor de RF

O Transceptor SDR, que estabelece a comunicação em bandas VHF e UHF entre a estação e o satélite, possui uma interface de *hardware* (placa de rádio),

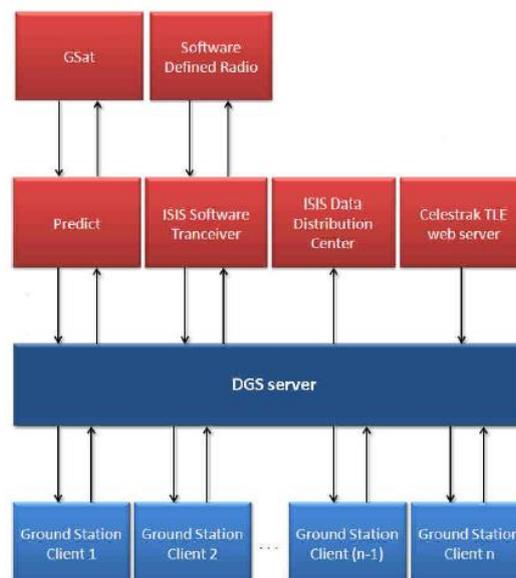
e uma interface de *software*, que é executado no computador da estação. O componente de *hardware* que é comercial e foi desenvolvido pela empresa Ettus Research™, modelo USRP B200<sup>5</sup>. O transceptor instalado no *rack* além de incorporar o SDR possui componentes para efetuar modulação e demodulação digital, codificação e decodificação do protocolo AX.25, por meio de *Digital Signal Processing* (DSP) compatível com os esquemas de modulação AFSK em 1200 bps e GFSK em 9600 bps para envio de telecomando, e os esquemas de modulação AFSK em 1200 bps, BPSK em 1200 bps e GFSK em 9600 bps para recepção de telemetria.

Em Banda-S a transferência de dados é unicamente para recepção, o componente em *hardware* para isso é denominado *S-Band Receiver* e ocupa outro lugar no *rack*, como se apresentou na Figura 3.3.

### 3.3.5. Software

O *software* é o componente fundamental nesta estação, já que todos os componentes em *hardware* são controlados por ele. A Figura 3.6 apresenta a arquitetura do *software* da ET INPE-ITA.

Figura 3.6 - Arquitetura de *software* da ET INPE-ITA



Fonte: ISIS (2013).

<sup>5</sup> Disponível em: <http://www.ettus.com/product/details/UB200-KIT>

A ET INPE-ITA é composta pelos seguintes programas, que juntos mantêm a operação correta da estação:

a) *DGS Server* (Gerenciador da estação): é o *software* principal, que processa toda a informação dos aplicativos instalados e comanda o controlador do rotor. A interface gráfica de usuário do *DGS Server* é denominada de *ISIS Ground Station Monitor Controller* (ISIS, 2012). O *Datasheet* da estação da ISIS (2013) relata que o *DGS Server* possui as seguintes funções:

- 1 Agendar as passagens dos satélites, dependendo dos parâmetros de prioridade determinados pelo usuário;
- 2 Comandar o *ISIS Software transceiver* para sintonizar o SDR;
- 3 Comandar o controlador do rotor para colocar o conjunto de antenas em uma determinada posição;
- 4 Realizar a atualização dos dados orbitais (TLE);
- 5 Prover de uma interface de monitoramento ao cliente.

b) *Predict*: *software* livre baseado em *Linux Operating System* (Magliacane, 2006) desenvolvido pelo radioamador Jhon Magliacane (KD2BD). Este programa é usado para rastrear e fazer previsão orbital de múltiplos satélites, calculando a posição do satélite em termos de azimute e elevação, e é diretamente ligado ao *DGS Server* (ISIS, 2012a).

c) *GSat*: é a interface gráfica do *Predict* denominada *gsat 1.1.0: Real time Satellite Tracking Display*.

d) *ISIS Software Transceiver - ISIS VHF-UHF Ground Station Transceiver v2.3.6206*: segundo o manual de usuário da ISIS (2012) é o programa comandado pelo *DGS Server* que manipula a sintonização do SDR, seleciona a modulação e a taxa de dados tanto em *uplink* quanto em *Downlink*.

e) *ISIS Data Distribution Center*: programa usado para salvar os dados recebidos de uma forma segura no servidor da ISIS, que segundo o

seu Datasheet (2013) é opcional e pode ser desativado por meio da configuração do cliente.

- f) *Celestrak TLE Web Server*. Web site usado pelo software da ET INPE-ITA como fonte de dados dos elementos keplerianos (TLE) usados para cálculos da trajetória orbital e efeito *doppler*.

### 3.3.6. Interface do Usuário

A interface do usuário é formada por três aplicativos, conforme mostra a Figura 3.7.

Figura 3.7 - Tela principal da ET INPE-ITA

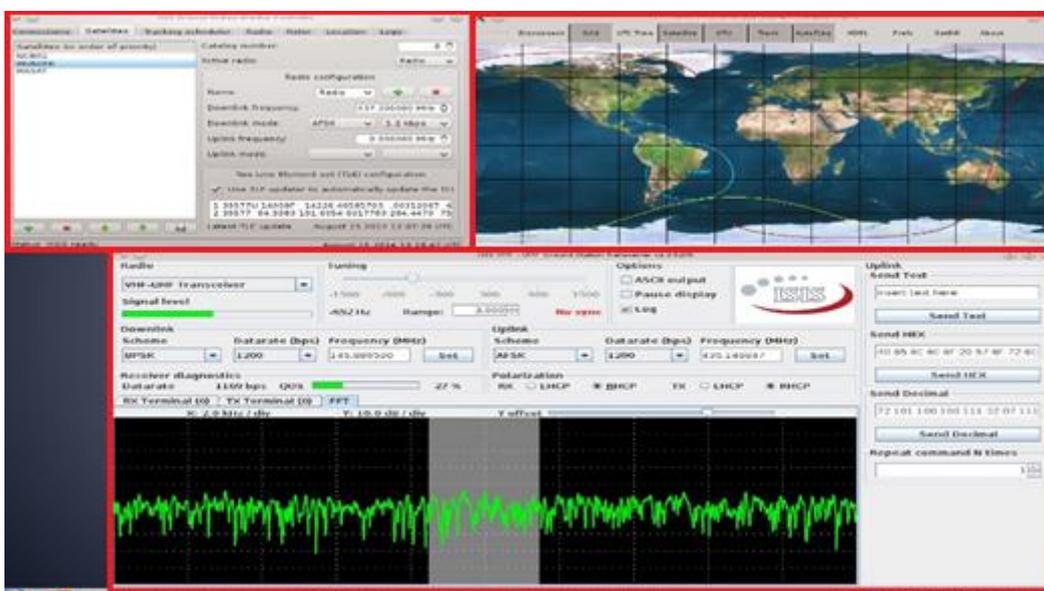


Imagem da tela da estação com os aplicativos: *ISIS ground station monitor controller*, situado na esquina superior esquerda, *GSat 1.1.0: Real time Satellite Tracking Display*, situado na esquina superior direita, e *ISIS VHF-UHF Ground Station Transceiver v2.3.6206*, situado na parte inferior da tela.

Fonte: Produção do autor.

A principal função do operador na estação é no monitoramento da sintonização por meio da tela FFT do software do rádio no momento inicial de enlace com o satélite. Depois disso, a estação é comandada automaticamente, e os dados são salvos na infraestrutura fornecida pelo STI (Serviço Técnico de Informação) do INPE.

### 3.3.6.1. Rastreamento de Satélites

- a) Para efetuar o rastreamento de um satélite ativo na ET INPE-ITA, deve-se iniciar o sistema por meio da tela do aplicativo *Isis Ground Station Monitor Controller*, para selecionar o satélite requerido. De imediato, deve-se iniciar o aplicativo *gsat 1.1.0 Real Time Satellite Tracking Display*, para que o *software* de previsão faça sincronização dos dados do aplicativo anterior e apresente os dados do satélite no ambiente gráfico. Finalmente, deve-se aguardar que o satélite entre na área de cobertura para começar o rastreamento.

Com o satélite selecionado e dentro da área de cobertura será possível receber os sinais de telemetria e observá-los na tela de FFT do aplicativo. Com a sintonização do rádio os sinais estarão inteligíveis, o que permitirá a decodificação posterior dos pacotes. Será possível também criar um arquivo de registro (.Log) para verificação e estudos posteriores.

- b) Para efetuar o rastreamento de um satélite novo: deve-se cadastrar o satélite no sistema por meio da tela do aplicativo *Isis Ground Station Monitor Controller*, ingressando os dados orbitais e os dados das frequências de *uplink* e *downlink* e as respectivas modulações. Assim que o satélite estiver cadastrado, deve-se proceder conforme ao rastreamento de um satélite ativo, mencionado anteriormente.

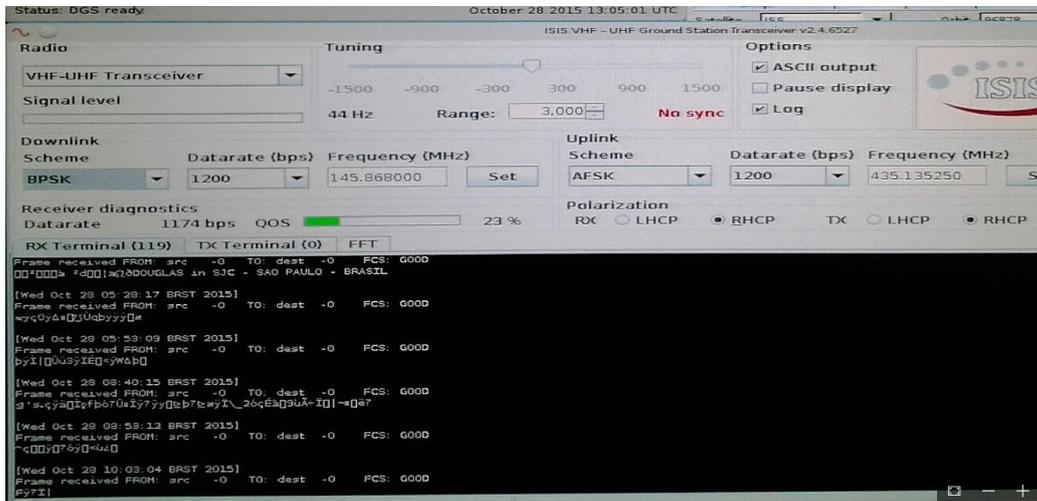
### 3.3.6.2. Recepção de Dados

A ET INPE-ITA é capaz de receber dados tanto de Pico e Nanossatélites, quanto de outras estações terrenas para satélites e inclusive de radioamadores que desejem estabelecer comunicação ou realizar testes operacionais por meio de equipamentos similares.

A Figura 3.8 apresenta um teste realizado na recepção de dados enviados pelo Prof. Douglas Soares por meio da estação PY2DGS, do outro lado do prédio onde permanece a estação. Neste teste a estação ET INPE-ITA

conseguiu receber 119 *frames* de dados, *bacons*, enviados por meio da outra estação, o propósito deste teste era experimentar a recepção de dados.

Figura 3.8 - Resultados do teste na ET INPE-ITA



Fotografia da tela com os dados recebidos na estação ET INPE-ITA, em dia 28 de outubro de 2015. A estação receptora sendo operada por Jorge Espindola, doutorando do INPE, e a transmissora pelo Prof. Douglas Soares do ITA. Fonte: Produção do autor.

### 3.3.6.3. Envio de Telecomandos

Para enviar um telecomando deve-se ingressar na aba de transmissão nomeada *TX Terminal*, a qual, tem uma tela de apresentação dos pacotes enviados, e uma caixa de diálogo para ingressar a informação em forma de texto, hexadecimal ou decimal.

O transceptor da ET INPE-ITA possui dois terminais de *Ethernet* acoplados a dois computadores diferentes, estes estão conectados a uma rede local. Os dois computadores conseguem enviar telecomandos ao satélite sem interferir com o outro.

O computador principal está instalado no *rack*, contém os *softwares* citados anteriormente. Além do computador principal, há também um computador secundário, porém, tão importante quanto o principal. O computador secundário é utilizado em apoio à operação, o seu sistema operacional é o *Microsoft Windows 7*, no qual, é executado um *software* de controle e

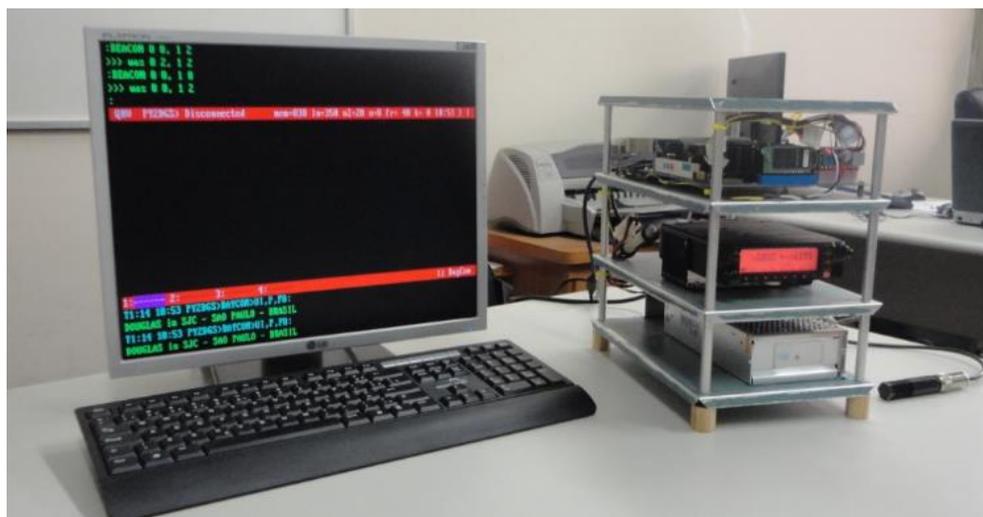
monitoramento do segmento solo do NanoSatC-BR1, denominado *Nanosatellite Control System* desenvolvido em linguagem C++ com a plataforma Qt e a base de dados MySQL (ESSADO et al., 2014) especificado pela empresa EMSISTI (EMSISTI, 2015) com apoio das equipes STI do INPE e a gerencia do projeto. A função do *Nanosatellite Control System* é o envio de comandos, decodificação e armazenamento das telemetrias enviadas pelo NanoSatC-Br1 (ESSADO et al., 2014).

### 3.4. Estação Terrena Portátil PY2DGS (ITA)

Construída em 2014, caracteriza-se como uma estação portátil de rastreamento e controle para satélites de órbita baixa que opera em *Half Duplex*. Atualmente seu centro de operação é no ITA em São José dos Campos, São Paulo.

Conforme se apresenta na Figura 3.9 a ET ITA é uma estação construída com componentes COTS de design simples, e baixo custo, foi constituída no departamento de eletrônica aplicada do ITA pela equipe do Professor Dr. Douglas Soares, motivo pelo qual a estação leva como nome o prefixo de radioamador. O principal propósito de desenvolvimento da estação terrena portátil foram os testes operacionais de telemetria e telecomando em solo do *CubeSat* AESP-14.

Figura 3.9 - Visão global da ET ITA



Fonte: Produção do autor.

### 3.4.1. Metodologia de Desenvolvimento

A estação portátil desenvolvida em 2014, como citado anteriormente, foi realizada para cumprir as necessidades da equipe do satélite AESP-14 em realizar os testes de telemetria e telecomando na última fase de desenvolvimento do satélite. É por isso que para sua construção não foi usado nenhum processo formal no desenvolvimento do sistema. O *design* da estação foi realizado usando experiência em radioamadorismo e fazendo uma integração com ferramentas comerciais, usando uma topologia simples de rápido acesso e de muito baixo custo.

A equipe de desenvolvimento atualmente se compõe de cinco pessoas. A criação da estação levou em torno de 15 dias, e o custo aproximado para a construção da estação foi de USD \$633 (valor a outubro/2015).

### 3.4.2. Descrição da Estação

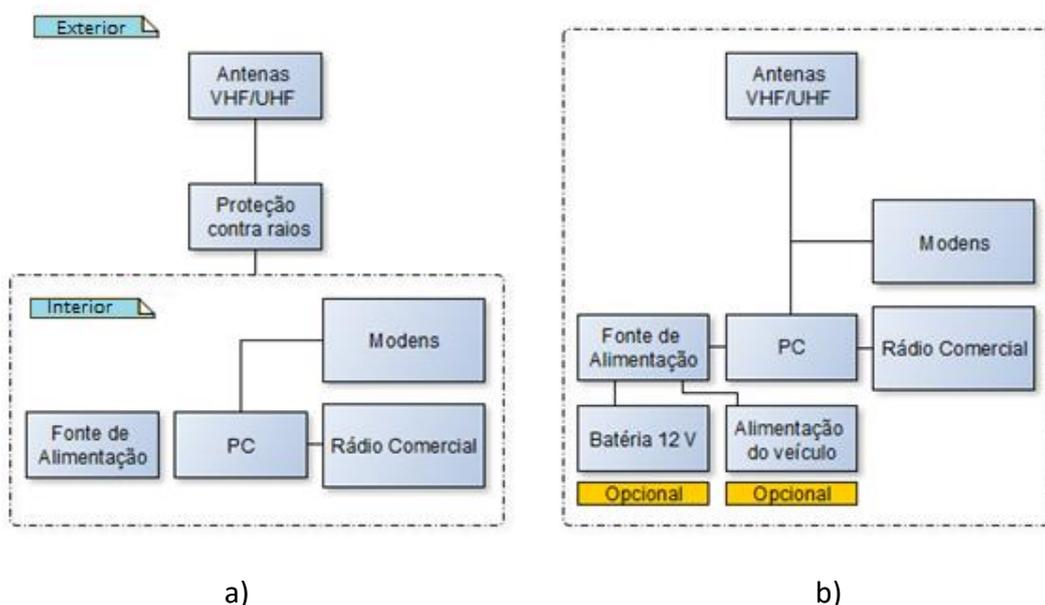
A ET ITA possui dois grupos de componentes ou configurações, dependendo da utilização, de acordo com a Figura 3.10, sendo estes:

- 1) Configuração da estação fixa: possui um grupo de elementos externo e outro interno com referência ao lugar de operação, da mesma forma que a ET ITA. No grupo de elementos exterior se encontram as antenas, estas podem ser direcionais ou omnidirecionais. Nesta utilização são usadas frequentemente antenas fixas de padrão direcional tipo “Yagí”, ou de padrão omnidirecional tipo “Eggbeater”. Na parte interior se encontra um *rack*, de pequenas dimensões, integrado por uma placa de computador, dois modems, um transceptor comercial e uma fonte de alimentação.
- 2) Configuração da estação portátil: Nesta configuração o sistema torna-se um grupo de componentes único. Aqui é usada pela praticidade uma antena de padrão omnidirecional *Eggbeater*, a qual é uma boa solução para satélites de órbita baixa, com baixa taxa de dados, o qual simplifica a construção da estação terrena, pois não são necessários rotores ou interfaces, permitindo concentrar os esforços em escutar o

satélite (BAKER, 2011). Para poder operar em condições exteriores deve-se adicionar uma bateria externa de 12 volts, ou caso a estação esteja sendo transportada em um veículo, esta poderia ser alimentada pela bateria.

Em conjunto, esta solução de estação portátil recebe sinais de satélites, e ao mesmo tempo serve como uma ferramenta para propagar o conhecimento em universidades e escolas da região.

Figura 3.10 - Diagramas de blocos das configurações da ET ITA



a) representa a configuração fixa da ET ITA;

b) representa a configuração portátil da ET ITA;

Em azul apresentam-se os blocos principais, em amarelo os que podem ser de caráter opcional.

Fonte: Produção do autor.

### 3.4.2.1. Sistema Irradiante

O sistema irradiante da ET ITA, detalhado para a configuração portátil, é composto unicamente por uma antena tipo *Eggbeater*, nomeada assim, pelo design semelhante a um batedor de ovos, apresentada na Figura 3.11. O padrão da antena é omnidirecional e a polarização é RHCP, pelo qual, a estação não precisa de um controle de antena. A antena da estação foi elaborada artesanalmente com dois laços de fio com recobrimento de cobre

de 20 cm de diâmetro, cada laço de cobre proporciona comunicação em uma banda diferente, um para VHF e outro para UHF, alimentados em quadratura e suportados por um tubo de PVC de uma polegada, e conectadas ao *rack* por meio de cabo coaxial N *female*. As especificações são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Especificações técnicas das antenas ET ITA

<b>Antena</b>	<b>Banda</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ganho</b>
Artesanal	UHF (400-470 MHz)	Eggbeater EB-432/RK70CM	5.5 dBic RHCP

Fonte: Produção do autor.

Figura 3.11 - Antena tipo *Eggbeater* da ET ITA



Antena tipo *Eggbeater* utilizada na estação, em processo de desenvolvimento.

Fonte: Produção do autor.

#### 3.4.2.2. Transceptor de RF

A solução para a transcepção dos dados é trivial e utiliza um transceptor comercial de marca Yaesu®, modelo FT8100R, que opera nas bandas de radioamadorismo de VHF e UHF. O transceptor possui uma facilidade de

comunicação de dados para 1200 bps e 9600 bps, e é alimentado por uma fonte chaveada de 12 Volts - 10 Ampéres. As características técnicas são apresentadas a continuação, na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 - Características técnicas do transceptor ET ITA

Parâmetro	Transmissor	Receptor
Faixa de Frequência	144~146/144~148 MHz 430~440/430~450 MHz	110~550 MHz 750~1300 MHz
Potência de RF	50/20/5 Watts (VHF) 35/20/5 Watts (UHF)	N/A
Esquema de Modulação	AFSK/FSK 1k2/9k6 bps	AFSK/FSK 1k2/9k6 bps
Tipo do Circuito	N/A	<i>Double-conversion</i> <i>Superheterodyne</i>
Frequências intermediárias	N/A	45.05 MHz & 455 kHz (VHF) 58.525 MHz & 455 kHz (UHF)

Fonte: Adaptada do manual de usuário do FT8100R (1997).

#### 3.4.2.3. Modem e Software

A estação mantendo seu design simples, possui dois modems que suportam as taxas de dados de 1200 bps e 9600 bps, mas a solução modular cria a possibilidade de adicionar mais componentes dependendo das necessidades dos operadores. Os modems são comerciais de marca BayPac modelo BP-2 compatível com o esquema de modulação AFSK em 1200 bps, e modelo BP-96A compatível com o esquema de modulação FSK em 9600 bps.

A placa de computador da estação é do tipo: Mini PC ITX versão V Fanless. Como sistema operacional é usado *MS-Windows*, onde é instalado o *software* de predição de satélites Orbitron. Também é usado o *MS-DOS*, para instalar o *software* específico para missão de telemetria e telecomando Baycom 1.6,

cuja função é codificar e decodificar os pacotes do protocolo de comunicação AX.25.

### 3.5. Estação Terrena HJ7JAR (UPTC)

Construída em 2011, caracteriza-se por ser uma estação fixa de baixo custo de rastreamento e controle para satélites de pequeno porte, localizada no prédio da Engenharia de Computação da UPTC<sup>6</sup>, na cidade de *Tunja* (Boyacá, Colômbia). Segundo Nonsoque (2012), a estação terrena foi um projeto desenvolvido pelo grupo de pesquisa INFELCOM (*Grupo de Investigación en Informática, Electrónica y Comunicaciones*) com o nome do *Proyecto Implementación de una Estación Terrena Para el Seguimiento de Satélites de Órbita Baja* (Nº de projeto 1096) com o propósito de implementar uma estação terrena de rastreamento de pequenos satélites para a UPTC, baseados no rastreamento do satélite e o enlace de comunicações, e assim contribuir na formação de pesquisadores na área aeroespacial colombiana. A estação opera em frequências de radioamadorismo com o prefixo HJ7JAR, determinado pelo *Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, da República da Colômbia.

#### 3.5.1. Metodologia de Desenvolvimento

O foco da pesquisa da UPTC na criação da estação foi a seleção de componentes dentro das melhores práticas encontradas no estado da prática. Neste contexto, para criar a estação não foi utilizado nenhum processo de desenvolvimento de sistema. A criação da estação foi o resultado da aplicação prática: integração de componentes com um fim determinado, a transmissão de dados desde terra para o satélite e vice-versa.

A equipe de desenvolvimento da estação é composta por três pessoas, que criaram a estação em uma estimativa de 12 meses. O custo aproximado para a construção da estação foi de USD \$3.550 (Valor de outubro/2015).

---

<sup>6</sup> Latitude: 5°33'22"N, Longitude: 73°21'28.8"O, Altitude: 2754 NMM

### 3.5.2. Configuração da Estação

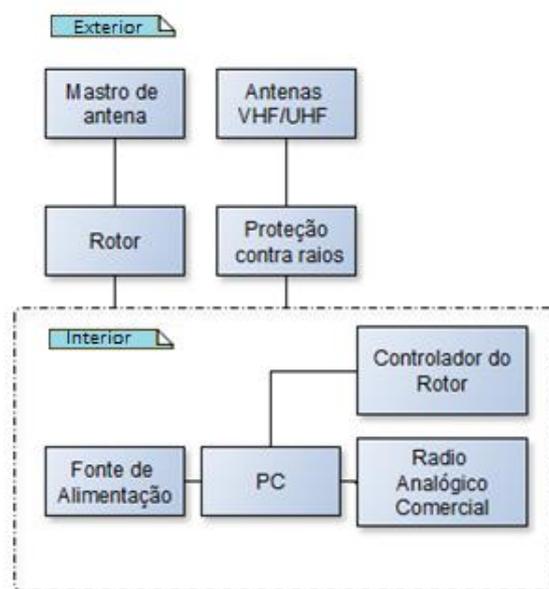
A ET UPTC é uma estação construída com componentes COTS, que opera em *simplex* (ESPINDOLA et. al., 2011), apresentada na Figura 3.12. Ela possui dois grupos componentes; exterior e interior com relação ao lugar de operação. No componente exterior, terraço, encontram-se o sistema irradiante, o controlador da antena, e a estrutura mecânica que dá suporte e segurança. Na parte interior encontram-se equipamentos de transcepção, interfaces e o computador, conforme se apresenta na configuração dos blocos na Figura 3.13.

Figura 3.12 - Visão global da ET UPTC



Fonte: Produção do autor.

Figura 3.13 - Diagrama de blocos da ET UPTC



Fonte: Produção do autor.

Atualmente, a ET UPTC é operada pelo grupo de pesquisa em telecomunicações INFELCOM, nas bandas VHF e UHF. Como parte do projeto, em breve, devem-se iniciar os testes para formar parte de ‘*The SATNet Project*<sup>7</sup>, esta rede de estações terrenas iniciada no CalPoly com parceria da universidade de *Vigo* e recentemente também com parceria do INPE (Inclusão em dezembro 2014), pretende proporcionar a primeira rede unificada para o intercâmbio de estações terrenas para os membros desenvolvedores da comunidade *CubeSat* (TUBIO, 2015).

### 3.5.2.1. Sistema Irradiante

O Sistema Irradiante da ET UPTC está composto por duas antenas operando em VHF e UHF, especificadas na Tabela 3.4. As duas antenas estão em uma mesma estrutura suportadas pelo rotor.

Tabela 3.4 - Especificações técnicas das antenas da ET UPTC

Antena	Banda	Tipo	Ganho
CUSHCRAFT 13B2	VHF 144-148MHz	Yagi-Uda 2 m	15.8dBi LH/RHCP
A449-11S	UHF 430-440MHz	Yagi-Uda 70 cm	13.2dBi LH/RHCP

Fonte: Adaptada de Nonsoque (2012).

### 3.5.2.2. Controle de Antena

O controle de antena se realiza por meio do rotor comercial marca Yaesu®, modelo G-5500. Este rotor é comandado por meio de um controlador do mesmo fabricante modelo Gs 5500, cuja função é controlar o fornecimento de corrente aos motores do rotor. O equipamento de controle do rotor é conectado ao computador por meio da interface GS 232B, permitindo que o sistema de controle das antenas funcione de maneira automática (NONSOQUE, 2012).

<sup>7</sup> Disponível em:

[http://mstl.atl.calpoly.edu/~bklofas/Presentations/DevelopersWorkshop2014/Tubio\\_SATNet.pdf](http://mstl.atl.calpoly.edu/~bklofas/Presentations/DevelopersWorkshop2014/Tubio_SATNet.pdf)

### 3.5.2.3. Transceptor de RF e Modem

O transceptor da estação é comercial de marca Kenwood®, modelo TM-D700, opera nas bandas de radioamadorismo de VHF e UHF.

Para conseguir comunicação digital com o satélite e a decodificação dos dados, a ET UPTC está equipada com um componente comercial denominado *Terminal Node Controller* (TNC) de modelo KPC-9612 da empresa Kantronics, o qual, suporta as taxas de dados de 1200 bps e 9600 bps em modulação em GMSK e FSK.

### 3.6. Estação Terrena PY2SDR (PAR)

A estação de prefixo PY2SDR de propriedade do radioamador Edson W. R. Pereira, é portátil de baixo custo, que utiliza tecnologia SDR, para rastrear satélites de pequeno porte, localizada na cidade de Pardinho<sup>8</sup>, interior do estado de São Paulo. A estação foi construída em 2013 usando *hardware* comercial e *software* livre, disponibilizados predominantemente pela comunidade internacional de radioamadores.

A ET PAR não foi construída dentro de um projeto de *CubeSats*, foi criada para apoiar a recepção de telemetrias principalmente dos satélites da comunidade radioamadora. Não obstante, em 2016, fornece informações também para os desenvolvedores dos *CubeSats* brasileiros.

Entre os diversos Pico e Nanosatélites que a estação tem rastreado, segundo Pereira<sup>9</sup>, encontram-se: STRaND-1, Triton-1, CubeBug-2, FUNcube-1, UWE-3, LituanicaSAT-1, BugSat-1, NanosatC-Br1, QB50p1, QB50p2, UKube-1, FUNcube-2, SHIN'EN2, PSat-A/B, LightSail-A, e DeorbitSail, Foz-1A, entre outros. Destacando-se, segundo o site da AMSAT-BR, que a estação foi a primeira em obter sinais do *CubeSat* 3U SERPENS<sup>10</sup> em sua

---

<sup>8</sup> Latitude: 23°06'17,6''S, Longitude: 48°22'48,3''O, Altitude: 989 NMM

<sup>9</sup> Entrevista concedida por PEREIRA, Edson W. **Satélites rastreados pela estação PY2SDR**. [jan. 2016]. Entrevistador: Jaime Enrique Orduy. Pardinho, 2016. 1 arquivo .mp3 (60 min.).

<sup>10</sup> *CubeSat* desenvolvido por estudantes em parceria entre a Universidade de Vigo e a Universidade de Brasília.

primeira órbita em dia 17 de setembro de 2015 na frequência de 437,365 MHz na faixa dos 70 cm do serviço radioamador.

### **3.6.1. Metodologia de Desenvolvimento**

Para desenvolver a ET PAR não foi usado nenhum processo formal no *design* do sistema. Simplesmente foi usada a experiência em radioamadorismo, processamento digital de sinais e em estações terrenas para satélites. O desenvolvedor partiu do conceito de criar uma topologia modular para proporcionar compatibilidade com vários tipos de satélites, focando em experimentação e não necessariamente em operação autônoma, contudo, a operação autônoma poderia vir a ser um critério no futuro para esta estação.

A estação foi desenvolvida por uma única pessoa, aproximadamente em dois meses e o custo aproximado para a construção da estação foi de USD \$1.200 (valor de outubro/2015).

### **3.6.2. Descrição da Estação**

O *design* desta estação, em relação a seus componentes de *hardware*, é o mais simples, levando em consideração as três referências apresentadas anteriormente, uma vez que, só possui quatro componentes em *hardware*, conforme se apresenta na Figura 3.14, no local de operação.

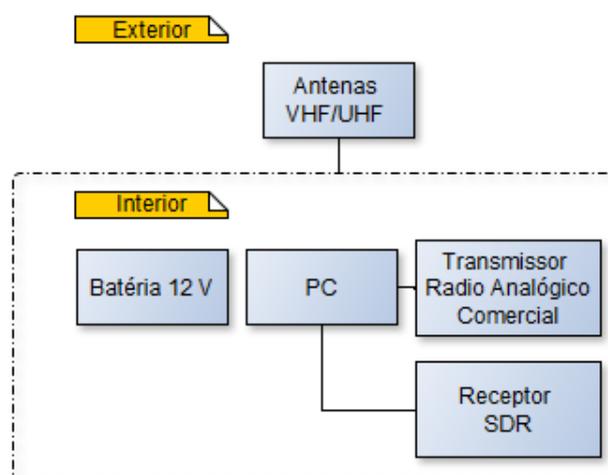
A ET PAR possui dois grupos de componentes com relação ao local de operação: no exterior encontra-se o sistema irradiante e no interior encontra-se somente um computador, um transceptor analógico e um receptor digital (SDR), com as respectivas linhas de transmissão, conforme a Figura 3.15.

Figura 3.14 - Visão global da ET PAR



A estação possui quatro componentes em *hardware*: três apresentados na Figura 3.14, e o conjunto das antenas no exterior do local de operação  
Fonte: Pereira (2015).

Figura 3.15 - Diagrama de blocos simplificado da ET PAR



Fonte: Produção do autor.

### 3.6.2.1. Sistema Irradiante

O sistema irradiante está projetado para acoplar duas antenas nas bandas VHF, UHF, as características delas são apresentadas na Tabela 3.5. Por motivos de simplicidade no projeto, a estação ET PAR não possui controle de antena, se precisar de movimentação deverá ser feita manualmente.

Conforme o *site* oficial da AMSAT-BR<sup>11</sup>, a transmissão dos sinais, nesta estação se realiza com uma antena LFA (*Loop Feed Array*) de quatro elementos, construída de forma artesanal com um tubo de PVC como suporte e fios de cobre rígido de 10 mm<sup>2</sup> nos elementos. Para o rastreamento, é usado um tripé de câmera fotográfica e o posicionamento é feito de forma manual. Um pré-amplificador de RF com ganho de 18 dB é usado para diminuir as perdas inseridas pelo cabo coaxial entre a antena e a interface SDR.

A recepção se realiza por meio de uma antena MOXON de fabricação artesanal com um tubo de PVC e um fio de cobre rígido.

Tabela 3.5 - Especificações técnicas das antenas ET PAR

<b>Antena</b>	<b>Banda</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ganho</b>
Artesanal	VHF 144-148MHz	MOXON	7.8dBi LHCP / RHCP
Artesanal	UHF 430-440MHz	LFA	10dBi LHCP / RHCP

Fonte: Produção do autor.

### 3.6.2.2. Transceptor de RF

A estação utiliza aparelhos diferentes para realizar a comunicação com o satélite, a transmissão é efetuada por meio de um rádio analógico comercial, marca ICOM, modelo IC-706MKII, que poderia também efetuar a recepção, no entanto, neste caso a recepção é diferenciada pelo tratamento dos sinais.

A recepção é diferenciada da transmissão, por que utiliza um receptor SDR, por meio do *hardware FUNCube Dongle Pro+*, criado pela AMSAT-UK no marco do projeto FunCube, para dotar aos alunos de um meio simples e barato de receber sinais de telemetria dos satélites amadores (BARBER, 2015). O receptor desta estação consegue emular o que um rádio analógico

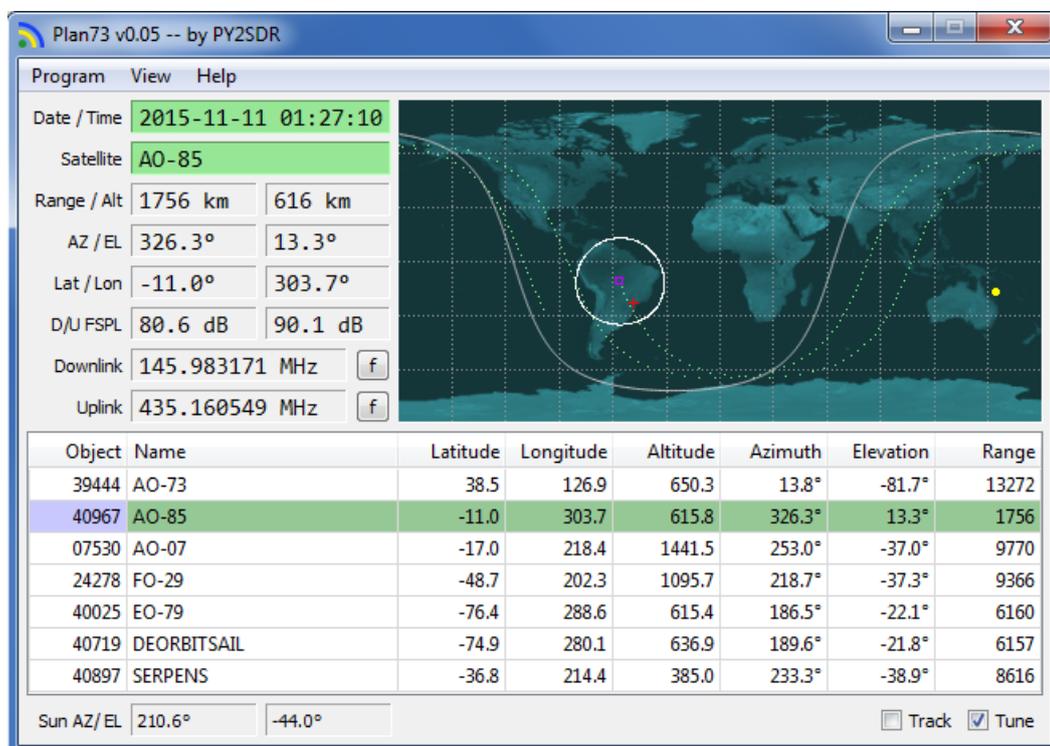
<sup>11</sup> Disponível em: <http://amsat-br.org/cubesat-serpens-decodificacao-dos-sinais/> acesso em; 02 jan. 2016

faz, mas tudo em *software*, proporcionando à estação simplicidade de componentes e robustez no *design*.

### 3.6.2.3. Software

A estação pode utilizar como sistema operacional tanto *Microsoft Windows* quanto *Linux*, neste caso utiliza *Microsoft Windows 8*. Para realizar o rastreo dos satélites a ET PY2SDR utiliza o *software* de predição *Orbitron* e também o *software* desenvolvido pelo proprietário AMSAT-BR Plan73, apresentado na Figura 3.16.

Figura 3.16 - Software AMSAT-BR Plan73 v0.05



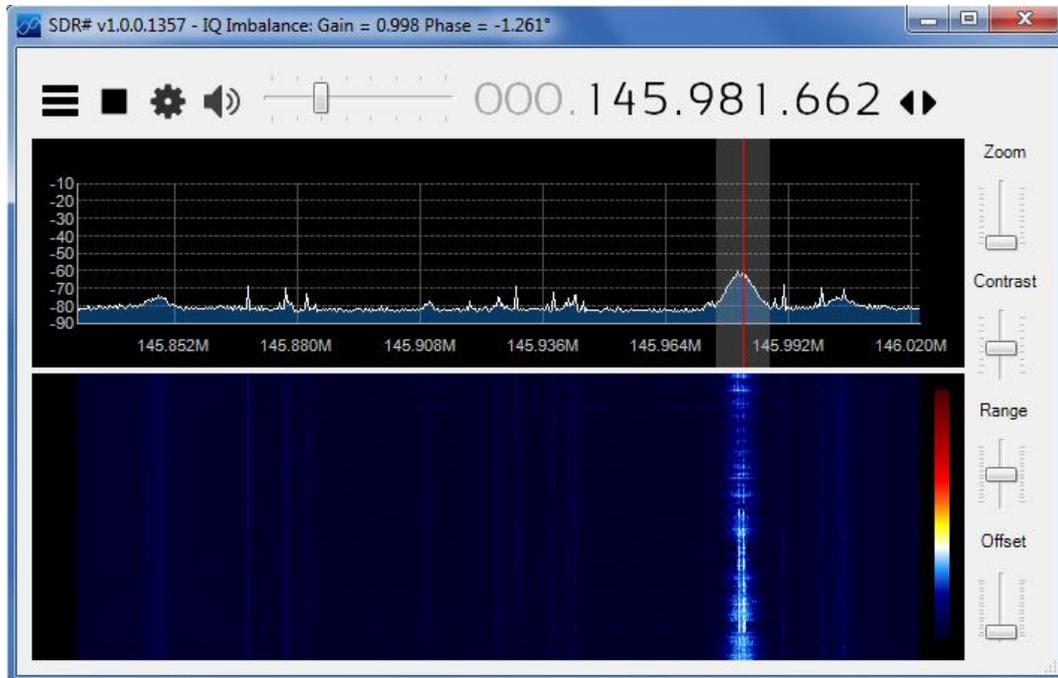
*Software* AMSAT-BR Plan73 versão 0.05 na operação de recepção de sinais do satélite FOX-1A, em 11 de novembro de 2015.

Fonte: Produção do autor.

Como *software* específico para missão a ET PAR, utiliza o pacote KISS console e o pacote AMSAT-BR DCX2 console, cuja função é decodificar os pacotes de telemetria adquiridos pela estação nos protocolos de comunicação AX.25, FX.25 e *FUNCube* (modos e sub-modos). O *software* que controla o *Funcube Dongle Pro+* é o *SDR Sharp v1.0.1357*, apresentado na Figura

3.17, *software* livre obtido via *download* da internet. Finalmente a estação é orquestrada pelo *software* que também exerce a predição orbital nomeado AMSAT-BR Plan73.

Figura 3.17 - *Software* SDR# v1.0.0.1357



SDR Sharp na operação de recepção de sinais do satélite FOX-1A, observa-se no quadro azul a faixa branca detalhando a chegada do sinal proveniente do satélite. Dados recebidos em 11 de novembro de 2015.

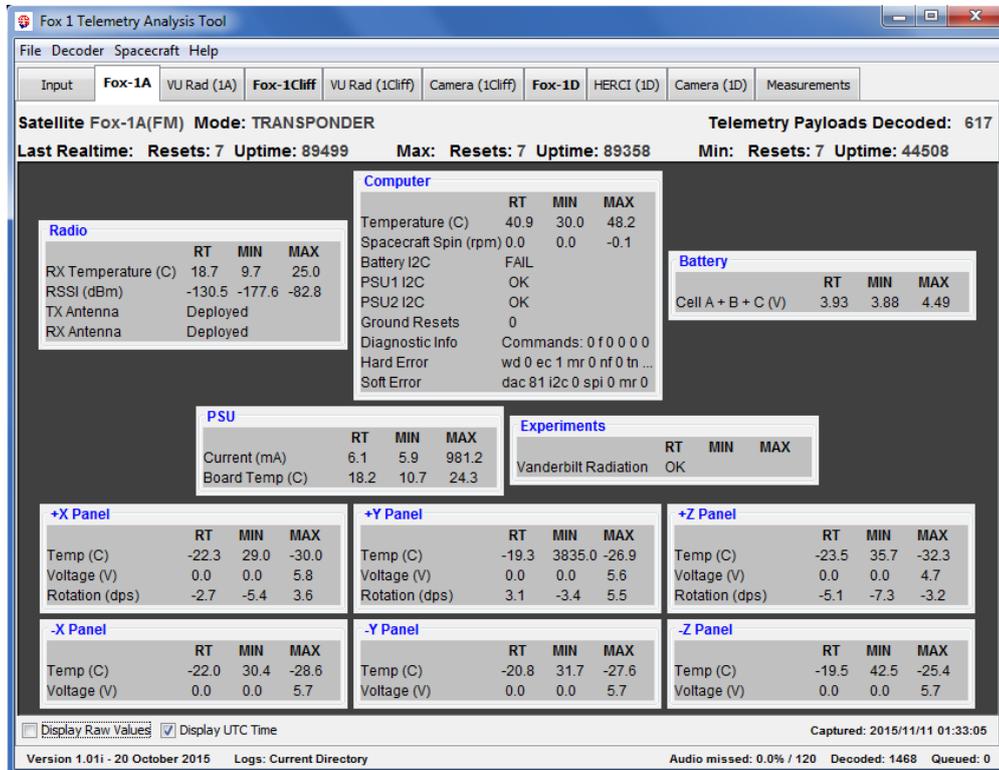
Fonte: Produção do autor.

O modem da estação também é desenvolvido em *software*. Neste caso é o *Sound Modem UZ7HO*, para *uplink*, compatível com os esquemas de modulação AFSK em 1200 bps e GFSK em 9600 bps; para *downlink*, compatível com os esquemas de modulação AFSK em 1200 bps, BPSK em 1200 bps e GFSK em 9600 bps (dependendo do satélite). O modem se comunica com os *softwares* específicos para missão KISS console e AMSAT-BR DCX2 console, por meio de protocolo TCP/IP.

A estação é configurável e escalável. Consegue adaptar outros *softwares* específicos de missão de diferentes satélites na arquitetura principal dela. A Figura 3.18 apresenta a interface de usuário do *software* que desempenha a função de receber telemetria e enviar telecomandos para o Nanossatélite Fox-

1A, que conforme o sítio eletrônico da AMSAT foi o primeiro desenvolvido dentro do projeto Fox, este *software* pode-se descarregar da internet no *site* oficial da AMSAT<sup>12</sup>.

Figura 3.18 - Fox Telemetry Analysis Tool



*Software* específico de missão do satélite FOX-1A, apresentando os sinais recebidos decodificados dos subsistemas do satélite, em 11 de novembro de 2015.

Fonte: Produção do autor.

<sup>12</sup> *Software* disponível em: [http://www.amsat.org/?page\\_id=4532](http://www.amsat.org/?page_id=4532) acesso em: 02 jan. 2016

#### **4 DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA PICO E NANOSSATÉLITES**

O desenvolvimento de sistemas espaciais, tais como Pico e Nanossatélites no Brasil, segundo Lopes (2015), é principalmente motivado pelo sucesso no desenvolvimento destes sistemas em outros países, cujo objetivo principal, é a utilização dos projetos como formação de recursos humanos em universidades.

Motivados pelo sucesso dos projetos de instituições estrangeiras, esses projetos nas universidades do Brasil, foram focados, em sua maioria, na construção do satélite, como aconteceu com o NanosatC-BR1, o AESP-14, o Serpens, o Tancredo 1 e o ITASAT, como foi mencionado na introdução do documento.

No caso da estação terrena desses satélites, os desenvolvedores dos projetos compraram e utilizaram simplesmente a infraestrutura existente para não se preocuparem com o desenvolvimento paralelo da estação terrena. Ao utilizar a infraestrutura existente, o projeto ganha tempo e economiza recursos humanos e fundamentalmente dinheiro.

As implicações da compra de uma estação ou de se utilizar a infraestrutura existente (legado dos outros projetos que em sua maioria já estão inoperativos) é o risco de ser incompatíveis. Isto pode implicar em não conseguir se comunicar com o satélite, acabando por não cumprir a missão estabelecida no começo do projeto. Contudo, não se trata de cancelar a compra de equipamentos prontos, que na maioria de casos funciona. Na realidade, trata-se de se adaptar uma solução às necessidades dos projetos em desenvolvimento, sabendo-se porque se deve comprar esse equipamento.

A adaptação das necessidades aos projetos de Pico e Nanossatélites se consegue com o pensamento sistêmico. O resultado fundamental deste pensamento sistêmico na construção de estações terrenas é a compreensão dos dois segmentos como um todo. Isto é, pensar em seus relacionamentos e os relacionamentos deles com o ambiente de operação. Para conseguir

compreender os relacionamentos deve-se pensar no problema antes de pensar na solução.

Este capítulo apresenta uma abordagem de fabricação tradicional *Bottom-Up*, isto é, o método que os radioamadores e as universidades atualmente utilizam para a construção de suas estações. Posteriormente é apresentada uma abordagem *Top-Down* da Engenharia de Sistemas, isto é, o processo desenvolvido e adaptado para estações terrenas.

#### 4.1. **Abordagem *Bottom-Up***

A análise *Bottom-Up* se realiza para descrever em detalhe o funcionamento e comportamento das estações terrenas. Chikofsky e Cross (1990) afirmam que esta abordagem pode ser denominada de Engenharia Reversa, a qual descreve o processo de analisar um sistema identificando seus componentes e seus inter-relacionamentos, além de criar uma representação de sistema com um alto nível de abstração.

Esta abordagem *Bottom-Up* estima os custos para vários componentes geralmente mais rápido e preciso do que para um único e grande componente, o ponto fraco dessa abordagem é que um produto é, na verdade, mais que a simples soma de seus componentes (SCHACH, 2011).

Para a área de atuação do radioamadorismo, segundo Pereira<sup>13</sup>, não é comum se usar uma metodologia formal no desenvolvimento de estações terrenas por causa da característica experimental. O radioamadorismo tende a ser muito empírico. Por isso, muitos dos projetos encontrados na literatura são voltados à implementação prática. O objetivo, nesses casos, é construir um único equipamento para uma aplicação específica, denominado "avanço do estado da arte" (*State-of-the-art advancement*). Por outro lado, pela diversidade de tipos de satélites e suas características é difícil aplicar a

---

<sup>13</sup> Entrevista concedida por PEREIRA, Edson W. **Metodologia de desenvolvimento de estações terrenas para Pico e Nanossatélites**. [jan. 2016]. Entrevistador: Jaime Enrique Orduy. Pardinho, 2016. 1 arquivo .mp3 (60 min.).

mesma metodologia para cada estação, o que gera a necessidade do setor em padronizar algumas das características operacionais.

Entretanto, encontrou-se por meio da pesquisa de campo, que a consolidação de uma estação terrena do tipo radioamador para Pico e Nanossatélites, como as estações dos projetos anteriormente citados no Capítulo 3, Seções 3.1 - 3.4, é definida por meio da abordagem *Bottom-Up* e pode ser agrupada em tarefas comuns em todas as estações.

Esta metodologia se compõe de seis etapas, a saber: (i) Definição do objetivo, (ii) Busca de alternativas, (iii) Definição dos parâmetros do satélite, (iv) Projeto do sistema de telecomunicações, (v) Definição dos parâmetros da estação, (vi) Seleção da arquitetura e dos componentes. (vii) Integração e testes. Estas etapas serão descritas, a seguir:

#### **4.1.1. Definição do objetivo de desenvolvimento**

As estações terrenas para Pico e Nanossatélites universitários poucas vezes são desenvolvidas com o fim de comprovar que o sistema funciona, em contraste com o serviço radioamador que procura a experimentação com tecnologias diferentes (PU1LPC, 2013). Em outras palavras, na área acadêmica as estações terrenas para este tipo de satélites estão ligadas ao satélite de cada projeto. Isto pode ser visto em projetos de Nanossatélites como o UWE 1 da universidade de Wuerzburg (2007). Não obstante existem projetos como a estação terrena da UPTC (2010) anteriormente descrita no Capítulo 3, Seção 3.3, produto de uma análise de telecomunicações por satélite, da qual surgiu a construção de uma estação terrena, sem se possuir um satélite próprio e, tampouco uma missão espacial específica.

A definição do objetivo nesta abordagem consiste em definir os parâmetros iniciais da estação, como a função, localização e os limites do sistema. Vale a pena ressaltar que neste enfoque de geração de sistemas, o foco é diretamente na solução sem se abordar um processo prévio de definição do problema.

Na definição da função é escolhido o tipo de estação a desenvolver, a qual pode ser: (i) Estação fixa, (ii) Estação móvel, ou (iii) Estação móvel modular; e sua função como: (i) Estação de Rastreamento e Controle de Satélites (TT&C), (ii) Estação de Recepção de Dados de Carga Útil (ME), ou (iii) Estação de Rastreamento de Satélites (ERS).

Além do tipo de estação, Wu (2012), inclui nesta etapa as necessidades e restrições das partes interessadas, sendo estas as capacidades que a estação deverá efetuar, tais como: (i) Compatibilidade com um ou vários Pico ou/e Nanossatélite, (ii) Rastreamento automático, (iii) Operações flexíveis.

#### 4.1.2. Busca de alternativas de desenvolvimento

Após a definição do tipo da estação e a função que esta irá desempenhar, realiza-se uma análise comparativa de soluções dentro do estado da arte e da bibliografia de outras estações, que frequentemente são encontradas nos sítios eletrônicos de radioamadores, ou em repositórios de universidades que realizaram trabalhos parecidos, com o fim de conhecer e apresentar os atributos das outras soluções para posteriormente escolher a arquitetura que a nova estação irá ter.

A Tabela 4.1 apresenta a comparação dos atributos do *software* das estações encontradas por meio da pesquisa de campo, caracterizadas no Capítulo 3, Seções 3.1 - 3.4. A Tabela 4.2 apresenta a comparação dos atributos do *hardware*.

Tabela 4.1- *Software* das estações de referência

<b>Software</b>	<b>INPE-ITA</b>	<b>ITA</b>	<b>UPTC</b>	<b>PAR</b>
<b>Sistema Operacional</b>	Windows/ Linux	Windows	Linux	Windows
<b>Predição de órbita</b>	Gsat/ Predict	Orbitron	Orbitron	Orbitron
<b>Software missão TT&amp;C</b>	ISIS VHF-UHF Ground Station Transceiver v2.3.6206.	Baycom 1.6 -DOS	PROET_ESTACION	KISS Console / DCX2 Console
<b>Software Gerenciador</b>	DGS Server / ISIS Data Distribution Center	SID	PROET_ESTACION	AMSAT-BR Plan 73

SID: Sem informação disponível

Fonte: Produção do autor.

Tabela 4.2 - Hardware das estações de referência

<b>Componentes</b>	<b>INPE-ITA</b>	<b>ITA</b>	<b>UPTC</b>	<b>PAR</b>
<b>Design</b>	ISIS®	Próprio	USA-GS	Próprio
<b>Estatus</b>	Ativa	Ativa	<i>Up grade</i>	Ativa
<b>Antena VHF</b>	M2 ®2MCP14	<i>Eggbeater</i>	<i>CRUSHCRAFT</i> 13B2	LFA
<b>Antena UHF</b>	M2 ®2MCP30	<i>Eggbeater</i>	A449-11S	MOXON
<b>Antena Banda S</b>	<i>PRIME FOCUS</i> <i>MESH DISH KIT</i> <i>1.9 Meter DISH</i>	SID	SID	SID
<b>Rotor</b>	AZEL-1000CB	N/A	YAESU G-5500	N/A
<b>Controle do rotor</b>	RC2800	N/A	YAESU G-5500	N/A
<b>Interface do rotor</b>	RS 232	N/A	GS 232B	N/A
<b>Transceiver</b>	USRP B200	FT8100R YAESU	Kenwood TM-D700	IC-706MKII
<b>Protocolo de Com</b>	AX.25	AX.25	AX.25	AX.25/FX.25
<b>SDR</b>	ISIS SDR <i>transceiver</i>	SID	SID	<i>FUNCube</i> <i>Dongle PRO+</i>
<b>Potência</b>	UPS (APC)	Fonte 12v 10A 120w	Fonte Diamond	Bateria 12v
<b>Computador</b>	Dell PowerEdge R210 –Tela HP 2311x	Mini PC ITX versão <i>V Fanless</i>	SID	HP <i>Probook</i> 4540s
<b>Modem</b>	Em <i>software</i>	M BP-2 M BP-96A	SID	Em <i>Software</i>
<b>Custo USD</b>	53.275	690	4.050	1.140
<b>Custo R\$</b>	197.000.00	2.550.00	15.000.00	4.220.00

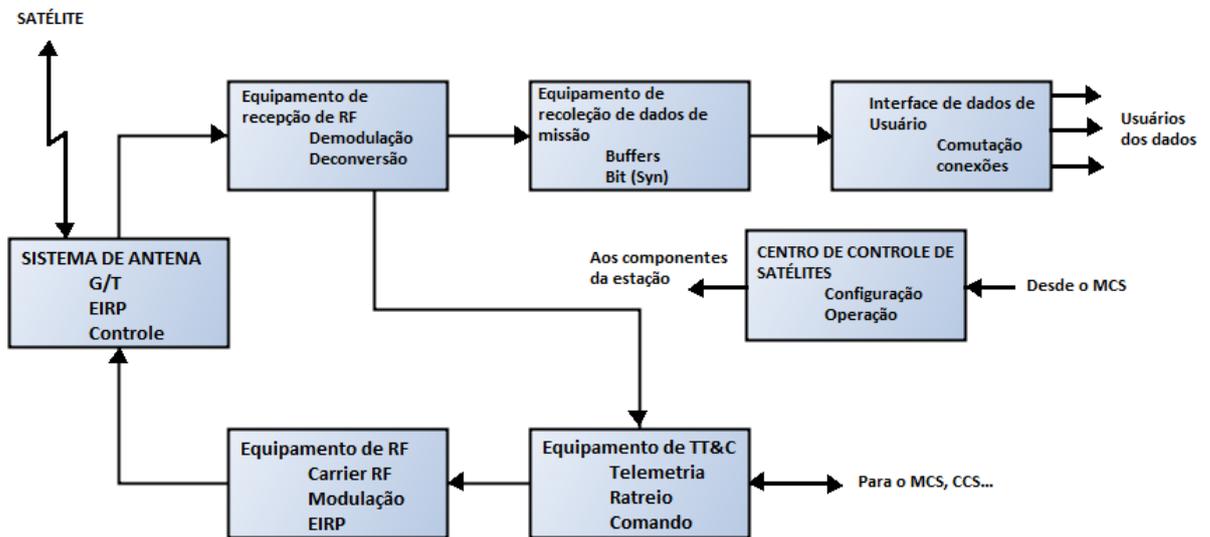
SID: Sem informação disponível. N/A: Não aplica.

Fonte: Produção do autor.

Identificando as características tecnológicas dos outros projetos, são definidos os módulos e os blocos que compõem a estação, que servirão para a definição inicial do diagrama de blocos. Nesse diagrama se acoplam funções a

componentes e se define uma arquitetura prévia do sistema, como é apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Diagrama de blocos da estação de referência



Fonte: Adaptado de Wikramanayake (2007).

#### 4.1.2.1. Comparação de soluções

A partir das soluções encontradas no estado da arte, realiza-se uma comparação de tecnologia. O resultado desta comparação usualmente será a seleção ('cópia') de equipamentos e componentes para a nova estação, e a alocação destes componentes ao diagrama de blocos estabelecido nas etapas prévias.

Os critérios para a seleção do *hardware* são mais exigentes neste sentido, já que o preço cria uma restrição para o projeto. Além do preço, o grau de experiência em uma tecnologia também fará com que seleção seja focada a equipamentos conhecidos. A Figura 4.2 apresenta em quadros vermelhos a seleção de equipamentos da futura estação.

Figura 4.2 - Seleção de componentes para uma futura estação

Componentes	INPE-ITA	ITA	UPTC	PAR
<i>Design</i>	ISIS®	Próprio	USA-GS	Próprio
<i>Estatus</i>	Ativa	Ativa	<i>Up grade</i>	Ativa
<b>Antena VHF</b>	M2 2MCP14	Eggbeater	CUSHCRAFT 13B2	LFA
<b>Antena UHF</b>	M2 2MCP30	Eggbeater	A449-11S	MOXON
<b>Antena Banda S</b>	PRIME FOCUS MESH DISH KIT 1.9 Meter DISH	N/A	SID	SID
<b>Rotor</b>	AZEL-1000CB	N/A	YAESU G-5500	N/A
<b>Controle do rotor</b>	RC2800	N/A	YAESU G-5500	N/A
<b>Interface do rotor</b>	RS 232	N/A	GS 232B	N/A
<b>Transceiver</b>	USRP B200	FT8100R YAESU	Kenwood TM- D700	IC-706MKII
<b>Protocolo de Com</b>	AX.25	AX.25	AX.25	AX.25/FX.25
<b>SDR</b>	ISIS SDR transceiver	SID	SID	FUNCube Dongle PRO+
<b>Potencia</b>	UPS (APC)	Fonte 12v 10 A 120w	Fonte Diamond	Bateria 12v
<b>Computador</b>	Dell PowerEdge R210 –Tela HP 2311x	Mini PC ITX versão V Fanless	SID	HP Probook 4540s
<b>Modem</b>	Em software	M BP-2 M BP-96A	SID	Em Software
<b>Custo R\$</b>	197.000.00	2.550.00	15.000.00	4.220.00

Em vermelho: Possível seleção de componentes avulsos de diferentes estações.

Em verde possível seleção de todos os elementos de uma estação completa.

Fonte: Produção do autor

#### 4.1.2.2. Resultados da análise comparativa

A comparação de tecnologias fornece uma possível arquitetura para a nova estação, a qual será validada com os dados resultantes das duas seguintes etapas. Neste ponto, os projetistas da estação do tipo radioamador podem escolher, a partir, das vantagens e desvantagens das estações referenciadas, uma nova estação com um *design* próprio, copiar uma estação de outro desenvolvedor, ou criar uma mistura de várias capacidades operacionais, com elementos novos e elementos já comprovados em outras estações. Uma vantagem dos elementos que compõem a estação terrena com relação ao

satélite é que não precisam ser qualificados, podendo ter mais alternativas para a construção do sistema.

#### 4.1.3. Definição dos parâmetros do satélite

Posteriormente, realizada a comparação de tecnologias, se escolhem os componentes que a estação possuirá. Para escolher o equipamento a utilizar, segundo Penna (2011), deve-se, primeiro, escolher o satélite com que a estação irá trabalhar. Neste caso, o satélite ou satélites, dependendo da capacidade escolhida na definição da função.

##### 4.1.3.1. Parâmetros operacionais do Pico ou Nanossatélite

Nesta etapa se realiza a caracterização dos Pico ou Nanossatélites que a estação precisa estar capacitada a operar, apresentados na Tabela 4.3. Esses parâmetros são necessários para realizar o cálculo de enlace, comumente denominado como *Link Budget*, o qual pretende definir as características dos componentes da estação. Na verdade, este é o passo fundamental para o projeto de uma estação terrena, a partir daqui a informação tomada nas etapas anteriores será validada.

Tabela 4.3 - Parâmetros operacionais de *CubeSats*

Satélite	CubeSat 1	CubeSat 2	CubeSat n
Órbita - Perigeu (Km)	350	450	600
Órbita - Apogeu (Km)	400	450	600
Frequência <i>Up</i> (Mhz)	437.131	436.131	435.131
Frequência <i>Down</i> (Mhz)	437.131	436.131	435.131
Potência de saída (Watt)	0,2	0,5	1
Protocolo de com.	AX.25	FX.25	CSP
Modulação	AFSK	QPSK	BPSK
Taxa (bps)	1200/9600	1200/9600	1200/9600

Informações de referência, de propósito ilustrativo.

Fonte: Produção do autor.

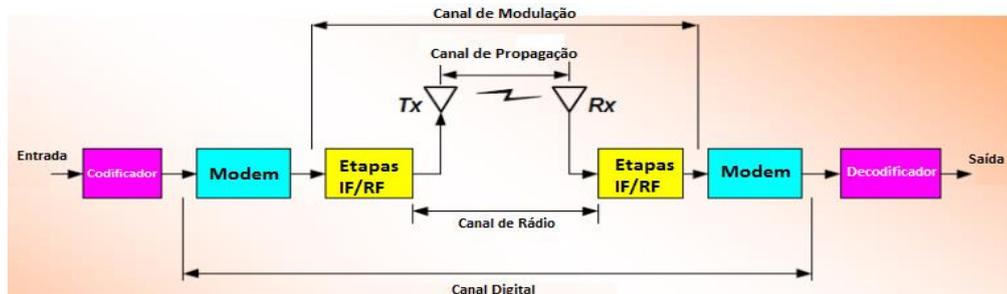
#### 4.1.4. Projeto do sistema de telecomunicações - Cálculo de enlace (*Link Budget*)

O cálculo de enlace é o balanço de potência no caminho do sinal entre dois equipamentos de telecomunicações (transmissão e recepção), Atlanta RF (2015) afirma que o cálculo determina se existe suficiente potência do sinal no receptor para recuperar a informação que lhe é transmitida com fidelidade aceitável de modo que o sinal possa ser usado. O cálculo leva em consideração a potência de transmissão, o ganho do transmissor, as perdas em equipamentos, e os efeitos e perdas da propagação do sinal, como se apresenta na Figura 4.3.

Com a aplicação do *Link Budget* se define o ganho das antenas, a potência do transmissor entre outros parâmetros dos componentes. A partir desses resultados e, levando em consideração as referências das etapas anteriores, procede-se a definir o tipo de equipamentos a serem usados.

Em 2016, esse cálculo de enlace é realizado por meio de uma ferramenta disponibilizada no ambiente de radioamadores. No sítio eletrônico da AMSAT<sup>1</sup> encontra-se o aplicativo '*AMSAT / IARU Annotated Link Model System*' desenvolvido em *MS-Excel*, no qual é possível preencher os dados do receptor e do transmissor, além de outras características e assim determinar o balanço de potência, e se o enlace é viável entre eles.

Figura 4.3 - Enlace de comunicação



*Link Budget* leva em consideração todos os ganhos e perdas a partir do transmissor, por meio do canal de propagação para o receptor no sistema de comunicação.

Fonte: Adaptada de Atlanta RF (2015)

<sup>1</sup> Disponível em: (*Link Model Spread Sheet*) <http://www.amsatuk.me.uk/iaru/spreadsheets.html>

O enlace de comunicações satelital considera duas análises, a saber: (i) Análise de *Uplink*, isto é, do solo ao satélite, e (ii) Análise de *Downlink*, do satélite para a terra. A Figura 4.4 apresenta os resultados proporcionados pelo aplicativo da AMSAT para o cálculo do enlace de *Uplink*, de acordo com os parâmetros inseridos no começo do aplicativo, ele define se a comunicação é possível apresentando uma margem de potência na qual o receptor pode operar.

Figura 4.4 - Determinação do umbral de potência com o aplicativo da AMSAT

LSIS Project		NOTE:	LSIS Project	Date Data Last Modified:
Uplink Command Budget:			Version: 2.5.3	2016 FEBRUARY 04th
Parameter:	Value:	Units:	Comments:	
<b>Ground Station:</b>				
Ground Station Transmitter Power Output:	100.0	watts	This value is transferred from "Transmitters" W/S, Cell [E15].	
In dBW:	20.0	dBW	Transmitter power expressed in dB above one watt	
In dBm:	50.0	dBm	Transmitter power expressed in dB above one milliwatt	
Ground Stn. Total Transmission Line Losses:	2.9	dB	This value is transferred from "Transmitters" W/S, Cell [33]	
Antenna Gain:	15.5	dBi	This value is selected at "Antenna Gain" W/S, Cell [E11]	
Ground Station EIRP:	32.6	dBW	Ground Station Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) [EIRP=Pt x Lt x Ga]	
<b>Uplink Path:</b>				
Ground Station Antenna Pointing Loss:	0.3	dB	This value is calculated in the "Antenna Pointing Losses" W/S, and transferred from Cell [K43]	
Gnd-to-S/C Antenna Polarization Losses:	3.7	dB	This value is calculated in the "Polarization Loss" W/S and is transferred from Cell [F40].	
Path Loss:	147.6	dB	Lp = 22 + 20LOG(D/A); Transferred from "Frequency" W/S	
Atmospheric Losses:	1.1	dB	This value is transferred from "Atmos. & Ionos. Losses" W/S, Cell [D23]	
Ionospheric Losses:	0.4	dB	This value is transferred from "Atmos. & Ionos. Losses" W/S, Cell [D47:D50]	
Rain Losses:	0.0	dB	This value should be estimated by the link model operator and place into Cell [B18]	
Isotropic Signal Level at Spacecraft:	-120.4	dBW	This is the signal level received in space in the vicinity of the spacecraft using an omnidirectional antenna.	
<b>Spacecraft (Eb/No Method):</b>				
----- Eb/No Method -----				
Spacecraft Antenna Pointing Loss:	0.3	dB	This value is transferred from "Antenna Pointing Losses" W/S, Cell [K63]	
Spacecraft Antenna Gain:	2.2	dBi	This value is selected at "Antenna Gain" W/S, Cell [E24]	
Spacecraft Total Transmission Line Losses:	1.6	dB	This value is transferred from the "Receivers" W/S, Cell [J52]	
Spacecraft Effective Noise Temperature:	342	K	This value is calculated in the "Receivers" W/S and Transferred from Cell [J67]	
Spacecraft Figure of Merit (G/T):	-24.8	dB/K	G/T = Ga-Lti-10log(Ts). This is the ultimate measure of the receiver's performance.	
S/C Signal-to-Noise Power Density (S/No):	83.1	dBHz	Boltzman's Constant: -228.6 dBW/KHz	
System Desired Data Rate:	9600	bps	Operator selects this value. Be Careful! This is the data rate, not the symbol rate.	
In dBHz:	39.8	dBHz	This is simply = 10log(R); R= data rate	
Command System Eb/No:	43.3	dB		
Demodulation Method Selected:	BPSK		Values selected in "Modulation-Demodulation W/S, Cell [E3]	
Forward Error Correction Coding Used:	Conv. R=1/6, K=15 & R.S. (25		Value selected in "Modulation-Demodulation" W/S, also Cell [E3]	
System Allowed or Specified Bit-Error-Rate:	1.0E-07		The selected value is transferred from the "Modulation-Demodulation W/S, Cells [E6:E23]	
Demodulator Implementation Loss:	1.0	dB	This value is transferred from the "Modulation-Demodulation W/S, Cell[E25]	
Telemetry System Required Eb/No:	0.8	dB	The selected value is transferred from the "Modulation-Demodulation W/S, Cells [F6:F23]	
Eb/No Threshold:	1.8	dB	This is the result of the "Modulation-Demodulation" W/S and is transferred from Cell [H32]	
System Link Margin:	41.5	dB		

Fonte: Produção do autor

A partir dos resultados do sistema de telecomunicações propõem-se atividades relacionadas com a integração e o *setup* de testes dos equipamentos de comunicações.

#### 4.1.5. Definição dos parâmetros da estação terrena

Na Tabela 4.4 observam-se os parâmetros da estação, definidos com base na elaboração da pesquisa de alternativas e da validação desses sistemas com os resultados do cálculo de enlace.

Tabela 4.4 - Parâmetros operacionais da estação terrena

Parâmetro	Valor	Comentário
Voltagem	110 V AC (50-60 Hz) 110 V AC (50-60 Hz)	
Corrente	Max 7.0 A (110v) Max 3.5 A (2200v)	
Faixa de Temp.	25° C	
Humidade relativa	0-90 % não condensado	
Massa	94 kg (VHF+UHF) 98 kg (VHF+UHF+B-S)	Nem todas as estações têm Banda-S
Faixa de frequência TX	144-146 MHz (VHF) 435-438 MHz (UHF)	
Potência máxima saída	100 (watt) 50 dBm (VHF) 100 (watt) 50 dBm (UHF)	
Modulação de <i>Uplink</i>	AFSK	
Taxa de dados de <i>Uplink</i>	1200 bps	
Protocolo de <i>Uplink</i>	AX.25	
Faixa de frequência RX	144-146 MHz (VHF) 435-438 MHz (UHF) 2200-2500 MHz (B-S)	Nem todas as estações têm Banda-S
Figura de ruído	1,6 dB (VHF) 2 dB (UHF) 0,9 dB (B-S)	Nem todas as estações têm Banda-S
Sinal máximo entrada	-20 dBm	
Modulação de <i>Downlink</i>	BFSK	
Taxa de dados de <i>Downlink</i>	1.2-9.6 kbps (VHF-UHF) 14.4-115.2 kbps (B-S)	Nem todas as estações têm Banda-S
Protocolo de <i>Downlink</i>	AX.25	

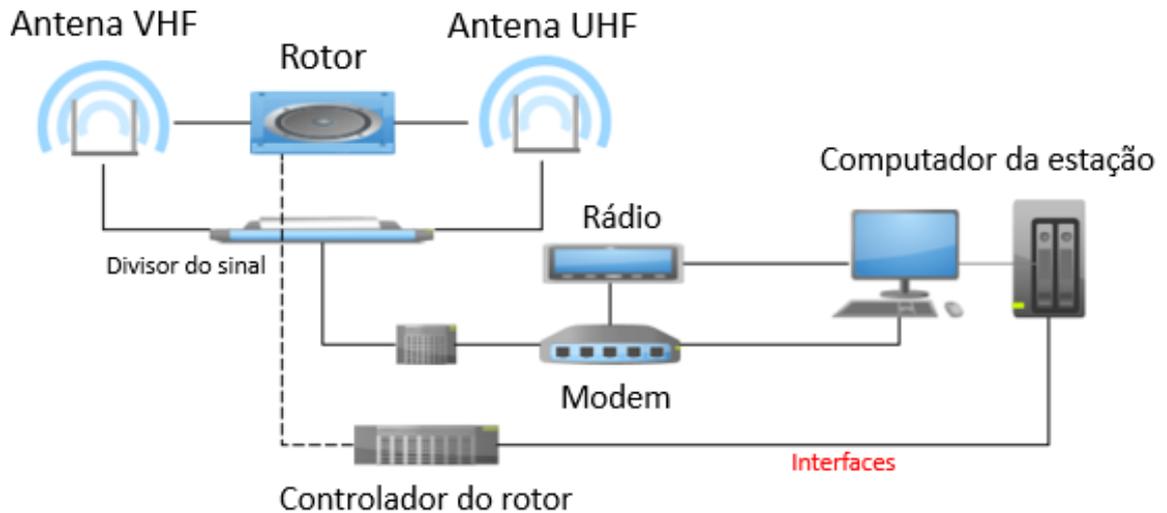
Informações de referência, de propósito ilustrativo.

Fonte: Adaptado de INPE (2014)

#### 4.1.6. Definição da arquitetura da estação terrena

Wickramanayake (2007) assegura que a seleção do *Hardware* se realiza considerando as condições climáticas do lugar de operação, as exigências atuais e futuras e do *hardware* disponível junto com o orçamento, e de acordo com as recomendações de universidades parceiras, ou que estão interessadas com o projeto. A Figura 4.5 apresenta o resultado final da abordagem *Bottom-Up*, na elaboração de estações terrenas para *CubeSat*, isto é, a definição de equipamentos, interfaces e funcionalidades.

Figura 4.5 - *Design* esquemático da estação em desenvolvimento



Fonte: Adaptada de Gaurav (2014)

#### 4.1.7. Integração e testes da estação terrena

Na última fase são integrados os equipamentos já definidos e procede-se a estabelecer comunicação com algum satélite operativo. O sucesso da missão deste novo sistema criado é a obtenção de algum *Beacon* (sinais dos satélites).

Devido ao escopo desta dissertação estar na metodologia e não no produto final, a Tabela 4.5 apresenta a relação entre entradas e saídas da metodologia usada nas universidades e no setor radioamador para estabelecer as estações terrenas.

Tabela 4.5 - Metodologia *Bottom-Up* para estabelecer estações terrenas

PROCESSO		
ENTRADA	ATIVIDADE	SAÍDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parâmetros da estação;</li> <li>• Função;</li> <li>• Localização;</li> <li>• Limites do sistema.</li> </ul>	DEFINIÇÃO DO OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desempenho da estação;</li> <li>• Características técnicas;</li> <li>• Capacidade operacional.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluções do mercado;</li> <li>• Estado da arte;</li> <li>• Atributos de <i>hardware</i>;</li> <li>• Atributos de <i>software</i>;</li> <li>• Conceito operacional.</li> <li>• Trade off de estações.</li> </ul>	BUSCA DE ALTERNATIVAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternativas de arquitetura;</li> <li>• Caracterização do conceito operacional;</li> <li>• Elementos do sistema.</li> <li>• Possível arquitetura;</li> <li>• Seleção de componentes.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificações de satélites para operar;</li> </ul>	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO ELEMENTO ESPACIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição do objetivo</li> <li>• Restrições</li> <li>• Interfaces</li> <li>• Funcionalidades</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificações do elemento espacial;</li> <li>• Características do ambiente.</li> </ul>	PROJETO DO SISTEMA DE TELECOMUNICAÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencias de recepção e transmissão;</li> <li>• Especificações técnicas da estação;</li> <li>• Compatibilidade com os satélites.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencias de recepção e transmissão;</li> <li>• Especificações técnicas da estação;</li> <li>• Compatibilidade com os satélites.</li> </ul>	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA ESTAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parâmetros operacionais</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orçamento</li> <li>• Recomendações</li> <li>• Parâmetros operacionais</li> <li>• Interfaces</li> <li>• Funcionalidades</li> </ul>	SELEÇÃO DA ARQUITETURA E DOS COMPONENTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto detalhado</li> <li>• Estação terrena pronta para integração</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto detalhado</li> </ul>	INTEGRAÇÃO E TESTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provas operacionais</li> <li>• Recepção de <i>Beacons</i></li> </ul>

## 4.2. **Abordagem *Top-Down* da Engenharia de Sistemas**

Segundo Xavier (2014), a Engenharia de Sistemas se concentra na concepção e aplicação de todo (sistema) com as partes. Trata-se de olhar para um problema em sua totalidade, levando em conta todos os aspectos e todas as variáveis e relatando o aspecto técnico.

Nesse sentido alguns desafios e dificuldades foram encontrados nos projetos de Pico e Nanossatélites, especificamente para seu segmento solo, os quais são descritos abaixo:

### **4.2.1. Identificação de necessidades gerais referentes ao segmento solo de projetos com Pico e Nanossatélites universitários.**

Por meio de entrevistas com os desenvolvedores de projetos de Pico e Nanossatélites sobre os desafios ao futuro dos projetos que envolvem Pico e Nanossatélites, foram adquiridas e identificadas, por meio deles, as seguintes dificuldades e necessidades no tocante do segmento solo:

- a) **Falta de referências de processos de desenvolvimento:** atualmente, a metodologia usada corresponde a cada desenvolvedor, não existem parâmetros nem ordem nas atividades, usualmente, a primeira etapa é a compra dos equipamentos para montar.

O setor espacial acadêmico de Pico e Nanossatélites precisa de mais referências que descrevam completamente as atividades a desenvolver na consolidação do segmento solo de Pico e Nanossatélites.

- b) **Falta de organização e padronização das características operacionais entre os satélites e o segmento solo:** nesse sentido parâmetros como o protocolo de comunicação, a modulação e a codificação da informação não estão padronizadas, gerando desorganização, e falta de compreensão e desconforto entre os projetos.

O setor espacial acadêmico de Pico e Nanossatélites, em 2016, tem duas opções, (i) estabelecer um mecanismo de parametrização de parâmetros técnicos, ou (ii) fazer sistemas multimissão mais desenvolvidos e que acoplem os desenvolvimentos atuais com os que virão. Embora esta dissertação proponha um sistema multimissão, é muito mais fácil estabelecer padronização na operação.

- c) **Dependência tecnológica:** Atualmente os projetos ficam amarrados à tecnologia das estações que foram compradas, essa dependência faz com que os próximos satélites sejam desenvolvidos com base na estação e não com liberdade de opções no *design*.

O setor espacial acadêmico de Pico e Nanossatélites na América Latina, precisa de independência. O Brasil tem a vantagem com respeito aos outros países do sul do continente, de possuir todo o ciclo tecnológico completo, desde a concepção de sistemas até sua qualificação, Não obstante deve-se aplicar o mesmo conceito para o desenvolvimento completo de uma missão espacial com Pico e Nanossatélites.

- d) **Falta de conhecimento na alocação de frequências:** além da alocação das frequências de radioamadorismo, falta informação e capacitação do pessoal que desenvolve o projeto com relação ao cumprimento das normativas internacionais no quesito de telecomunicações: assunto que deve ser tratado no começo do projeto, e deve contemplar o licenciamento tanto do segmento espacial quanto do segmento solo, neste caso o operador da estação de rastreamento e controle.
- e) **Necessidade de entrosamento entre a equipe de desenvolvimento dos Pico e Nanossatélites e a estação terrena:** é necessário desenvolver junto com o segmento espacial o segmento solo. O propósito dos projetos espaciais é capacitar

mão de obra nacional de todas as áreas, não somente de desenvolvimento do satélite. Também é necessário juntar as duas equipes e fortalecer o intercâmbio de informação.

#### **4.2.2. Processo geral de engenharia de sistemas**

Lopes (2015), afirma que a definição de um processo de Engenharia de Sistemas deve fazer parte do desenvolvimento de sistemas de Pico e Nanossatélites para a definição de soluções técnicas equilibradas, com isso, evitam-se retrabalhos e maiores custos de desenvolvimento.

Usualmente o processo de Engenharia de Sistemas é desenvolvido para a missão completa, e foca-se no segmento espacial. Nesse contexto, um outro processo para a elaboração ou desenvolvimento de uma solução de solo é desnecessário, devido a que o mesmo processo de desenvolvimento do satélite pode-se adaptar para a concepção do segmento solo. Porém, como foi mencionado, não se deve aplicar a mesma metodologia para todos os produtos.

Não obstante, considerando que as missões espaciais universitárias com este tipo de satélites na América Latina e no Brasil aumentaram nas últimas décadas, a realização de um projeto desse tipo precisa de um orçamento significativo, em torno de 750 mil reais (USD \$208.175) contando o lançamento (ERENO; RAMOS, 2014) e a estação. Assim pretendendo fortalecer a criação de mão de obra qualificada para o setor espacial desde as universidades e centros de pesquisa, estabelece-se um processo separado de criação de estações terrenas, com o fim de aplicá-lo junto ao desenvolvimento do segmento espacial ou, independentemente, aproximando as universidades com os tópicos relacionados com as tecnologias espaciais e contribuindo na criação de novos grupos de pesquisa e novas aplicações destes sistemas.

Na revisão de projetos apresentada no Capítulo 3, Seções 3.1 – 3.4, tenta-se estabelecer a capacitação de mão de obra no setor espacial por meio da educação. Projetos como a estação terrena da UPTC e, a estação terrena do ITA (PY2DGS), apresentam a criação das estações, mas não apresentam

uma metodologia estruturada para a concepção, isto acarreta que essas estações terrenas permaneçam pouco tempo em serviço, sejam descartadas rapidamente, e o projeto seja cancelado. É indispensável que nesses projetos sejam gerados documentos e que seu processo de desenvolvimento seja documentado, com o objetivo de replicá-lo por meio de outras equipes ou em outros grupos, já que também existe outro problema com este tipo de missões em universidades, a rotatividade de pessoal.

A adaptação de um processo para estações terrenas unicamente gera maior entrosamento do projeto e uma melhoria no refinamento dos requisitos de ambos os sistemas, além da aplicação da Engenharia de Sistemas e sua difusão.

O processo do LSIS, apresentado no Capítulo 2, Seção 2.5.5.1, foi adaptado e simplificado para a consecução da arquitetura de uma estação terrena. O processo considera a adaptação de atividades de acordo com as necessidades de todos os envolvidos no problema.

Segundo Van Der Aalst et al. (2005), um processo de referência ajuda a reduzir os riscos e os custos associados com erros repetitivos da mesma natureza que tendem a acontecer durante a operação de uma empresa ou projeto particular. Por essa razão apoiados no processo do LSIS, é apresentado o processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de estações terrenas para Pico e Nanossatélites.

#### **4.2.3. Processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de estações terrenas para Pico e Nanossatélite**

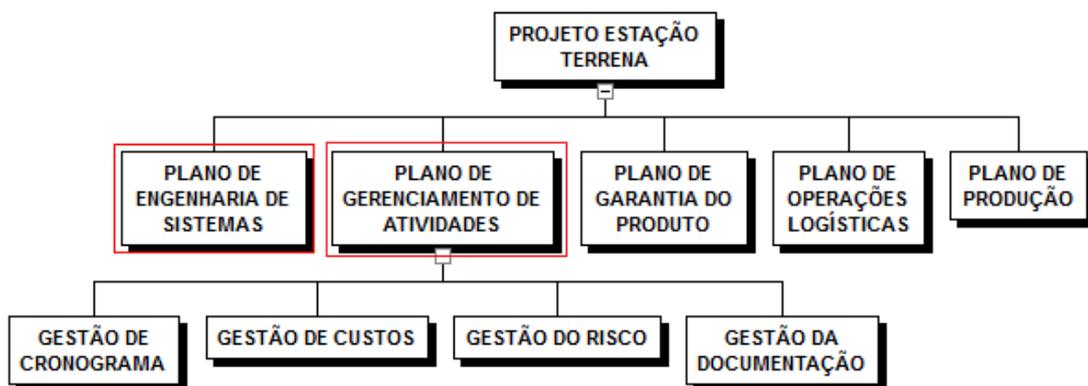
O processo de referência focado na Engenharia de Sistemas e na gerência do projeto é apresentado de forma gráfica por meio de ferramentas de criação de modelos, com o objetivo de apresentar uma fonte de informações detalhadas para o desenvolvimento.

O processo de referência é um mecanismo para converter entradas (necessidades, ideias, expectativas, questões, entre outras) caracterizadas por reuniões com o pessoal interessado, em saídas que gerarão um sistema

ou produto. O processo é iterativo realizando em cada fase análises, avaliações e sínteses. A abrangência do processo começa na identificação das necessidades de *stakeholders*, análise de missão, e definição dos requisitos até a especificação do sistema e dos subsistemas.

O objetivo do processo é a criação da arquitetura de estações terrenas para posteriormente desenvolver o projeto detalhado e pô-lo em operação, por esse motivo, o processo unicamente contempla três fases da descida do 'V model' definindo o que será construído. O processo contempla além do plano de Engenharia de Sistemas o plano de gerenciamento de atividades, fazendo ênfase no gerenciamento do cronograma, custos, risco e documentação, como apresenta a Figura 4.6, em simultânea com a fase de definição do problema.

Figura 4.6 - Planos de desenvolvimento do projeto



Fonte: Produção do Autor

#### 4.2.4. Aplicabilidade

O processo de referência principalmente motiva à formação de recursos humanos para levar a cabo uma missão espacial. Porém, o processo é aplicável para dois tipos de projetos, sendo:

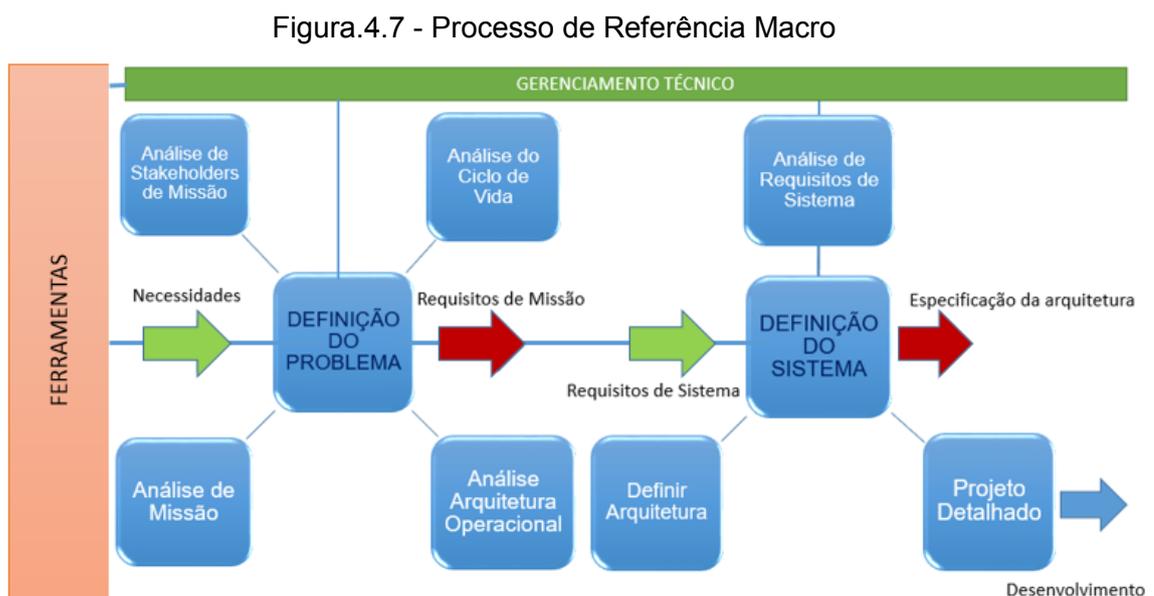
- **Desenvolvimento de uma missão espacial:** Como parte de uma missão de Pico e Nanossatélites é indispensável pensar no segmento solo que acompanhará a operação do satélite. O processo pode ser aplicável nesse contexto com a definição da estação terrena.

- **Desenvolvimento do segmento solo de uma missão espacial:** Este processo aplica e, recomenda-se, para as universidades, centros de pesquisa ou escolas que: (i) possuam investigação na área espacial, (ii) possuam estações terrenas, (iii) queiram fazer uma estação terrena, ou (iv) desejem incluir tópicos da área espacial dentro de suas pesquisas.

O aporte do processo de maneira geral é o desenvolvimento da arquitetura em quaisquer dos quatro cenários apresentados. O processo pode ser aplicado e, pode se customizar de acordo com as necessidades específicas. O processo apresenta todas as atividades graficamente, de forma que para sua aplicação seja um *Check List*.

#### 4.2.5. Estrutura geral do processo

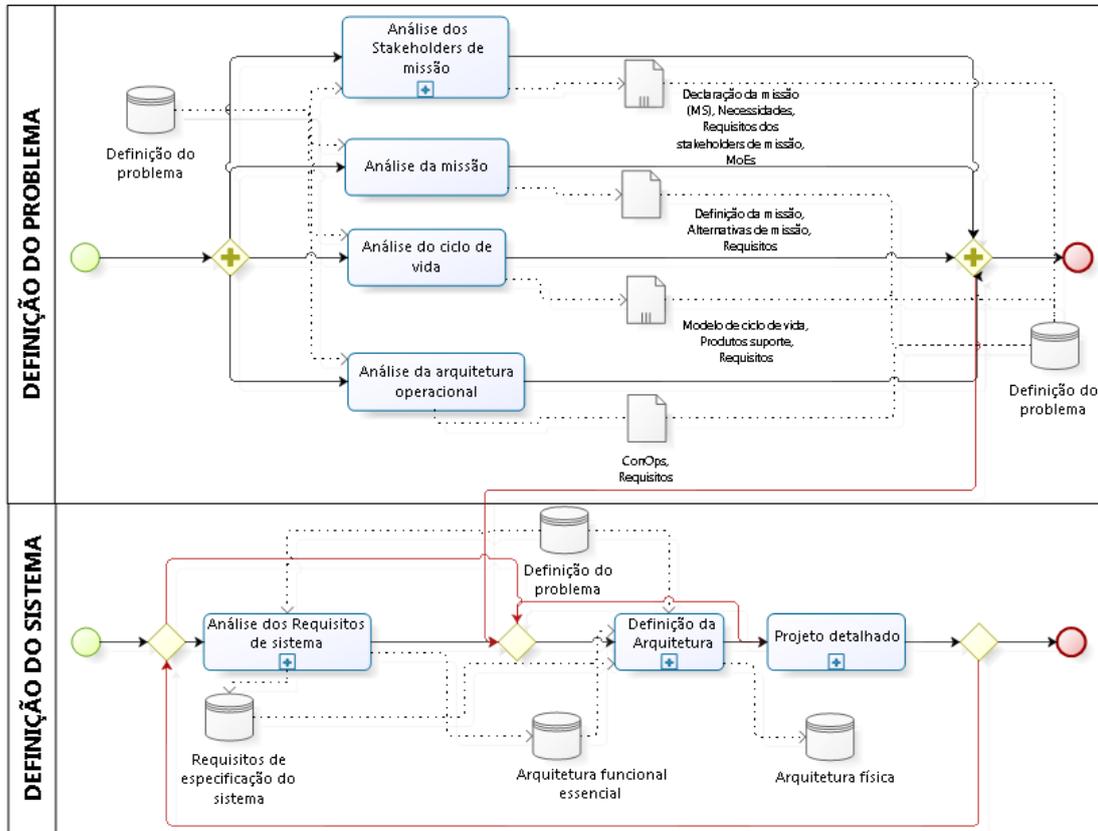
O escopo do processo abrange unicamente as atividades de Definição do Problema e Definição do Sistema. A Figura 4.7, apresenta o processo genérico de referência de forma macro. Nele se encontram as duas atividades principais ligadas ao gerenciamento técnico e as ferramentas de desenvolvimento, porém, as duas últimas são contempladas sem detalhe.



Fonte: Produção do Autor

A Figura 4.8, apresenta o processo genérico de referência de forma detalhada, e suas conexões.

Figura 4.8 - Visão detalhada das atividades do processo



Fonte: Produção do Autor

O processo é dividido em duas áreas principais sendo Definição de Problema e Definição de Sistema. O processo contempla mais uma área de gerenciamento que será desenvolvida simultaneamente com a definição do problema.

1. Definição do Problema: Segundo Bahill (2009), a declaração do problema começa com uma descrição das funções de nível superior que o sistema proposto deve executar. A declaração do problema deve expressar as necessidades dos clientes em termos funcionais ou comportamentais e incluem o caso de negócio. A Definição do Problema tem como objetivo a identificação de requisitos de stakeholder e de missão, sendo que esta etapa se compõe das seguintes análises:

- Análise de Stakeholders de Missão:
- Análise do ciclo de vida
- Análise de missão
- Análise da Arquitetura Operacional

2. Definição do Sistema: tem como objetivo identificar os requisitos de sistema e de subsistemas, além de definir a arquitetura funcional e física, esta etapa se compõe pelas seguintes análises:

- Análise de Requisitos de Sistema
- Definição da Arquitetura
- Projeto Detalhado

#### 4.2.5.1. Gerenciamento

Plano de gerenciamento: nesta atividade se realiza uma análise de risco, se define a estrutura organizacional e gera-se uma estrutura analítica do projeto, para as fases 0, A e B, como apresenta a Figura 4.9.

- Gestão do cronograma
- Gestão de custos
- Gestão de riscos
- Gestão de Documentação

Não obstante esta etapa de gerenciamento não será completamente desenvolvida neste documento.

Figura 4.9 - Divisão das atividades por fases de missão

FASE 0 - CONCEPÇÃO E ANÁLISE DA MISSÃO				FASE A - ANÁLISE DE VIABILIDADE DA MISSÃO				FASE B - DEFINIÇÃO PRELIMINAR DO PROJETO				
Stkholder	MISSÃO			SOLO	Stkholder	MISSÃO			SOLO	Stkholder	MISSÃO	SOLO
	Análise da Missão	Análise de Stakeholders	Gerenciamento		Análise da Missão	Gerenciamento	Arquitetura da Missão				Gerenciamento	Estação
1					1					1		
	2					2				2		
	3					3					3	
		4				4					4	
		5										5
	6				5							6
	7				6							7
	8				7							8
	9				8							9
	10				9							10
			11				10					11
			12				11					12
								12				13
								13				14
								14				15
								15				16
								16				

FASE 0 - CONCEPÇÃO E ANÁLISE DA MISSÃO		FASE A - ANÁLISE DE VIABILIDADE DA MISSÃO		FASE B - DEFINIÇÃO PRELIMINAR DO PROJETO	
1	Identificar as Necessidades dos Usuários	1	Validar e Refinar os Requisitos da Missão	1	Refinar o Conceito de Operação da Missão
2	Definir a Missão	2	Atualizar o Plano de Gerenciamento	2	Consolidar o Ciclo de Vida do Sistema
3	Identificar as Necessidades da Missão	3	Definir a Estrutura Organizacional	3	Finalizar o Plano de Gerenciamento
4	Identificar os Stakeholders	4	Efetuar a Análise de Risco	4	Estabelecer a Estrutura Analítica do Projeto
5	Obter os Requisitos de Stakeholders	5	Obter os Requisitos Técnicos da Missão	5	Finalizar os Requisitos do Sistema
6	Obter os Requisitos da Missão	6	Definir a Análise Funcional da Missão	6	Consolidar Árvores Funcional e do Produto
7	Definir os Níveis de Sucesso da Missão	7	Definir os Elementos da Arquitetura da Missão	7	Finalizar Requisitos dos Subistemas
8	Efetuar a Análise Preliminar da Missão	8	Definir o Conceito Operacional da Missão	8	Definir Plano Preliminar de Fabricação
9	Identificar os Conceitos da Missão	9	Atualizar a Análise da Missão	9	Definir Plano Preliminar de AIT
10	Efetuar a Análise Preliminar de Viabilidade	10	Definir a Arquitetura da Missão	10	Consolidar Plano de Verificação
11	Definir o Plano Preliminar de Gerenciamento	11	Estabelecer os Cenários Operacionais	11	Projetar e Definir Equip de Apoio e Testes
12	Efetuar a Análise Preliminar de Risco	12	Desenvolver o Plano Preliminar de Eng Sistemas		
		13	Definir Árvores Funcional e do Produto		
		14	Identificar Requisitos Prelimares do Sistema		
		15	Definir Arquitetura Prelimar do Sistema		
		16	Identificar o Fluxo entre Subistemas		

Fonte: Adaptada de Kiembraum (2015)

#### 4.2.6. Documentação

De acordo com a norma ECSS (2009), cada fase de desenvolvimento gera documentos ou alimenta os documentos que foram criados em fases anteriores. Para definir os documentos a serem entregues foram identificadas as tarefas principais de cada fase, e estabeleceu-se o objeto de cada documento para caracterizar o sistema proposto. Como apresenta a Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Definição da documentação do projeto

Fase 0	Fase A	Fase B	Fase C
Declaração de missão.	Requisitos técnicos.	Requisitos técnicos.	Definição de projeto detalhado.
Necessidades da missão.	Plano de engenharia e garantia de produto.	Definição de projeto preliminar.	Árvore de produto, estrutura de divisão de trabalho e árvore de especificação.
Requisitos técnicos.	Plano preliminar de Gestão.	Árvore de produto, estrutura de divisão de trabalho e árvore de especificação.	
	Viabilidade técnica.	Atualização requisitos técnicos.	
	Seleção de conceito operacional do sistema		

Fonte: Adaptada de ECSS (2009)

#### **4.2.6.1. Análise dos stakeholders da missão e requisitos da missão:**

Este documento contempla:

- Análises de stakeholders do projeto;
- Declaração da necessidade;
- Principais Stakeholders;
- Necessidades de Stakeholders;
- Requisitos de missão;
- Metas e objetivos da missão.

#### **4.2.6.2. Análise da missão**

Este documento contempla:

- Análise dos conceitos operacionais do sistema
- Elementos da arquitetura da missão e do sistema,
- Conceito operacional da missão
- Definição da arquitetura da missão.
- Análise de alternativas de arquiteturas

#### **4.2.6.3. Descrição da arquitetura operacional da missão**

Este documento contempla:

- Arquitetura operacional da missão
- Análise funcional da missão
- Interfaces dos elementos
- Descrição dos elementos
- Definição da arquitetura da missão

#### **4.2.6.4. Requisitos de sistema**

Este documento contempla:

- Análise de *Stakeholders* do sistema
- Análise funcional do sistema
- Análise do ciclo de vida (desdobramento de requisitos)

#### **4.2.6.5. Definição dos requisitos de sistema**

Este documento contempla:

- Definição da arquitetura funcional do sistema
- Definição da arquitetura física
- Desdobramento de requisitos para subsistemas

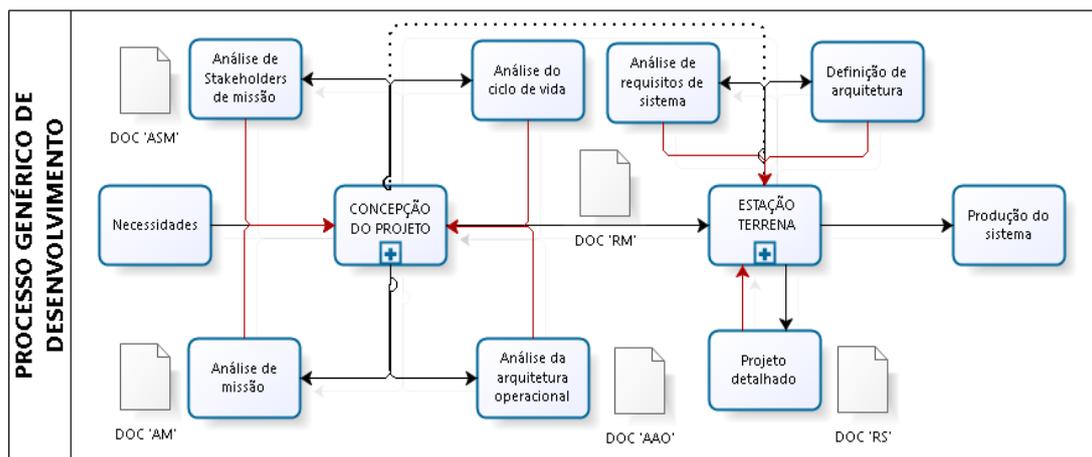


## 5 DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROCESSO DE REFERÊNCIA

Neste capítulo é apresentado o processo de referência detalhado, por meio de atividades e tarefas, para o desenvolvimento de uma estação terrena para pequenos satélites do tipo Pico e Nano.

A Figura 5.1 apresenta o macroprocesso de referência para o desenvolvimento de estações terrenas para Pico e Nanosatélites, o processo é representado pela ferramenta Bizagi, a qual utiliza a notação gráfica BPMN (*Business Process Model and Notation*), que descreve a lógica das etapas de um processo de negócios. O processo, representado por um diagrama, foi desenhado para identificar uma sequência de atividades.

Figura 5.1- Processo genérico de desenvolvimento



Fonte: Produção do Autor

O processo é composto por duas atividades principais (i) concepção do projeto ou 'Definição do Problema' e (ii) estação terrena ou 'Definição do Sistema', essas duas atividades são desdobradas em outras atividades denominadas tarefas. O processo por meio do BPMN representa por meio das setas pretas a direção da ação, por meio das setas vermelhas, as atividades que são retroalimentadas e que precisam de iteração, análise e síntese. Existem tarefas que definem documentos. A linha pontilhada da estação terrena à concepção do projeto representa a iteração entre a Definição do Sistema e a Definição do Problema. O processo começa com a definição da

necessidade e culmina com a apresentação das arquiteturas física e funcional, e seus requisitos.

O processo como se apresenta na Figura 5.2 recolhe os requisitos do negócio, para transformá-los em requisitos de *stakeholder*, esses requisitos de *stakeholders* são transformados em requisitos de missão e posteriormente de sistema, para desenvolver o sistema e subsistema.

Figura 5.2 - Engenharia de Requisitos do processo de referência



Fonte: Adaptada de Ryan e Faulconbrigde (2015)

### 5.1. Necessidades

O processo de referência começa identificando uma necessidade, tarefa denominada declaração da necessidade. A declaração da necessidade é proporcionada pelo *stakeholder* principal, é ele quem define um problema para procurar-lhe uma solução.

Segundo Hull (2004), a declaração da necessidade é uma declaração simples do propósito do sistema que está sendo desenvolvido, o ambiente em que ele vai operar e quaisquer outras considerações operacionais especiais que podem ser importantes. Larsson et al. (2009) acrescentam que a compreensão das expectativas iniciais do cliente depende do ambiente em que o sistema será implementado, operado e sustentado.

Loureiro (2014) estabelece que a melhor forma de apresentar a declaração da necessidade é: [um cliente] tem a necessidade de [fazer algo].

Loureiro (2014), também estabelece as possíveis fontes de das expectativas dos clientes, sendo:

- Uma deficiência funcional atual;
- Uma deficiência operacional existente;
- Um desejo de aproveitar novos avanços tecnológicos para aumentar a capacidade de missão ou posicionamento no mercado;
- Uma ameaça em evolução ou competição;
- A necessidade de melhorar a capacidade com base no comportamento dos sistemas atuais dos operadores ou mantenedores.

Para o caso da estação terrena a Declaração da necessidade pode ser a seguinte:

[Os desenvolvedores de Pico e Nanosatélites da (universidade, escola, grupo de pesquisa, etc.)] tem a necessidade de [desenvolver uma estação terrena para Pico e Nanosatélites que seja capaz de rastrear e estabelecer comunicação com os satélites (brasileiros, colombianos, chilenos, etc.)].

A Tabela 5.1 apresenta o procedimento para estabelecer a declaração da necessidade.

Tabela 5.1 - Procedimento da necessidade

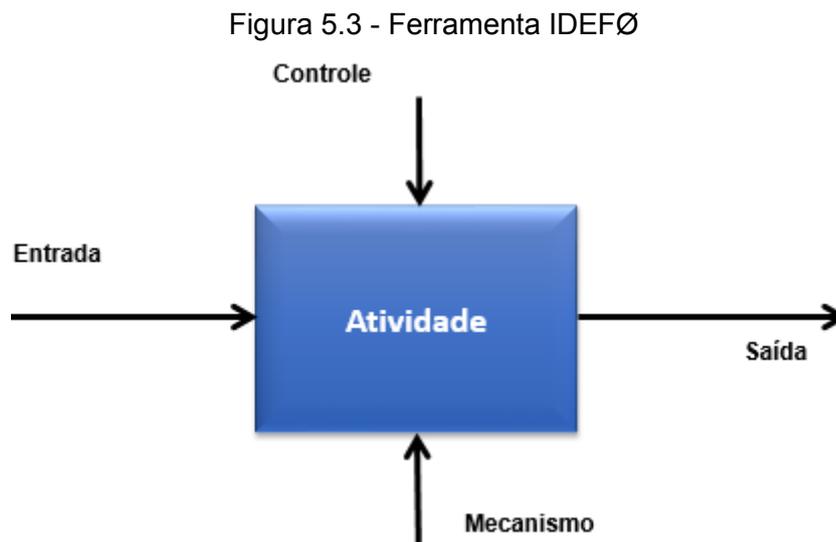
<b>Atividade</b>	<b>Tarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Identificação de Necessidade.	Declaração da Necessidade.	Computador/ Escrever a declaração.
<b>Declaração da Necessidade</b>		
Quem faz:	O cliente, o interessado.	
O que se faz:	Determinar a declaração da necessidade do produto, sistema, ou aparelho desejado.	
Predecessor	Contrato de desenvolvimento.	
Tempo	5 dias (TBC)*	

\*Dia útil, equivale somente de segunda a sexta (8 horas de trabalho)

Fonte: Produção do Autor

## 5.2. Concepção do projeto (Definição do Problema)

A concepção do projeto pode começar por quaisquer das quatro tarefas dependentes dela, apresentadas na Figura 5.1. As tarefas neste ponto de partida são simultâneas. Porém a melhor forma para executar o processo é começando pela identificação dos *stakeholders*. A partir da identificação deles, pode-se proceder como quiser. O método para identificar os *stakeholders* é a ferramenta IDEFØ, apresentada na Figura 5.3.



Fonte: Produção do Autor

Segundo o sítio eletrônico do IDEF (2015), IDEFØ é um método desenvolvido para modelar decisões, ações e atividades de uma organização ou sistema. O método estabelece entradas e saídas, que segundo Loureiro (2014), podem conter material, energia ou informação; a ferramenta também estabelece um controle para garantir que a atividade vai se realizar e um mecanismo que simboliza o recurso organizacional que será utilizado para a realização da atividade.

Antes de entrar em detalhe nas análises do processo, vale a pena ressaltar que todas as apreciações do processo foram estabelecidas para o desenvolvimento da estação terrena em si. Neste ponto assume-se que uma pessoa do projeto já especificou e definiu a missão espacial para a qual a estação terrena é necessária.

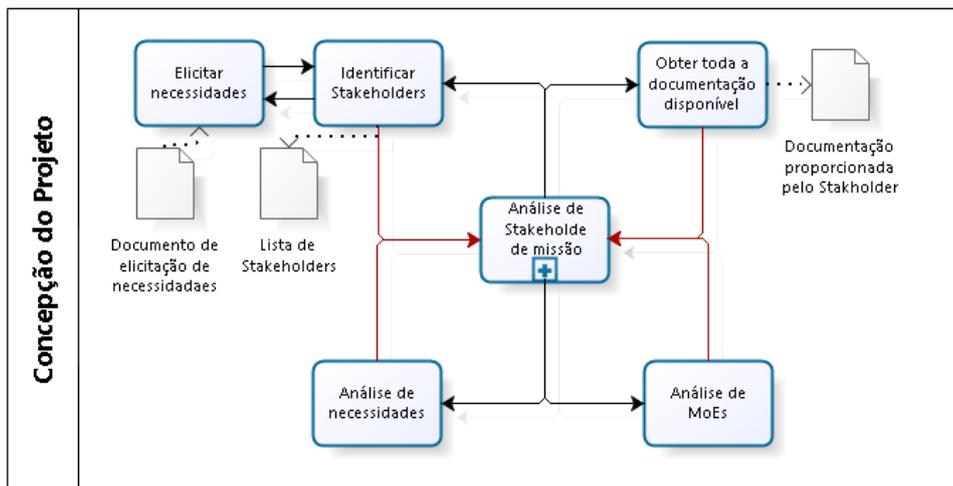
Em um sistema espacial, a missão pode ser estabelecida como: obter informações sobre o ambiente espacial, no intervalo de 350 km – 800 km de altitude. Com essa informação inicia-se o processo de pesquisar como é possível satisfazer a missão. Nesse sentido podem-se idealizar diferentes alternativas tais como: enviar sinais de RF ao espaço e identificar as características, movimentar satélites que se encontram operacionais nessas altitudes, ou escolher uma arquitetura com Pico e Nanossatélites.

Para que o processo de referência definido neste documento tenha validade, estabelece-se que a missão espacial escolhida foi utilizar uma arquitetura com Pico e Nanossatélites, na qual se faz necessário uma ou várias estações terrenas. Daqui para frente as análises serão centradas na definição da estação terrena.

### 5.2.1. Análise de *Stakeholders* de missão da estação terrena

A Figura 5.4 apresenta a análise de *Stakeholders* de missão, a qual é uma tarefa da concepção do projeto, que possui novamente outras quatro subtarefas, que definirão, ao completar todo o ciclo: (i) uma lista de *Stakeholders*, (ii) um documento com a elicitación e análise de necessidades desses *stakeholders*, (iii) uma análise de medidas de efetividade, e (iv) a maior quantidade de elementos que definam os interesses, desejos e solicitações para consolidar o projeto.

Figura 5.4 - Tarefa análise de *Stakeholders* de missão



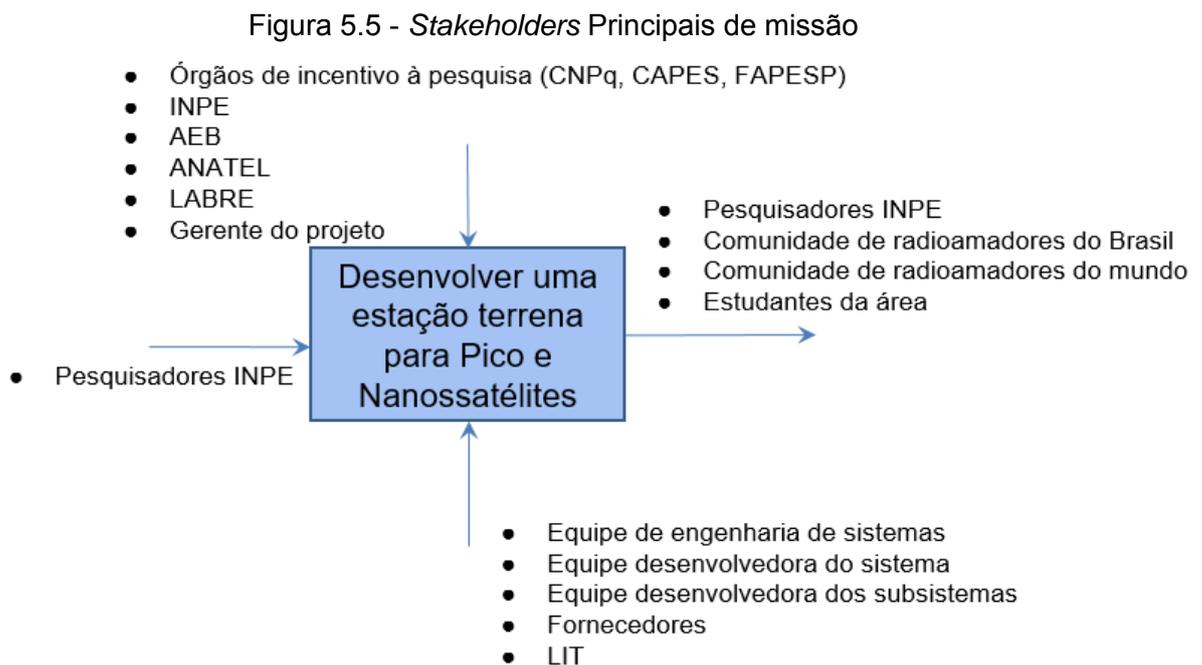
Fonte: Produção do Autor

### 5.2.1.1. Identificar *Stakeholders* de Missão da estação terrena

O processo de identificação de *stakeholders* de missão, como mencionado anteriormente, é realizado com o IDEFØ. Para utilizar o método IDEFØ, segundo Loureiro (2014), deve-se decompor todas as fases do ciclo de vida do sistema identificado os subprocessos e, para cada subprocesso, deve-se perguntar:

- Quais são as fontes de entradas?
- Quais são os receptores de saídas?
- Quais são as fontes de controle?
- Quais são as fontes dos mecanismos?

As respostas são as partes interessadas que afetam ou são afetados pelo sistema, como se apresenta na Figura 5.5 para o caso da estação terrena.



Fonte: Produção do Autor

Para cada saída deve-se perguntar e identificar: (i) preocupações, (ii) desejos, (iii) objetivos e, (iv) expectativas, na Tabela 5.2 se apresenta o procedimento para estabelecer a identificação dos *Stakeholders*.

Tabela 5.2 - Procedimento de identificação de *Stakeholders* de missão

<b>Tarefa</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Análise de Stakeholders de missão.	Identificar <i>Stakeholders</i> .	IDEFØ.
<b>Identificar <i>Stakeholders</i></b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema).	
O que se faz:	Determinar os <i>stakeholders</i> de acordo com o ciclo de vida do sistema o a desenvolver.	
Predecessor	Declaração da necessidade.	
Tempo	12,5 dias. (TBC)	

Fonte: Produção do Autor

A identificação dos *stakeholders* requer um processo de identificação interno que servirá para a alocação de necessidades em requisitos de missão e posteriormente esses requisitos de missão em requisitos de sistema e subsistema.

Segundo Halligan (2014), os *Stakeholders* podem se classificar em (i) primários (S1): entidades, indivíduos ou organizações que ajudam na realização da engenharia, (ii) secundário (S2): entidades, indivíduos ou organizações cujos interesses afetam o interesse dos *stakeholders* principais, os quais podem influenciar na tomada de decisão, (iii) terciário (S3): entidades, indivíduos ou organizações com interesse nos produtos da engenharia, porém cujos interesses são irrelevantes para os *Stakeholders* primários. Nesta etapa deve-se definir o tipo de *Stakeholder*.

A identificação de *stakeholders* deve se estabelecer como se apresenta na Tabela 5.3, devendo-se colocar em cada *stakeholder* uma etiqueta de identificação (o número indicará o *ranking* ou a importância do *Stakeholder*), a classe e o tipo de *stakeholder*, o nome do *stakeholder* e, finalmente, o lugar de localização, caso mais entrevistas ou contatos com eles sejam necessários.

Tabela 5.3 - Lista de identificação de Stakeholder

<b>Et.</b>	<b>Classe</b>	<b>Tipo</b>	<b>Nome</b>	<b>Lugar</b>
Tag	STAKEHOLDERS	TIPO	ORGANIZAÇÃO	LOCALIZAÇÃO
D1	Desenvolvedor	PRIMARIO (S1)	ITA	São Jose dos campos

Fonte: Produção do Autor

#### 5.2.1.2. Elicitar necessidades de *Stakeholder*

A elicitação de necessidades é o processo pelo qual o encarregado de se comunicar e/ou entrevistar os interessados (*Stakeholders*) toma o conjunto de necessidades, desejos, inquietudes e tudo que represente valor para a fundamentação do problema que será estudado.

Segundo López (2012), é difícil para os próprios *stakeholders* explicitar e entender suas necessidades. O Engenheiro de Sistemas, ou neste caso o encarregado de desenvolver o sistema, deve ajudar a entender o que o *stakeholder* quer. Ele está estudando o problema e seu contexto e pode auxiliar ao *stakeholder* no entendimento do problema. A Tabela 5.4 apresenta o procedimento para estabelecer a elicitação de necessidades de *Stakeholders*.

Tabela 5.4 - Procedimento de Elicitação de necessidades de *Stakeholders*

<b>Tarefa</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Análise de <i>Stakeholders</i> de missão.	Elicitação de necessidades de <i>Stakeholders</i> .	Entrevistas, plano de trabalho com o <i>Stakeholder</i> .
<b>Elicitação de necessidades de Stakeholders</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema).	
O que se faz:	Determinar: (i) preocupações, (ii) desejos, (iii) objetivos e, (iv) expectativas dos stakeholders de acordo com o ciclo de vida do produto a desenvolver. Deve-se acompanhar o <i>Stakeholder</i> até encontrar o propósito desejado.	
Predecessor	Identificação de <i>Stakeholders</i> .	
Tempo	12,5 dias. (TBC)	

Fonte: Produção do Autor

A elicitação de necessidades de *Stakeholders* deve-se estabelecer como se apresenta na Tabela 5.5, devendo colocar em cada necessidade uma etiqueta de identificação, a classe e o tipo de *Stakeholder* com seu nome, o caráter da necessidade, a declaração da necessidade e, o caso em que seja necessário o requisito subsequente dessa necessidade.

Tabela 5.5 - Documento de necessidades de *Stakeholder*

ID	TIPO	STK	CARATER	NECESSIDADE	REQ
NE01	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Funcional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam uma estação terrena que seja compatível com todos os Pico e Nanossatélites brasileiros e inclusive latino-americanos.	RE01

Fonte: Produção do Autor

O caráter da necessidade pode ser: (i) funcional, (ii) operacional, (iii) de restrição e, (iv) organizacional. A partir do caráter da necessidade define-se o sistema e seus correspondentes requisitos.

#### 5.2.1.3. Obtenção de documentação

O objetivo da obtenção da documentação é aproveitar as informações valiosas que proporcionam os *Stakeholders* além das entrevistas orais. López (2012), afirma que o propósito da obtenção dos documentos existentes é resgatar informações que nessa fase ainda não foram aproveitadas, além de voltar a análise de documentos que foram gerados por outras pessoas que não estejam mais em contato e que tenham deixado conhecimento valioso nesses documentos. A Tabela 5.6 apresenta o procedimento para estabelecer a obtenção da documentação.

Tabela 5.6 - Procedimento de obtenção da documentação

<b>Tarefa</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Análise de <i>Stakeholders</i> de missão.	Obtenção da documentação.	Entrevistas, plano de trabalho com o <i>Stakeholder</i> .
<b>Obtenção da documentação</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema).	
O que se faz:	Obter documentação de protótipos, manuais e relatórios, que especifiquem o que os <i>Stakeholders</i> desejam.	
Predecessor	Identificação de <i>Stakeholders</i> .	
Tempo	12,5 dias. (TBC)	

Fonte: Produção do Autor

#### 5.2.1.4. Análise de necessidades de Stakeholder

A análise de necessidades de *Stakeholder* é a subtarefa do processo de referência que se encarrega de formalizar, documentar e validar as necessidades capturadas nas etapas anteriores para continuar com as atividades seguintes. Nesta análise a necessidade passa de um enunciado em palavras do *Stakeholder* a um enunciado em palavras de engenharia, contendo as seguintes informações, como apresenta a Tabela 5.7:

- a) Medida de Efetividade;
- b) *Stakeholder* de origem;
- c) Cumprimento;
- d) Tipo de Requisito;
- e) Base lógica;
- f) Critério de aceitação;
- g) Estratégia de Verificação.

Tabela 5.7 - Formalização da análise de necessidades em Requisitos de Stakeholder

<b>RS04:</b> A equipe de desenvolvimento da estação terrena deve projetar uma solução de baixo custo que inclua componentes COTS.	
Medida de Efetividade	O custo deve ser igual ou menor a R\$ 30.000 e deve ter alocação de funções a componentes COTS e ou <i>artesanais</i> no projeto detalhado da ETB.
<i>Stakeholder</i> de origem	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites.
Cumprimento	Mandatário.
Tipo de Requisito	Restrição.
Base lógica	Este requisito está relacionado com o objetivo principal da missão de estabelecer uma estação terrena de baixo custo, além de possibilitar o cumprimento do requisito RS03 (capacidade de replica em outros projetos).
Critério de aceitação	O sistema a ser concebido com máximo USD \$ 7500 (Cambio a 12 de fevereiro de 2016), e deve ser projetado pensando no uso de componentes COTS.
Estratégia de Verificação	Análise do projeto detalhado, e relação de custos.

Fonte: Produção do Autor

O enunciado em palavras de engenharia denomina-se requisito, como se apresenta na Tabela 5.7. Um requisito segundo Young (2004), é um atributo necessário em um sistema, simboliza uma declaração que identifica uma capacidade, característica ou fator de qualidade a fim de ter valor e utilidade para um cliente ou usuário.

Essa declaração pode ser a necessidade que um *Stakeholder* deseja satisfazer, ou uma ação que o sistema deverá realizar para satisfazer uma necessidade.

Na Tabela 5.8 se apresenta o procedimento para analisar as necessidades de *Stakeholders*.

Tabela 5.8 - Procedimento de análise de necessidades de *Stakeholders*

<b>Tarefa</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Análise de <i>Stakeholders</i> de missão.	Análise de necessidades de <i>Stakeholders</i> .	Entrevistas, plano de trabalho com o <i>Stakeholder</i> .
<b>Análise de necessidades de Stakeholders</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema)	
O que se faz:	Analisar as necessidades, formalizá-las, documentá-las, e validá-las com os <i>Stakeholders</i> .	
Predecessor	Identificação de <i>Stakeholders</i> missão, Elicitação de necessidades de stakeholder, Obtenção de documentação disponível.	
Tempo	12,5 dias.	

Fonte: Produção do Autor

#### 5.2.1.5. Análise de Medidas de Efetividade

As medidas de efetividade denominadas MoEs são derivadas da declaração de missão e das necessidades dos *Stakeholders* envolvidos. Segundo Loureiro (2014), o objetivo das MoEs é medir a satisfação dos mesmos *stakeholders* com o sistema. As medidas de desempenho (MOPS) definem os parâmetros de desempenho do sistema. Estes são derivados de requisitos de desempenho.

Além de proporcionar o grau de satisfação deve-se definir uma estratégia de qualificação e colocar um critério para poder validar o que foi realizado qualitativa e quantitativamente, essa análise é denominada critério de aceitação, e determina pontualmente se o que foi pedido, foi realizado e com qual grau de precisão.

Hull et al. (2005), relatam que os *Stakeholders* podem definir uma situação operacional para poder demonstrar o requisito, denominando-se estratégia de qualificação. Assim os *Stakeholders* podem definir um valor numérico para um nível de realização que deve ser demonstrado, denominado critério de aceitação

A Tabela 5.9 apresenta o procedimento para analisar as medidas de efetividade para os stakeholders.

Tabela 5.9 - Procedimento de análise de medidas de efetividade

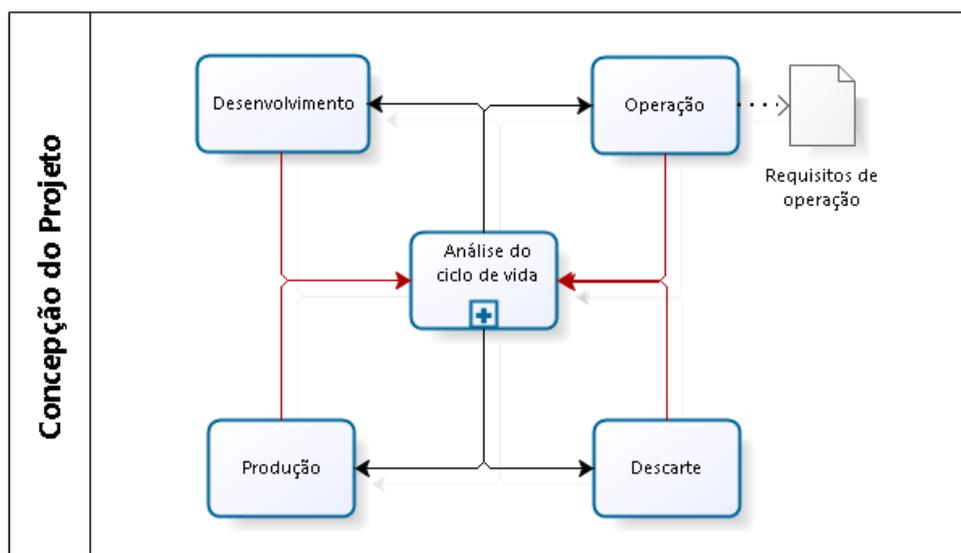
<b>Tarefa</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Análise de <i>Stakeholders</i> de missão.	Análise de medidas de efetividade	Entrevistas, plano de trabalho com o <i>Stakeholder</i> .
<b>Análise de medidas de efetividade</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema).	
O que se faz:	Determinar o grau de satisfação do stakeholder com relação ao cumprimento de uma necessidade, estabelecer métricas (Algarismos que o sistema deverá cumprir) para tomada de decisões.	
Predecessor	Identificação de <i>Stakeholders</i> , Elicitação de necessidades de <i>Stakeholder</i> .	
Tempo	12,5 dias. (TBC)	

Fonte: Produção do Autor

### 5.2.2. Análise do ciclo de vida

Esta atividade tem sido caracterizada e customizada com o propósito de desenvolver uma estação terrena. O sistema como um todo começa na operação do mesmo, após a integração dos componentes. Neste ponto é analisado o sistema (ESTAÇÃO TERRENA), em quatro processos do ciclo de vida, desenvolvimento, produção, operação e descarte, como se apresenta na Figura 5.6.

Figura 5.6 - Atividade análise do ciclo de vida

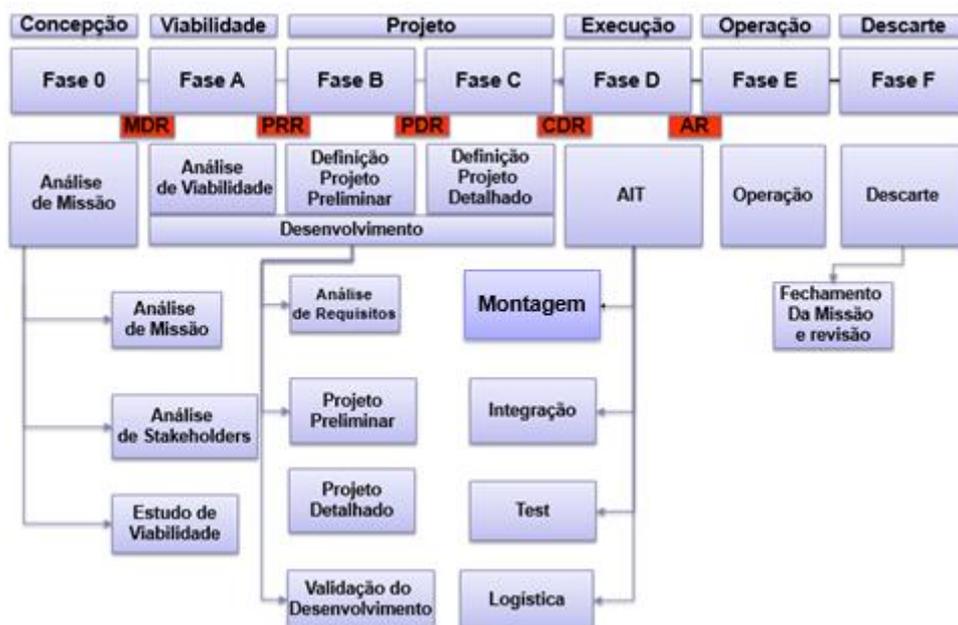


Fonte: Produção do Autor

Loureiro (2014), sugere uma série de etapas para identificar os processos de ciclo de vida, como ilustra a Figura 5.7, do sistema de interesse.

- Identificar o sistema de interesse.
- Identificar os cenários do ciclo de vida do processo.
- Identificar os cenários do ciclo de vida do processo, no âmbito do esforço de desenvolvimento.
- Para cada cenário do ciclo de vida, identificar os Stakeholders.
- Identificar MoEs
- Identificar as necessidades das Stakeholders
- Detalhar os requisitos dos Stakeholders

Figura 5.7 - Processo do ciclo de vida



Fonte: Produção do Autor

Tabela 5.10 - Procedimento de análise do ciclo de vida do sistema

<b>Tarefa</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Concepção do projeto.	Análise do ciclo de vida	Análise de cenários, diagramas de comportamento.
<b>Análise do ciclo de vida</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema)	
O que se faz:	Determinar os cenários do processo do ciclo de vida para o sistema de interesse, e a arquitetura operacional. Identificar outros elementos que são necessários para desenvolver o sistema	
Predecessor	Elicitação de necessidades de <i>Stakeholder</i> .	
Tempo	12,5 dias.	

Fonte: Produção do Autor

### 5.2.3. Análise de missão

Segundo Lopes (2015), o processo de análise de missão tem por objetivo estabelecer requisitos de missão, definir a arquitetura da missão, o conceito operacional, e os requisitos de alto nível da arquitetura da missão.

A Figura 5.8 apresenta a tarefa de análise de missão, a qual se subdivide em análise funcional, análise de operação da missão, alternativas do conceito operacional, e elementos da missão, os quais em conjunto definem os conceitos mencionados anteriormente.

A análise de missão segundo a definição do INCOSE (2015), também é denominada processo de análise do negócio (Business Analysis Process).

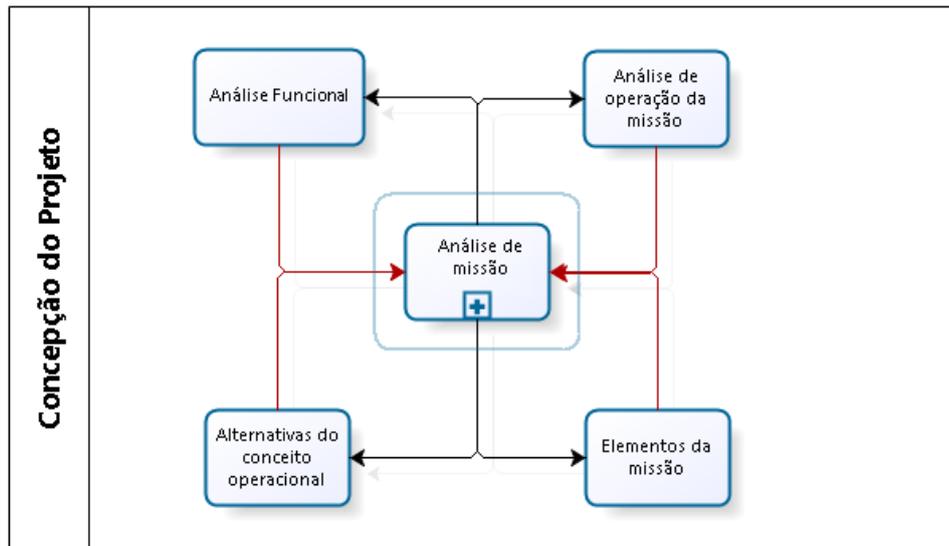
A definição dos requisitos começa com a visão do negócio da organização ou empresa, o conceito de operações (ConOps) e os objetivos e metas da empresa. A partir deles a gestão de negócios (Missão) define as necessidades do negócio (Missão).

Para o caso do sistema ESTAÇÃO TERRENA, vale a pena especificar que o processo de referência com base na Engenharia de Sistemas leva em consideração a palavra missão como a função em si, isto é, a missão não tem

relação com a missão espacial, mas sim com a função do sistema, não obstante a missão espacial também é estabelecida aqui para determinar as funções e o desempenho do sistema a desenvolver.

As entradas da tarefa - análise de missão - são todas as necessidades e requisitos de *stakeholders* com suas restrições.

Figura 5.8 - Atividade análise de missão



Fonte: Produção do Autor

Após a declaração da necessidade o Engenheiro de Sistemas ou o encarregado por desenvolver o sistema, pessoa, ou equipe de desenvolvimento, deverá estabelecer uma declaração da missão, essa declaração servirá como início para desenvolver o sistema. A declaração pode ser estabelecida como:

[Com o fim de estabelecer comunicação com Pico e Nanossatélites (SAT1X, brasileiros, colombianos) o principal objetivo do desenvolvimento do projeto é a criação de uma Estação Terrena Brasileira para Pico e Nanossatélites que seja de baixo custo; que integre no seu desenvolvimento mão de obra nacional, e tecnologias atuais, principalmente COTS; e finalmente que seu nível de automação seja igual ou superior o nível das estações do mercado]

Da declaração da missão devem-se derivar metas e objetivos, os quais serão as métricas da missão, com o cumprimento dessas metas e objetivos se dará fim à petição dos *stakeholders*, a Tabela 5.11 apresenta as metas e os objetivos da missão do sistema.

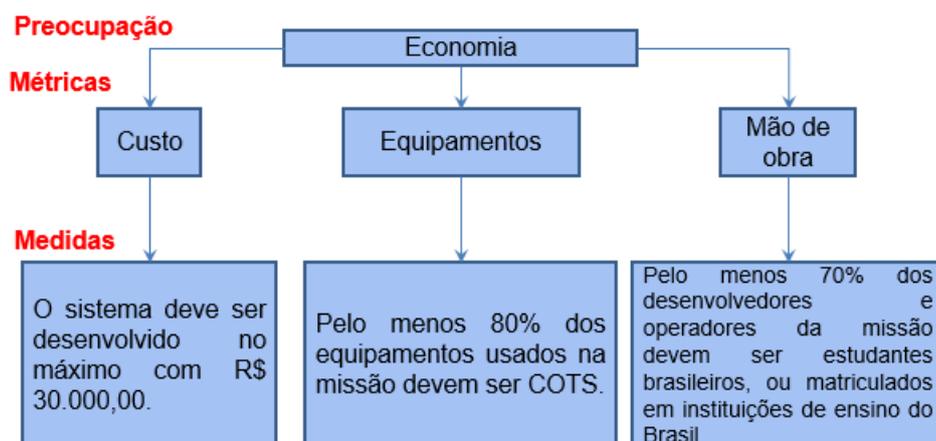
Tabela 5.11 – Exemplos de metas e objetivos da missão

Metas	Objetivos
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A estação deve comunicar-se com os satélites de interesse.</li> <li>2. A estação deve seguir a trajetória dos satélites de interesse.</li> <li>3. A estação deve estabelecer prioridades para acompanhar a movimentação dos satélites de interesse.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1) Estabelecer comunicação com os satélites brasileiros: NanoSatC-BR1, AESP-14, TANCREDO1, SERPENS, ITASAT.</li> <li>2.1) Estabelecer movimentação na estação para acompanhar a trajetória dos satélites NanoSatC-BR1, AESP-14, TANCREDO1, SERPENS, ITASAT</li> <li>3.1) Estabelecer parâmetros de importância com relação a cada satélite para realizar o seguimento (Exemplo quantidade de dados, período orbital, telecomandos a enviar).</li> </ol>

Fonte: Produção do Autor

Além das metas e objetivos devem-se especificar também as preocupações e as medidas de efetividade da missão. A Figura 5.9 apresenta uma árvore de preocupações com relação à economia da missão.

Figura 5.9 - Exemplo de preocupações e MoEs da missão



Fonte: Produção do Autor

Tabela 5.12 - Procedimento de análise de missão

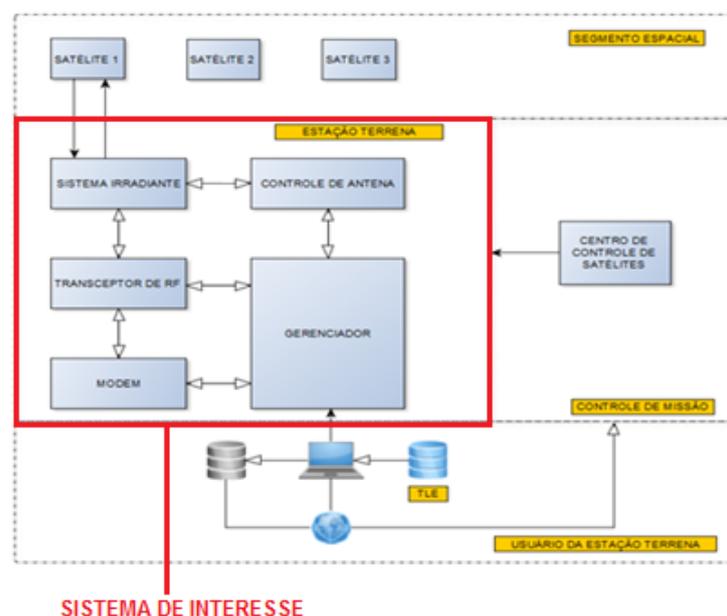
Tarefa	Subtarefa	Ferramenta/ Método
Concepção do projeto	Análise de missão	Árvores de objetivos, de preocupações, e de MoEs.
<b>Análise do ciclo de vida</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema).	
O que se faz:	Determinar metas, objetivos, e métricas e medidas de efetividades para as diferentes preocupações.	
Predecessor	Declaração da missão.	
Tempo	12,5 dias. (TBC)	

Fonte: Produção do Autor

### 5.2.3.1. Elementos da missão

Os elementos da missão são aqueles que interagem entre si para conseguir as funcionalidades desejadas pelos *stakeholders*. Como foi mencionado no caso de uma estação terrena, os elementos da missão têm a ver como o sistema em si. A Figura 5.10 apresenta a definição dos elementos do sistema e seus inter-relacionamentos com os elementos de uma missão espacial. Neste caso o sistema de interesse é só o quadro denominado Estação Terrena.

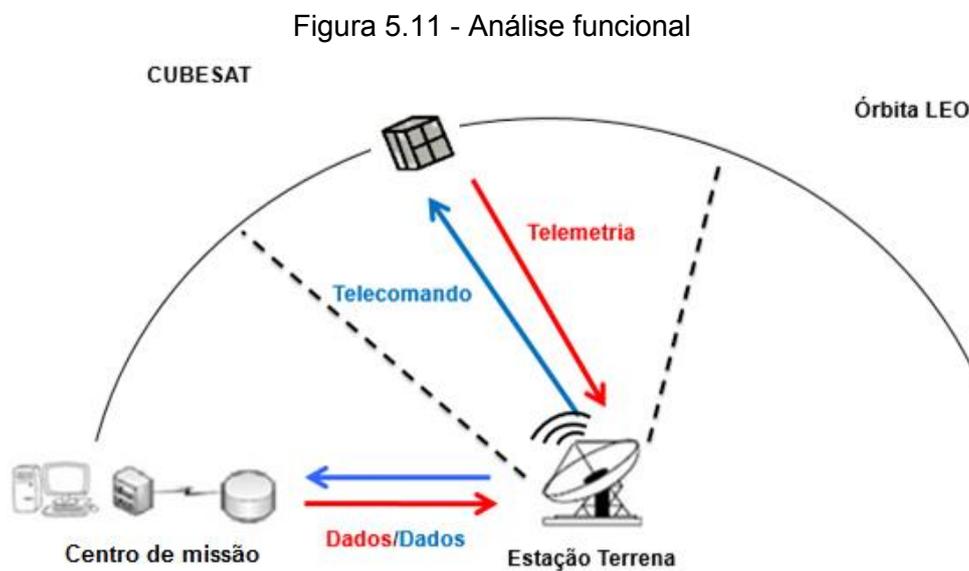
Figura 5.10 - Elementos da missão e seus inter-relacionamentos



Fonte: Produção do Autor

### 5.2.3.2. Análise funcional

A análise funcional é a definição das funções que o sistema tem que desempenhar após seu desenvolvimento, para isso, a Figura 5.11 apresenta graficamente o conceito de operação (ConOps). As funções são identificadas do propósito inicial que foi declarado na missão, neste caso, a estação terrena tem que, de maneira geral: (i) receber Telemetrias dos satélites (do tipo Pico e Nano), (ii) enviar Telecomandos para esses satélites, (iii) rastrear e acompanhar a movimentação do satélite, (iv) enviar os dados de telemetria e receber os dados de Telecomando do centro de missão.



Fonte: Produção do Autor

A análise funcional segundo Lopes (2014), é a principal atividade que necessita da definição dos processos do ciclo de vida. Ela identifica as funções a serem desempenhadas pelo sistema. Os processos do ciclo de vida segundo a abordagem da Engenharia de Sistemas são estabelecidos preliminarmente com o fim de definir requisitos para cada cenário do ciclo de vida.

### 5.2.3.3. Análise de operação da missão

Após as análises dos elementos da missão e de suas funções, define-se que as estações terrenas tradicionais para Pico e Nanosatélites estão divididas

internamente em subsistemas, podendo-se caracterizar esses subsistemas em:

1. Sistema Irradiante
2. Sistema de Controle de Antena
3. Sistema de Comunicação
4. Sistema de Modulação
5. Sistema de Software – Gerenciador/ Usuário
6. Sistema Estrutural

Identificando os subsistemas da estação terrena, devem-se estabelecer os inter-relacionamentos entre eles, e deles com os elementos da missão espacial. Vale a pena ressaltar que este ponto da identificação do conceito operacional depende dos requisitos dos *stakeholders* e de suas restrições, podendo-se estabelecer que no *design* final somente estejam quatro ou cinco subsistemas, e que alguns desses devem ser estabelecidos por um *hardware* predefinido, isto é, podem existir restrições de uso de componentes herdados, ou de tecnologias conhecidas. Tudo depende da elicitação das necessidades e a formalização delas em um documento.

Nesta etapa deve realizar-se o cálculo de enlace ou *link budget*. Isto é, com base nos requisitos dos *Stakeholders* e dos satélites a rastrear, devem-se estabelecer que parâmetros deve possuir a estação. Isto se realiza identificando os satélites a serem rastreados, para posteriormente estabelecer seus requisitos.

#### 5.2.3.4. Alternativas do conceito operacional

Conhecendo os subsistemas da estação em alto nível, se realiza uma revisão de desenvolvimentos similares, com o fim de ir definindo uma solução ao problema (concepção de uma estação terrena). Na Figura 5.12, se apresentam 12 soluções de estações terrenas, que atualmente estão em operação. Para esta etapa, devem-se estabelecer exemplos que ajudem no conhecimento do sistema a desenvolver, isto é, subsistemas diferentes,

capacidades diferentes e equipamentos diferentes, gerando uma tendência a uma solução definitiva.

Figura 5.12 - Alternativas do conceito operacional



Fonte: Produção do Autor

Como foi mencionado, a melhor forma para estabelecer uma arquitetura que satisfaça as expectativas dos *Stakeholders*, é realizar uma revisão de sistemas similares que possuam características diferentes. Para o desenvolvimento da estação terrena, deve se tentar obter informações de estações que abranjam todo tipo de tecnologias e de parâmetros operacionais. Um bom exemplo disso, é o que acontece no Brasil, em matéria de estações terrenas, podendo-se encontrar estações totalmente diferentes que ajudam a definir que é o requerido e o que não. A Figura 5.13 apresenta a comparação de características de estações foco da pesquisa apresentadas no Capítulo 3.

Figura 5.13 - Comparação das características operacionais das estações brasileiras

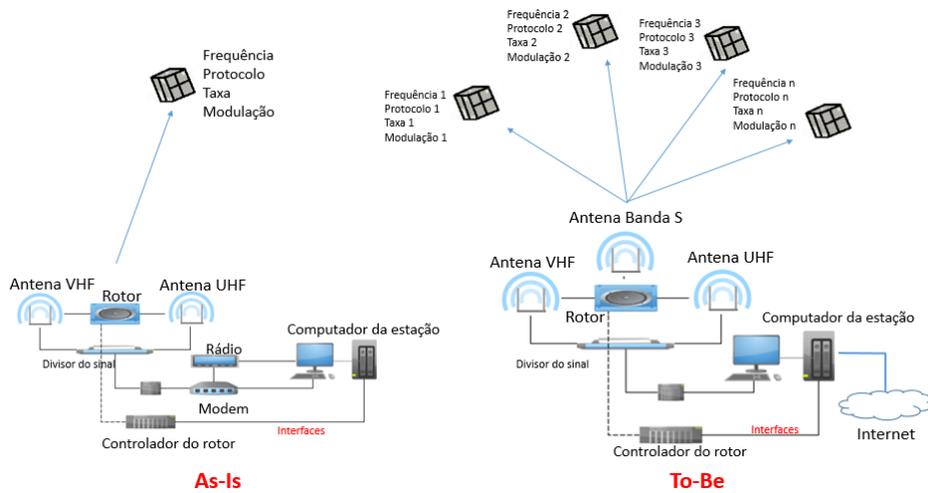
(1) INPE-ITA	(2) ITA
Estação Comprada; (x) Estação fixa de (TT&C); (v) Usa de SDR; (v) Acopla antena e transceptor Banda S; (v) O Preço é o mais elevado das 16 estações encontradas, supera os R\$ 20.000; (x) Software e Hardware proprietário, possui Copyright; (x) O modem é em software. (v)	Estação desenvolvida; (v) Estação móvel modular de (TT&C); (x) Usa rádio analógico; (x) Usa antena omnidirecional; (v) Não precisa de controle de antena; (v) O Preço é o mais baixo das 16 estações encontradas; (v) Possui dois hardwares diferentes (modem); (x) Feita por conhecimento de radioamadorismo. (v)
(3) UPTC	(4) PAR
Estação desenvolvida; (v) Estação fixa de (ERS); (x) Usa rádio analógico; (x) Usa muito Hardware e pouco Software; (x) Não está completa. (x) Baixo preço de desenvolvimento; (v) Feita por conhecimento de radioamadorismo. (v)	Estação desenvolvida; (v) Estação móvel de (TT&C); (v) Uso de SDR; (v) Mínimo Uso de componentes em Hardware; (v) Não precisa de controle de antena; (v) O modem é em software; (v) Baixo preço de desenvolvimento. (v) Feita por conhecimento de radioamadorismo. (v)

Em verde ressaltaram-se os parâmetros desejados, em vermelho os não desejados

Fonte: Produção do Autor

Por último a partir das arquiteturas dos desenvolvimentos similares, estabelece-se o 'As Is / To Be', apresentado na Figura 5.14, cujo propósito é estabelecer como é o sistema atualmente e, como será o desenvolvimento proposto. Pode ser que o sistema seja igual ao anterior, ou pode-se estabelecer uma melhoria em algum subsistema, parte o componente; novamente tudo depende da declaração da necessidade e da missão. No caso da Figura 5.14 atualmente se projetam estações com funcionalidades e compatíveis só para um satélite, exemplo de *As-Is*. Um exemplo de *To-Be* é uma estação multimissão.

Figura 5.14 - As Is / To Be

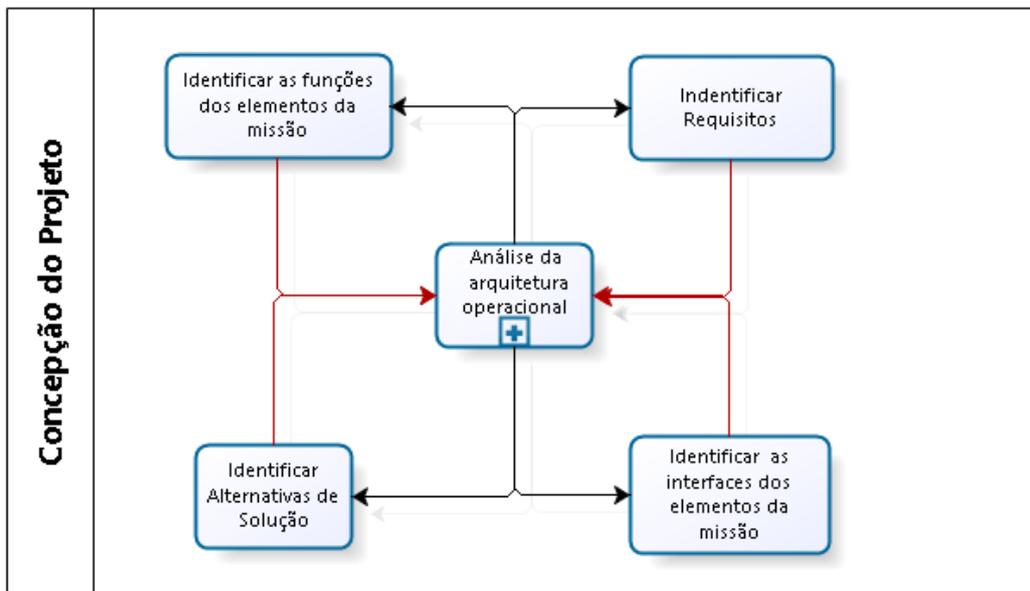


Fonte: Produção do Autor

#### 5.2.4. Análise da arquitetura operacional

A análise da arquitetura operacional é uma sub tarefa da atividade de concepção do projeto, esta sub tarefa apresenta em detalhe os elementos definidos na análise de missão. A análise da arquitetura operacional que por sua vez se divide em quatro sub tarefas, como se apresenta na Figura 5.15. A Tabela 5.13 detalha o procedimento de análise de arquitetura operacional.

Figura 5.15 - Atividade Análise da arquitetura operacional



Fonte: Produção do Autor

Tabela 5.13 - Procedimento de análise de arquitetura operacional

<b>Atividade</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Concepção do projeto	Análise da arquitetura operacional	Análise, Ferramenta N2.
<b>Análise da arquitetura operacional</b>		
Quem faz:	Engenheiro de requisitos. (Encarregado do Sistema).	
O que se faz:	Determinar as funções dos elementos do sistema, identificar as alternativas de solução, suas interfaces e os requisitos.	
Predecessor	Análise do ciclo de vida.	
Tempo	12,5 dias.	

Fonte: Produção do Autor

#### 5.2.4.1. Identificar funções dos elementos da missão

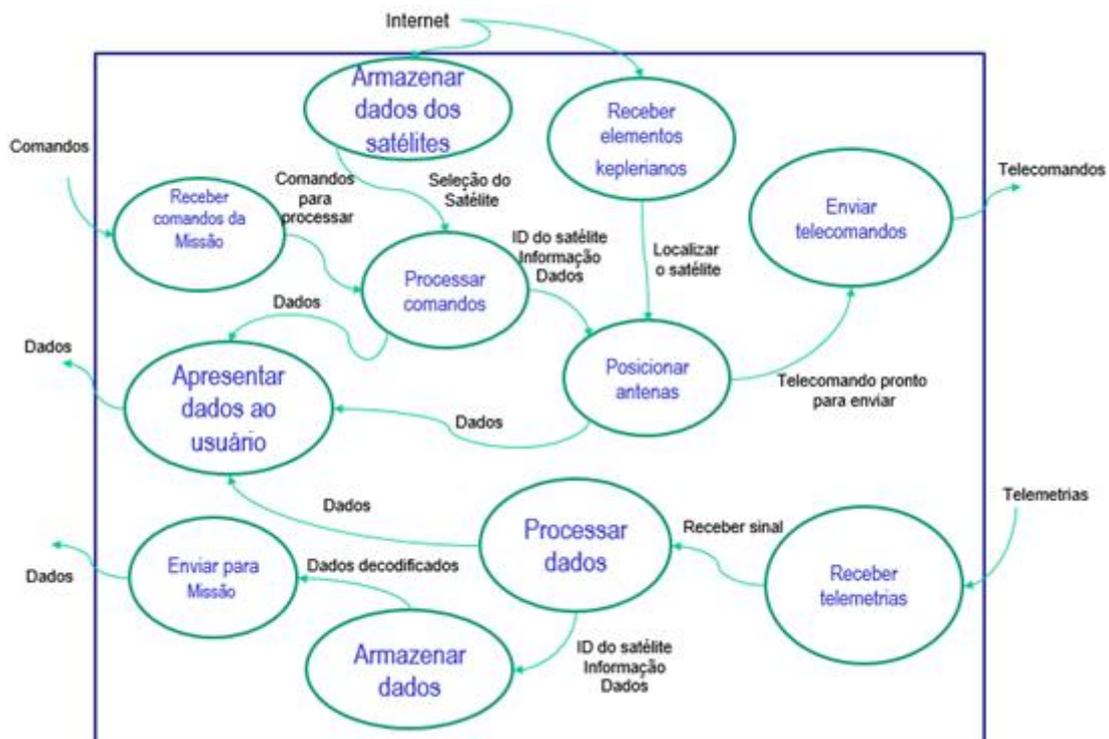
Na Subtarefa de análise de missão foram identificados os elementos da missão do sistema, nesta Subtarefa são identificadas as funções desses elementos, sendo:

- 1 Subsistema Irradiante: corresponde às antenas da estação e suas interfaces. A função é irradiar a potência que é fornecida com as características de direção adequadas para a aplicação.
2. Subsistema de Controle de Antena: a função principal é a movimentação do sistema irradiante para rastreamento do satélite.
3. Subsistema de Comunicação: transmitir, via RF, informação da estação terrena para o satélite, e receber respostas e informação na banda de frequência atribuída.
4. Subsistema de Modulação: condicionar o sinal para transmissão ou recepção.
5. Subsistema de Software: realiza funções de processamento de dados pré-passada, durante a passada e após passada do satélite.

6. Subsistema Estrutural: suportar a instalação externa ou interna da estação.

A figura 5.16 apresenta a decomposição funcional inicial do sistema estação terrena, na gráfica se apresentam o caminho do fluxo de dados.

Figura 5.16 - Decomposição funcional inicial da Estação Terrena



Fonte: Produção do Autor

#### 5.2.4.2. Identificar interfaces dos elementos da missão

Após a identificação das funções deve-se estabelecer as interfaces desses elementos com os outros elementos. Neste contexto, é identificado o sistema de interesse, seus relacionamentos externos, (missão espacial) e, seus relacionamentos internos, subsistemas da estação terrena. Para a identificação das interfaces físicas e funcionais é utilizada a ferramenta N2 para, como apresenta a Figura 5.17. Esta ferramenta N2 segundo NASA (2007), corresponde a uma matriz quadrada, onde os elementos que conformam o sistema estão localizados na diagonal e os demais espaços correspondem às interfaces entre esses elementos, tomando como referência o sentido horário (entradas e saídas).

Figura 5.17 - Ferramenta N2 para identificação de trocas de informação dos elementos da missão espacial

<b>Satélite</b>	Dados da missão, telemetria, rastreamento (RF)		
Telecomandos (RF)	<b>Estações Terrenas</b>	Dados da missão, telemetria, rastreamento (internet segura)	
	Telecomandos (internet segura)	<b>Centro de Rastreamento e Controle</b>	Dados da missão (rede local)
		Cronograma, atividades da missão (rede local)	<b>Usuário</b>

Fonte: Produção do Autor

- Elementos externos ao sistema de interesse:

1. Segmento Espacial - Estação Terrena: O satélite (Segmento espacial) comunica-se com a estação terrena por meio de rádio frequência (RF), com o fim de enviar telemetrias e receber telecomandos.

2. Estação Terrena - Controle de Missão: A estação terrena se comunica com os proprietários das missões espaciais, ou seja, os desenvolvedores dos projetos de Pico e Nanosatélites, por meio da internet.

3. Estação Terrena – Operações: Os operadores coletarão os dados e seu processamento para enviá-los nos formatos selecionados pelas organizações das missões. O monitoramento poderá ser presencial, ou virtual.

4. Operações - Controle de Missão: Uma vez que seja estabelecido o mecanismo de intercâmbio de informação das missões espaciais dos Pico e Nanosatélites, deverá se estabelecer o mecanismo de transferência dos pacotes de informação obtidos na estação.

A Figura 5.18 apresenta a identificação de trocas de informação dos elementos da estação por meio da ferramenta N2.

Figura 5.18 - Ferramenta N2 para identificação de trocas de informação dos elementos da estação

<b>Gerenciador</b>	Protocolo do satélite, modulação e taxa de dados	Sintonizar frequências	Posição e trajetória do satélite		
Protocolo do satélite, modulação e taxa de dados ATUAL – Sinal demodulado	<b>Modem</b>	Sinal modulado			Peso do elemento
Sinal sintonizado na frequência de operação ATUAL	Sinal sintonizado na frequência intermedia	<b>Transceptor</b>		Sinal modulado e sintonizado na frequência de operação com a portadora	Peso do elemento
Posição AZ/EL			<b>Controle de Antena</b>	<b>Suporte - Posição AZ/EL</b>	Peso do elemento
		Sinal recuperado e modulado e sintonizado na frequência da portadora	Peso do elemento	<b>Irradiante</b>	Peso do elemento
<b>Suporte interno</b>	<b>Suporte interno</b>	<b>Suporte interno</b>	<b>Suporte externo</b>	<b>Suporte externo</b>	<b>Estrutura</b>

Fonte: Produção do Autor

- Elementos internos do sistema de interesse:

1. Gerenciador – Modem: o gerenciador é o organizador da estação, é ele quem orchestra o fluxo de informação.

2. Gerenciador – Transceptor: o gerenciador por meio de uma GUI recebe as características das frequências dos satélites que serão rastreados na estação, ele envia para o transceptor ordens para que o transceptor ajuste e sintonize as frequências de transmissão e de recepção.

3. Gerenciador – Controle de Antena: o gerenciador por meio de internet recebe dados dos elementos keplerianos (TLE) dos satélites que serão rastreados na estação, ele envia para o controle de antena a posição inicial de transmissão, movimenta continuamente as antenas enquanto a passada do satélite está na área de cobertura, e retorna o conjunto de antenas para aposição denominada repouso.

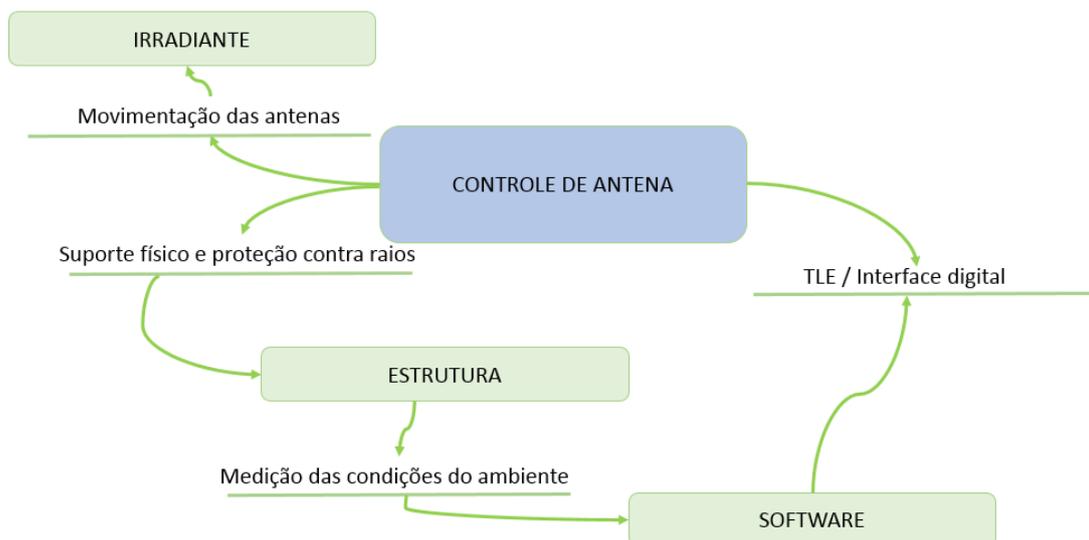
4. Modem – Transceptor: o modem após receber uma ordem do gerenciador para ajustar a taxa de dados, a modulação e o protocolo, envia um pacote em uma frequência intermédia (FI) ao transceptor, o qual, passará o pacote à frequência de envio para a antena.

5. Transceptor – Irradiante: o transceptor após receber uma ordem do gerenciador para ajustar a frequência dos satélites, converterá a frequência intermédia (FI) entregue à antena que finalmente será a encarregada de entregar a informação ao ambiente, nas faixas de 135 MHz ou 435 MHz.

6. Irradiante – Controle de Antena: o Controle de Antena após receber uma ordem do gerenciador movimenta o conjunto de antenas, sendo previamente estabelecidas as frequências, a taxa de dados, a modulação e o protocolo de comunicação, sendo a última peça no envio e/ou recepção de informação.

Além de utilizar a ferramenta N2, é válido utilizar um diagrama de contexto, exemplificando os subsistemas e seus relacionamentos, como se apresenta na Figura 5.19.

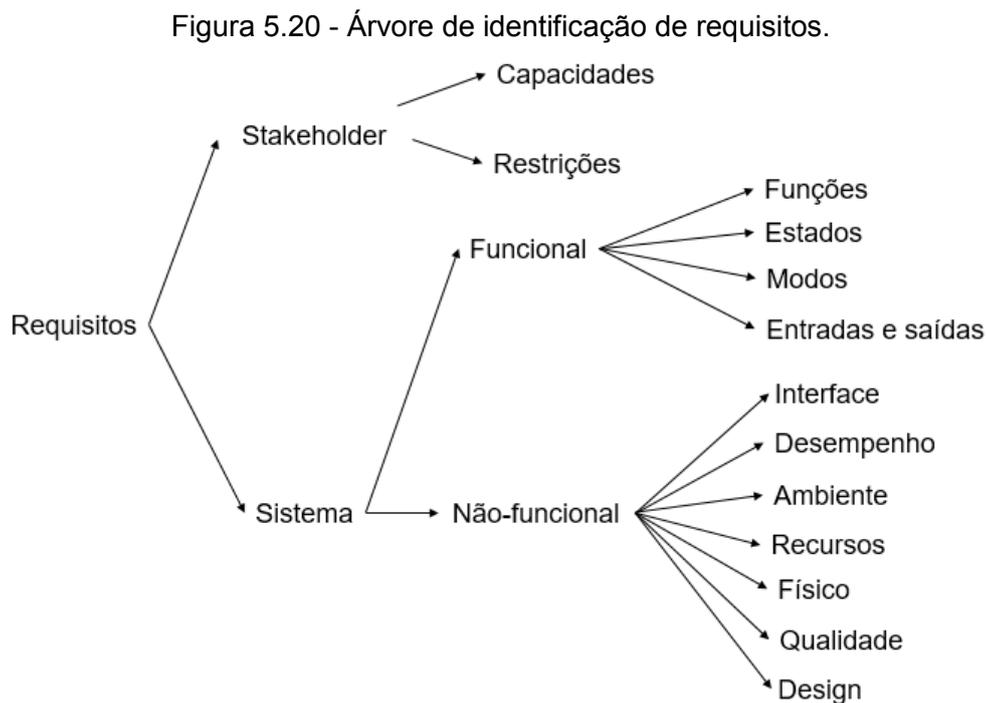
Figura 5.19 - Diagrama de Contexto da estação terrena (Controle de antena)



Fonte: Produção do Autor

### 5.2.4.3. Identificar requisitos

Cada análise anterior gera declarações que identificam capacidades físicas, funcionais, de desempenho ou de qualidade, delimitando as necessidades, pelas quais se buscará uma solução. A Figura 5.20 apresenta a classificação dos requisitos, destaca-se que os requisitos de *stakeholder* definem as capacidades e as restrições, e os requisitos de sistema definem o ambiente do sistema e suas funcionalidades e comportamento.



Fonte: Loureiro (2010)

A Tabela 5.14 apresenta a forma para expor os requisitos de missão. Com o propósito de estabelecer a rastreabilidade dos requisitos devem-se enlaçar as necessidades com os requisitos dos *stakeholders*.

O Ideal para estabelecer um requisito é definir novamente uma etiqueta, isto para saber a origem (Necessidades ou requisitos predecessores) e para definir os requisitos subsequentes. A Tabela 5.14 apresenta a ID (Identificação de requisito), a origem (Requisito de missão), a Nec (Necessidade) e o tipo de requisito, isto é, Produto, organização e característica do mesmo.

Tabela 5.14 - Exemplos de requisitos de missão

ID	Origem	T	Requisito (capacidade da missão)
RM.01.001	RS01/ RS01	F	A organização de desenvolvimento deve proporcionar um sistema modular de estação terrena para Pico e Nanossatélites.
RM.01.002	RS01/ RS01		A organização de desenvolvimento deve proporcionar um sistema estação terrena para Pico e Nanossatélites que funcione 24/7.
ID	Origem	T	Requisito (características da missão)
RM.02.001	RS06	O	A organização de desenvolvimento deve proporcionar uma estação terrena compatível e modificável para estabelecer comunicação com os satélites TANCREDO-1, SERPENS (SETOR A), ITASAT, NANOSATC-BR1, NANOSATC-BR2.
RM.02.001	RS06	O	A organização de desenvolvimento deve proporcionar uma estação terrena composta por componentes COTS, e <i>artesanais</i> .

Fonte: Produção do Autor

#### 5.2.4.4. Identificar alternativas de solução

Com base nas soluções identificadas de sistemas similares estabelecem-se parâmetros para encontrar uma solução com as características e as funcionalidades definidas na etapa anterior. Nesse contexto vai se definindo uma possível solução por meio de pesquisas do mercado e de sistemas similares. O resultado desta análise vai encaminhar a solução definitiva do sistema.

Tabela 5.15 - Alternativas de solução

Subsistema	Parte	Componente	Fabricante
Estrutura	Mastro de antena	Mastil	Artesanal
Subsistema Irradiante	Antena UHF/VHF	SATPACK #1 EB144/EB432	M2 ANTENNAS SYSTEMS
	Amplificador VHF	MSP144VDG-160	Ar2 Communications Products
	Amplificador UHF	MSP432VDG-160	Ar2 Communications Products
	Antena 3	MESH DISH KIT 1.9	RF HAMDESIGN
	Down Converter	UEK 3000-2	SSB
Subsistema controle de antena	Rotor e Interface 1	GS-5500	Yaesu
	Rotor e Interface 2	GS-5500	Yaesu
Subsistema de comunicações	SDR Tranceiver	USRP B200	Ettus Research
	SDR Receiver	AIRSPY R2 SDR	AIRSPY
	Interface do Relay	CX-230	TOYO TSUSHO
Subsistema Software / Modem	Software Gerenciador	Plan 73	PY2SDR
	Software de rádio	SDR SHARP	AIRSPY
	Software de Modem	-	Proprietário

Fonte: Produção do Autor

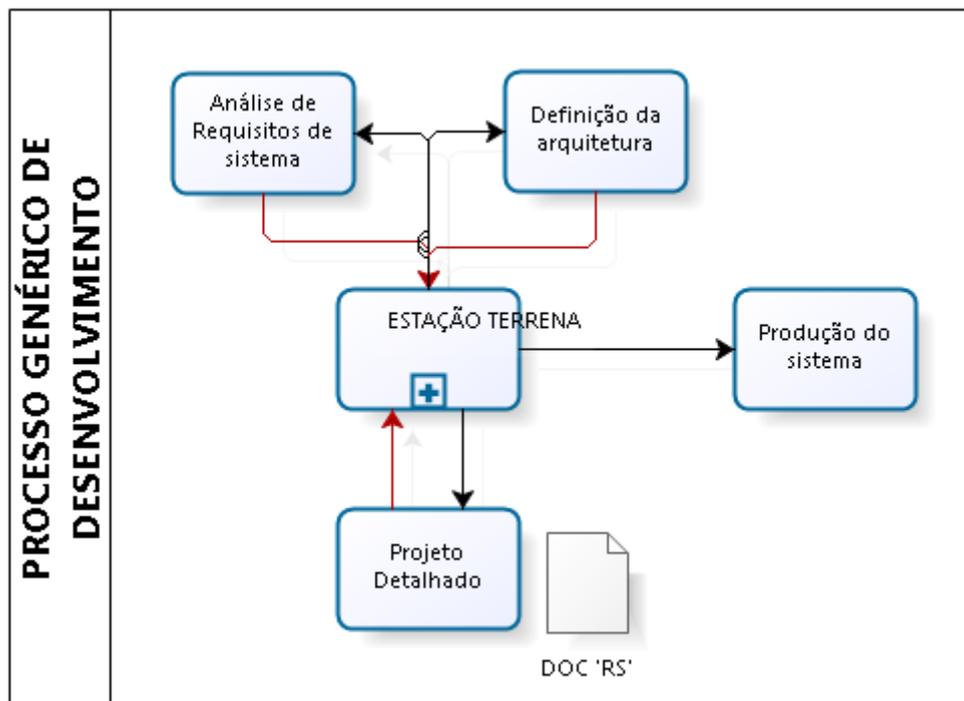
### 5.3. Definição do sistema

O problema, sendo definido nas etapas anteriores, passa a formalizar-se por meio de requisitos, a definição do sistema ou, neste caso, a definição da estação terrena, é uma série de atividades e tarefas que pretendem gerar os requisitos de sistema e de subsistemas por meio dos requisitos de missão, requisitos de stakeholders, e necessidades de stakeholder. A definição do sistema, como apresenta a Figura 5.21, é desdobrada em:

- a) Análise de requisitos de sistema
- b) Definição da arquitetura
- c) Projeto detalhado

O processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para Pico e Nanossatélites, apresenta neste item, uma série de passos para a formalização da arquitetura voltada para o segmento solo, especificamente para a estação terrena. É neste ponto que a arquitetura física e funcional é definida

Figura 5.21 - Definição do sistema 'Estação Terrena'

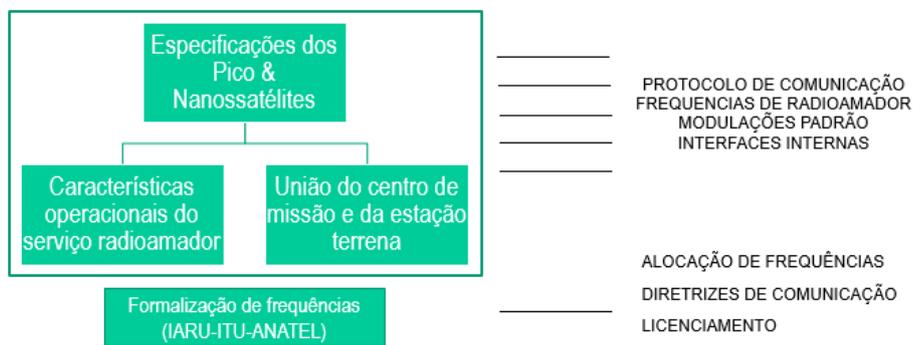


Fonte: Produção do Autor

O desenvolvimento de estações terrenas para Pico e Nanossatélites, possui características peculiares e diferentes das características de uma estação terrena para um satélite de grande porte.

O *design* de uma estação terrena para este tipo de satélites leva a direcionar a solução do sistema de acordo com parâmetros que são próprios do setor dos pequenos satélites ou *Small Satellites*. A Figura 5.22 apresenta os parâmetros que conduzem a uma solução prévia. Para determinar esses elementos deve-se analisar o que é próprio do uso e das interfaces do sistema de interesse.

Figura 5.22 - Elementos que encaminham a solução da estação

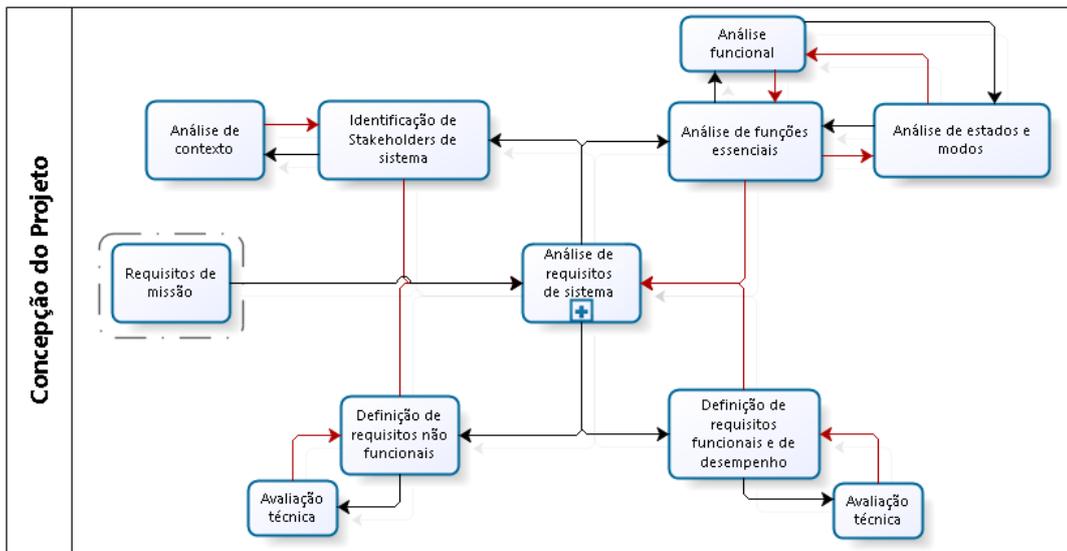


Fonte: Produção do Autor

### 5.3.1. Análise de requisitos do sistema

A Figura 5.23 apresenta a tarefa de análise de requisitos de sistema, que por sua vez é descomposta por quatro subtarefas. Algumas das subtarefas têm análises extras para detalhar e aportar mais detalhe à definição do sistema.

Figura 5.23 - Tarefa de análise de requisitos de sistema

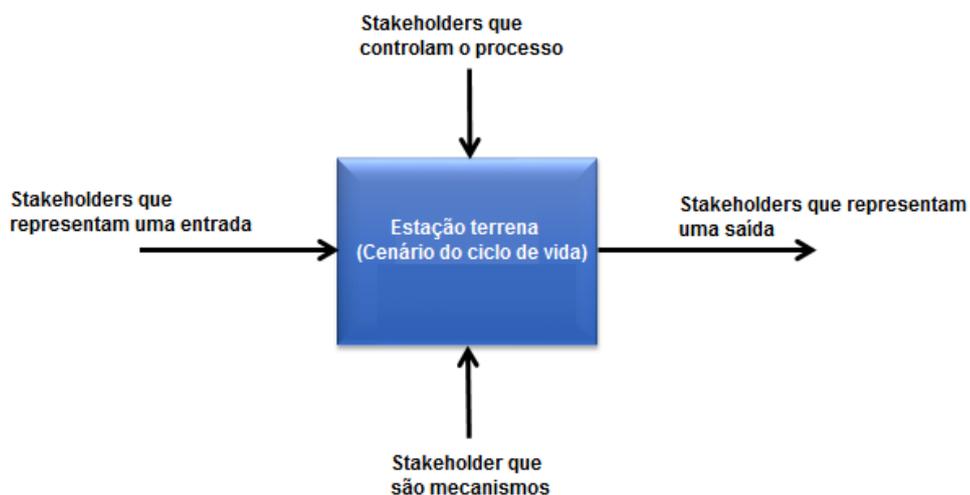


Fonte: Produção do Autor

### 5.3.1.1. Identificar Stakeholders de sistema

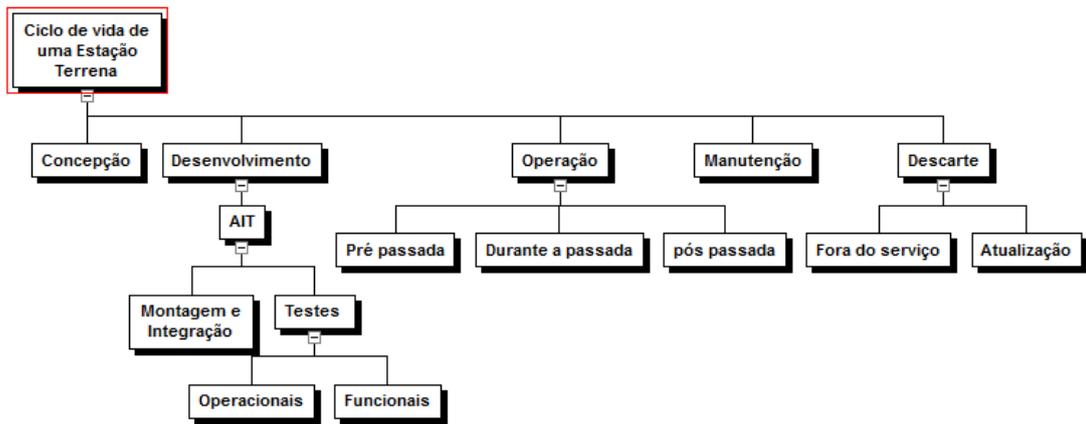
O processo de identificação de *Stakeholders* de sistema é realizado com a ferramenta IDEFØ, o processo de identificação dos *Stakeholders* como apresenta a Figura 5.24 deve ser realizado para cada cenário do ciclo de vida. A Figura 5.25 apresenta um processo de vida simplificado, no qual é possível observar os diferentes cenários que serão foco nesta tarefa.

Figura 5.24 - IDEFØ para identificação de *Stakeholders* de sistema



Fonte: Adaptado de Lopes (2015)

Figura 5.25 - Ciclo de vida de um sistema de estação terrena simplificado



Fonte: Produção do Autor

O foco desta tarefa é analisar e estabelecer os *stakeholders* derivados da arquitetura da missão, determinada na atividade de definição do problema. Já que esta avaliação requer desdobrar muitos cenários do ciclo de vida, é recomendável estabelecer um grupo multidisciplinar para atingir o objetivo desta tarefa.

### 5.3.1.2. Análise de stakeholder de sistema

A análise de *Stakeholder* de sistema contempla as mesmas etapas de análise de *Stakeholder* de missão, porém esta análise tem por objetivo identificar os *Stakeholders* de sistema para estabelecer os requisitos de sistema e subsistemas. Lopes (2015), afirma que a identificação de stakeholder de sistema consiste na identificação de *stakeholders* diretamente ligados ao sistema de interesse, as etapas são:

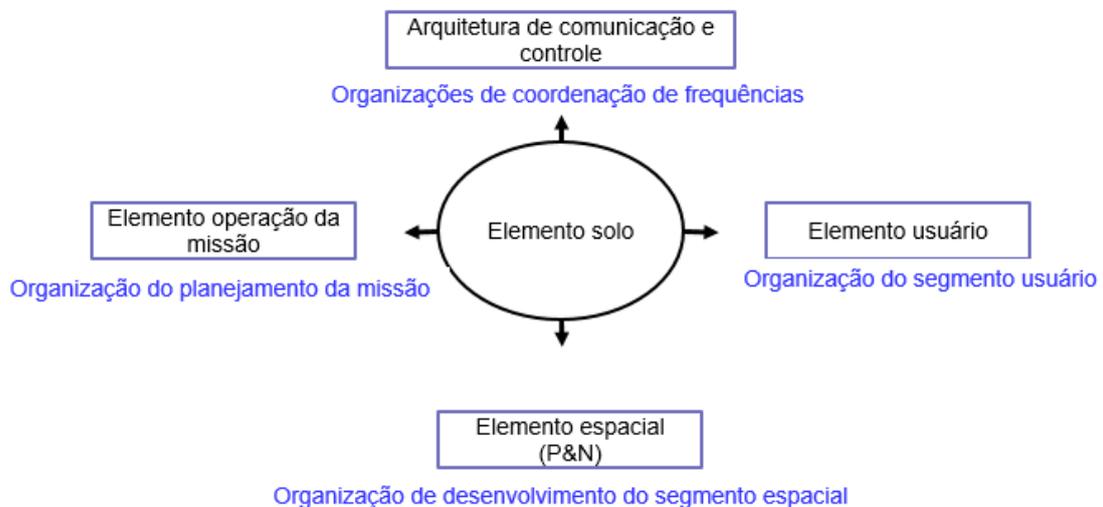
- Identificar *Stakeholders* de sistema. (Repetir o realizado na etapa da missão, focando no sistema);
- Elicitar necessidades de *Stakeholder* de sistema. (Repetir o realizado na etapa da missão, focando no sistema);
- Obtenção de documentação do sistema. (Repetir o realizado na etapa da missão, focando no sistema);
- Análise de necessidades de *Stakeholder* de sistema. (Repetir o realizado na etapa da missão, focando no sistema);

- Análise de Medidas de Efetividade dos elementos do sistema. (Repetir o realizado na etapa da missão, focando no sistema).

### 5.3.1.3. Análise de contexto

Lopes (2015), propõe um diagrama de contexto para estabelecer os elementos fonte de stakeholder e assim identificar os stakeholders derivados da arquitetura da missão, como apresenta a Figura 5.26.

Figura 5.26 - Exemplo de diagrama de contexto para identificação de stakeholders dos elementos da arquitetura da missão



Fonte: Adaptado de Lopes (2015)

A Tabela 5.16 apresenta a análise de *Stakeholder* derivada da arquitetura da missão e da avaliação do diagrama de contexto para a identificação de stakeholders.

Tabela 5.16 - Exemplo de stakeholders para uma estação terrena dos elementos da arquitetura da missão

<b>Elemento fonte</b>	<b>Identificação do STK</b>	<b>Stakeholder</b>
Elemento operação da missão	STK01	Operador da estação terrena
Elemento operação da missão	STK02	Responsável pela infraestrutura da estação terrena
Elemento usuário	STK03	Responsável pela aquisição de dados
Elemento Arquitetura de comunicação e controle	STK04	ITU-IARU-LABRE
Elemento espacial	STK05	Desenvolvedores dos satélites
Elemento espacial	STK06	Desenvolvedores da carga útil dos satélites

Fonte: Adaptado de Lopes (2015)

A Tabela 5.17 apresenta a análise de interesses dos *Stakeholders* identificados dos cenários do ciclo de vida do produto, o fim da identificação dos interesses é refinar os requisitos do sistema.

Tabela 5.17 - Análise de interesses dos Stakeholders

<b>Stakeholder</b>	<b>ID STK</b>	<b>Interesse no sistema</b>
Operador da estação terrena	STK01	Fácil operação, simplicidade nas janelas apresentadas para o usuário.
Responsável pela infraestrutura da estação terrena	STK02	Manutenção sem interferir a operabilidade da estação
Responsável pela aquisição de dados	STK03	Rede de tráfego de informação segura.
ITU-IARU-LABRE	STK04	Estabelecimento de licenças para a estação e para o responsável da mesma.
Desenvolvedores dos satélites	STK05	Sistema que seja compatível com o Pico ou Nanosatélite específico.
Desenvolvedores da carga útil dos satélites	STK06	O sistema deve garantir a coleta de dados da carga útil e, a transferência para o usuário.

Fonte: Adaptado de Lopes (2015)

#### 5.3.1.4. Análise de funções essenciais

As funções essenciais segundo Loureiro (2010), são a implementação de tecnologia independente, livre. Aqui não existe uma solução orientada. Deve-se capturar o que o sistema deve fazer sem levar em consideração os meios disponíveis para implementá-lo.

As funções alocáveis são derivadas após a identificação de opções tecnológicas para implementar as funções do sistema. Essas opções podem impor interface adicional, exceções de manipulação e, requisitos tecnológicos.

- Análise funcional, esta análise se compõe de:
  - 1) Análise da estrutura funcional
    - a) Funções
    - b) Fluxos de energia, material ou informação

## 2) Comportamento funcional

- a) Modos
- b) Estados
- c) Transições de estado
- d) Transições de Modo
- e) Controle de fluxos
- f) Ativação de processos
- g) *Timing*

Loureiro (2010), estabelece que o processo da análise funcional deve realizar-se da seguinte forma:

- **Realizar análise de cenários:** análise de cenário começa com uma descrição de alto nível do processo do ciclo de vida do sistema e se decompõe cada processo do ciclo de vida em cenários relevantes por meio dos quais o sistema passará ao longo da vida. Cenários relevantes são aqueles que implicam que diferentes elementos no ambiente com os que o sistema interage ou diferentes *stakeholders* serão afetados ou que afetam o sistema nesse cenário. (LOUREIRO, 2010), a Figura 5.27 apresenta uma sequência de cenários do ciclo de vida de uma estação terrena.

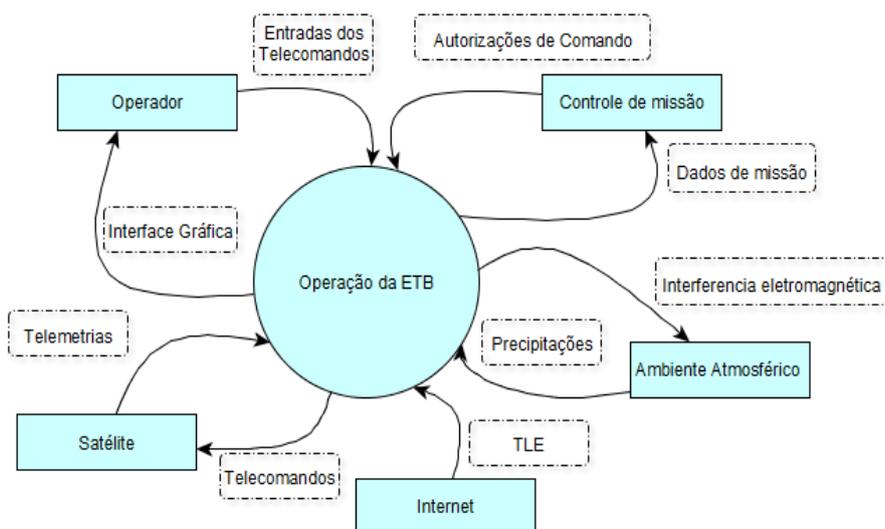
Figura 5.27 - Cenários do ciclo de vida do sistema



Fonte: Produção do Autor

- **Realizar análise do contexto (em cada cenário):** Análise do contexto é executada para um "sistema em um cenário dado". Durante a análise do contexto é preciso perceber o que o sistema interage com o ambiente, como apresenta a Figura 5.28.

Figura 5.28 - Diagrama de contexto em cenário de operação



Fonte: Produção do Autor

- **Realizar análise de circunstâncias (em todos os contextos):** Em cada contexto descrito, as circunstâncias são analisadas. Circunstâncias são as condições impostas por diferentes estados dos elementos no ambiente que o sistema pode assumir. Dependendo dos diferentes conjuntos de circunstâncias, o sistema irá executar funções em um cenário do processo de ciclo de vida de modos diferentes.
  1. Circunstância A estação está em contato com o satélite, e tem operador.
  2. Circunstância 2: A estação está em contato com o satélite, e não tem operador.
  3. Circunstância 1: A estação não está em contato com o satélite, e tem operador.
  4. Circunstância 2: A estação não está em contato com o satélite, e não tem operador.
- **Realizar análise de modos (em todos os contextos):** para cada modo, deve-se estabelecer uma lista de eventos e devem se identificar as funções essenciais, como apresenta a Tabela 5.18. Em primeiro lugar para os modos normais ou esperados e, posteriormente, para os modos de manipulação de exceção. Os modos não se referem apenas às operações, mas também para a produção, testes, distribuição, manutenção e descarte. Porém, para o escopo da dissertação, só será estabelecido o cenário de operação

Tabela 5.18 - Lista de modos de acordo com as circunstâncias

Modo	Circunstância	
	Satélite em visada	Operador
Modo 2	SIM	SIM
Modo 1	SIM	NÃO
Modo 2	NÃO	SIM
Modo 1	NÃO	NÃO

Fonte: Produção do Autor

- **Realizar lista de eventos (para cada modo):** após a identificação dos modos, deve-se identificar cada modo e estabelecer uma lista de eventos e condições que causarão a permanência ou a mudança de modo, apresentada na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Lista de eventos para cada modo

Modos	Condição	Próximo Estado	Ação
(1) Automático	StatusOk: tudo ok na inicialização	Operacional	Track - TX/RX
	InternetOk: acesso à internet	Operacional	Pegar TLE
(2) Nominal	OperatorIN: Ingresso de um operador	Operacional	TX/RX
(3) Falha	StatusFalha: falha na inicialização	Degradada	Caça falhas
	InternetFalha: não há acesso à internet	Degradada	Revisar conexões

Fonte: Produção do Autor

- **Realizar identificação das funções essenciais (para cada modo):** para cada modo se determina a condição e a ação de permanência nesse modo.

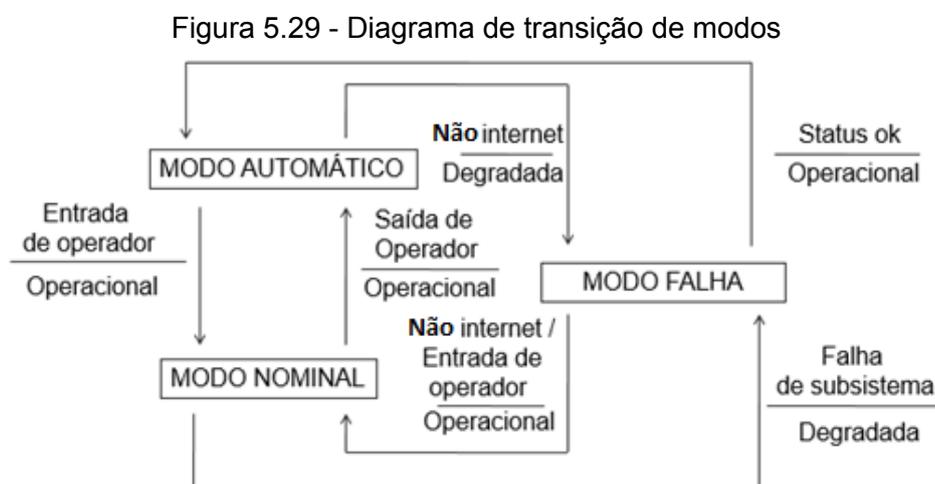
**1. Modo Automático:** a operação da estação é completamente automática, é efetuada quando não tem operador. A estação pega os dados da internet, pré-estabelece comandos de saúde, definidos no cadastro do satélite, ajusta a seleção do satélite, e seus parâmetros, movimenta as antenas, recebe e transmite informação e retorna ao repouso.

**2. Modo Nominal:** a operação da estação é efetuada pelo operador, ajustando os valores de: modulação, frequências, taxa de dados, e protocolo por meio da GUI de rádio; e inserindo o

telecomando autorizado pelo controle de missão do satélite a ser rastreado, porém a operação das antenas é automática.

**3. Modo Falha:** Quando algum subsistema não funciona corretamente a estação entra em modo Falha, porém pode receber telemetrias e dados da missão, com capacidade limitada dependendo do subsistema afetado.

- **Realizar análise Comportamental (para cada modo):** determinando as condições dos modos, deve-se estabelecer o diagrama de transição dos modos, como se apresenta na Figura 5.29.



Fonte: Produção do Autor

A Tabela 5.20 sintetiza o Procedimento de análise de funções essenciais.

Tabela 5.20 - Procedimento de análise de funções essenciais

Tarefa	Subtarefa	Ferramenta/ Método
Análise de Stakeholders de missão	Análise de funções essenciais	Diagramas de contexto, Diagrama de transição de modos, análises.
<b>Análise de funções essenciais</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema)	
O que se faz:	Realizar análise de cenários, realizar análise do contexto (em cada cenário), realizar análise de circunstâncias (em todos os contextos), realizar identificação das funções essenciais (para cada modo), realizar análise Comportamental (para cada modo).	
Predecessor	Análise de contexto.	
Tempo	12,5 dias.	

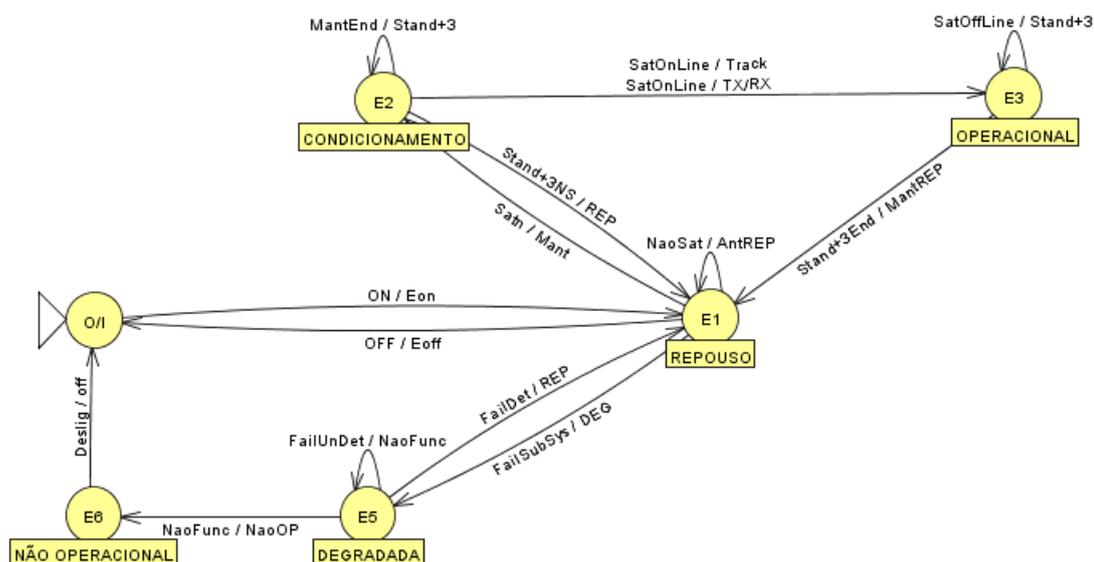
Fonte: Produção do Autor

- Análise de estados e modos

Os diagramas de transição de estado mostram os estados do sistema e as transições entre eles, como se apresenta na Figura 5.30. Os estados são representados por retângulos e transições são representadas por setas que ligam os estados.

As transições são rotuladas pelas condições que têm de ser satisfeitas, a fim de uma mudança de estado acontecer e pelas ações resultantes dessa mudança de estado.

Figura 5.30 - Máquina de estados da estação terrena



Fonte: Produção do Autor

Tabela 5.21 - Lista de eventos da máquina de estados

Estado	Condição	Próximo Estado	Ação
Repouso	<b>NaoSat:</b> Não há satélite para rastrear	Repouso	Antena Repouso
	<b>Satn:</b> Satélite para rastrear	Condicionamento	Mover antenas
	<b>FailSubSys:</b> Falha de subsistemas	Degradada	Aviso DEG
	<b>OFF:</b> Estação em off	Desligada O/I	Desligar
Condicionamento	<b>Stand+3NS:</b> não contato	Repouso	Mover antenas REP
	<b>SatOnLine:</b> Satélite enlaçado	Operacional	TX/RX
Operacional	<b>SatOnLine:</b> Satélite enlaçado	Operacional	Rastrear
	<b>SatOffLine:</b> manter características	Operacional	Manter 3 min POS
Degradada	<b>SatOffLine+3:</b> após 3min do enlace	Repouso	Mover antenas REP
	<b>FailUnDet:</b> Não ID da falha	Degradada	Buscar falha
Não operacional	<b>NãoFunc:</b> Loop falha	Não operacional	Aviso NÃO OPE
Desligada	<b>Deslig:</b> Desligar sistema	Desligada O/I	Desligar
	<b>ON:</b> Estação em On	Ligada I/O	Ligar
	<b>StatusOK:</b> tudo ok na inicialização	Ligada I/O	Aviso Pronto Uso

Fonte: Produção do Autor

**Estado repouso:** a estação terrena fica ligada, esperando satélites para rastrear, as antenas permanecem na posição inicial EL: 90° AZ 90° e os equipamentos ajustados com dados da última operação.

**Estado Condicionamento:** já existe um satélite ajustado para rastrear, o gerenciador envia ordem ao controle de antena para se movimentar à posição inicial de contato em um ângulo de EL 15°, com respeito ao horizonte por onde o satélite aparecerá, e manterá essa posição durante três minutos até o satélite entrar na área de cobertura. O rádio e o modem serão ajustados nos parâmetros estabelecidos pelo satélite simultaneamente com a movimentação das antenas. Após a passada do satélite, a estação permanecerá três minutos na última posição de contato em um ângulo de EL165° com respeito ao horizonte por onde o satélite perderá contato. A estação manterá o ajuste inicial nessa posição.

**Estado Operacional:** a estação está operando um satélite, enviando telecomandos, recebendo telemetria, e realizando rastreamento. A estação processa os dados e os salva em uma pasta definida para cada satélite. Neste estado são movimentadas as antenas pela trajetória do satélite e, é ajustado o Doppler.

**Estado Degradado:** a estação após a falha de um subsistema envia ao usuário uma mensagem, porém pode-se continuar com a operação em modo nominal, já que o modo de operação automático se interromperá. Nesse estado a estação buscará a falha e tentará corrigi-la, se a estação não consegue corrigir para voltar a repouso a estação desativará todos os subsistemas e passará para estado não operacional.

**Estado Não Operacional:** a estação fica ligada, mas, para tentar corrigir problemas, não se realiza rastreamento, comando, nem controle do segmento espacial. Neste estado também se efetuará a manutenção da estação energizando unicamente os componentes internos da estação.

**Estado Desligada:** a estação tem a capacidade de ser ligada e desligada quantas vezes forem necessárias, quando a energia elétrica falhar, a estação terrena permanecerá no mínimo 15 minutos operativa, tempo máximo de

permanência de um satélite dentro da área de cobertura da estação. A energia será fornecida pela unidade de controle ininterrupta ligada aos equipamentos da estação.

Assim que já se tiver o sistema definido pela análise funcional, com os parâmetros normais, inicia-se uma análise dos comportamentos que poderiam causar uma falha. Isto realiza-se identificando os perigos em cada circunstância, a partir dos fluxos e das interfaces. Pelo escopo da dissertação, porém, esse passo será omitido.

### 5.3.1.5. Desenvolvimento de Requisitos Não funcionais

A formalização dos resultados das etapas anteriores é a geração dos requisitos das funções essenciais, não obstante, antes de definir este tipo de requisitos, devem-se definir os requisitos não funcionais, apresentados na Tabela 5.22. Os requisitos não funcionais não desempenham nenhuma função no sistema, pois eles caracterizam operações que ajudam no desenvolvimento ou ao entendimento do sistema.

Entre os requisitos não funcionais se encontram os requisitos de apoio logístico, garantia do produto, *design*, ambientais, e de configuração.

Tabela 5.22 - Exemplo de lista de requisitos não funcionais

ID	Origem	Nec.	Requisitos do Sistema - Apoio Logístico (Produto)
S.02.001	RM.04.001	RS02	A Estação Terrena Brasileira deve ser montada, integrada e testada em território nacional.
			<b>Requisitos do Sistema - Garantia do Produto (Produto)</b>
S.02.002	RM.03.001	RS09	A Estação Terrena Brasileira deve satisfazer os requisitos da IARU, normas legais para uso das frequências de rádio comunicação.
			<b>Requisitos do Sistema - Design (Produto)</b>
S.02.003	RM.03.002	RS04	A Estação Terrena Brasileira deve empregar componentes COTS e <i>Artesanais</i> na maioria de seus componentes.
S.02.004	RM.02.001	RS06	A Estação Terrena Brasileira deve estar projetada para operar satélites em orbita baixa (LEO) entre 350 e 850 km.
			<b>Requisitos do Sistema - Ambientais (Produto)</b>
S.02.005	-	-	A Estação Terrena Brasileira deve suportar as temperaturas externas do local de operação (São José dos Campos).
			<b>Requisitos do Sistema - Configuração (Produto)</b>
S.02.006	RM.01.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve estar projetada com filosofia modular.
S.02.007	-	RS05A	O terraço do prédio onde ficará a Estação Terrena Brasileira deve poder ser penetrado pela estrutura da antena, o local de operação deverá contar com buracos ou canais aptos para incluir as linhas de transmissão.

Fonte: Produção do Autor

### 5.3.1.6. Especificação de requisitos funcionais e de desempenho

A elaboração de uma lista de declarações que serão determinantes para o desenvolvimento do sistema final representa em síntese a análise de requisitos do sistema. A especificação de requisitos funcionais e de desempenho apresenta os resultados e todas as informações adquiridas na análise de requisitos, levando em consideração os requisitos de missão. Estes requisitos são ações que o sistema de interesse deve realizar para conseguir as metas e objetivos, ilustrados na Seção 5.2.3.

A Tabela 5.23 apresenta em resumo alguns requisitos funcionais e de desempenho do sistema 'Estação Terrena'. Os requisitos de maneira global estão especificados no ANEXO D.

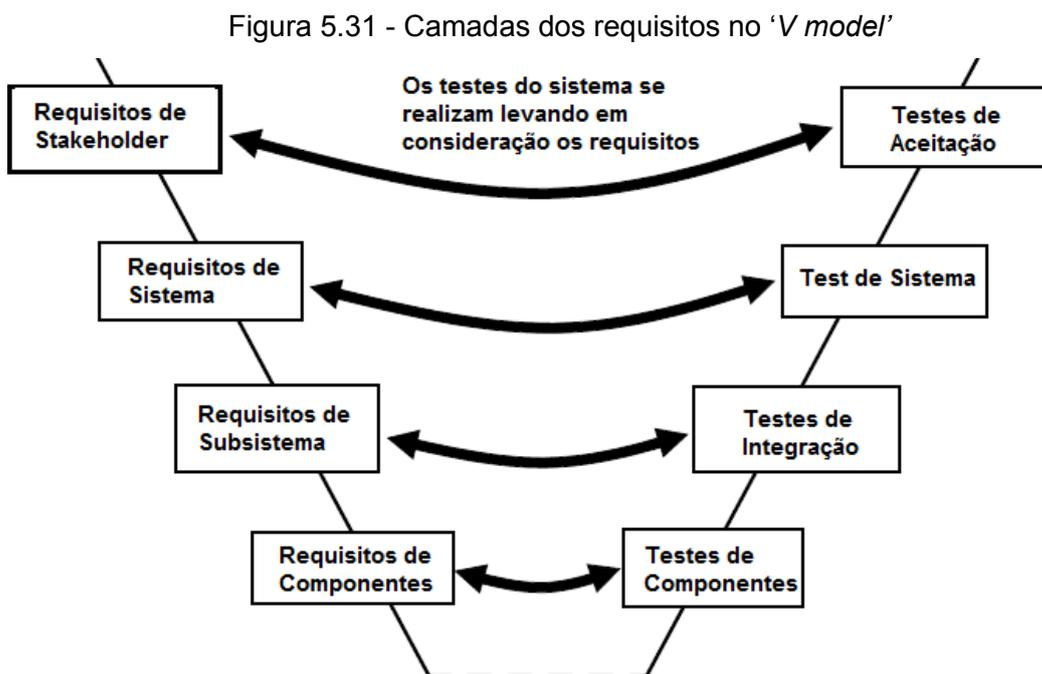
Tabela 5.23 - Exemplo de lista de requisitos funcionais do sistema

ID	Origem	Nec.	Requisitos do Sistema - Apoio Logístico (Produto)
			<b>Requisitos Funcionais (Produto)</b>
S.02.008	RM.04.002	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve receber automaticamente telemetrias ( <i>housekeeping</i> ) contendo informações de medidas dos sensores e dados dos satélites.
S.02.009	RM.04.002	RS05B	A Estação Terrena Brasileira deve receber do centro de missão os comandos serem enviados.
S.02.010	RM.04.002		A Estação Terrena Brasileira deve verificar e executar os comandos para o controle remoto das funções dos satélites, bem como suas configurações e movimentos.
S.02.011	RM.04.002	RS05C	A Estação Terrena Brasileira deve determinar a posição dos satélites e seguir seus movimentos utilizando Informações das posições angulares (TLE) e respectivas velocidades.
S.02.012	RM.04.002	RS05D	A Estação Terrena Brasileira deve agendar automaticamente as passagens do satélite.
S.02.013	RM.04.002	RS05F	A Estação Terrena Brasileira deve recuperar, formatar e transmitir dados da carga útil.
S.02.014	RM.04.002	RS05G	A Estação Terrena Brasileira deve garantir a confiabilidade nas telecomunicações de serviço entre o segmento solo e o segmento espacial.
S.02.015	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve receber telemetria em UHF.
S.02.016	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve receber telemetria em BANDA S.
S.02.017	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve transmitir telecomando em VHF.
S.02.018	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve transmitir telecomando em UHF.
S.02.019	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve realizar medidas de distância.

Fonte: Produção do Autor

Cada requisito está acompanhado por uma série de identificadores, sendo (i) ID: identificação do requisito atual, (ii) origem: requisito de nível superior, e (iii) Nec: necessidade inicial, a qual gerou a cadeia de requisitos. O propósito deste sistema de alocação de algoritmos de identificação é a rastreabilidade do requisito. A rastreabilidade dos requisitos segundo Loureiro (2010), gera benefícios, como maior confiança nos objetivos da missão, capacidade de avaliar o impacto da mudança, melhoria da prestação de contas das organizações subordinadas, capacidade de acompanhar o progresso, e a capacidade de equilibrar o custo contra o benefício.

A Figura 5.31 apresenta as camadas dos requisitos e todas as atividades, tarefas e subtarefas, identificadas e processadas nas etapas anteriores com o fim de estabelecer requisitos. Estes requisitos são necessários para definir o sistema e para realizar a validação e verificação do sistema em cada camada.

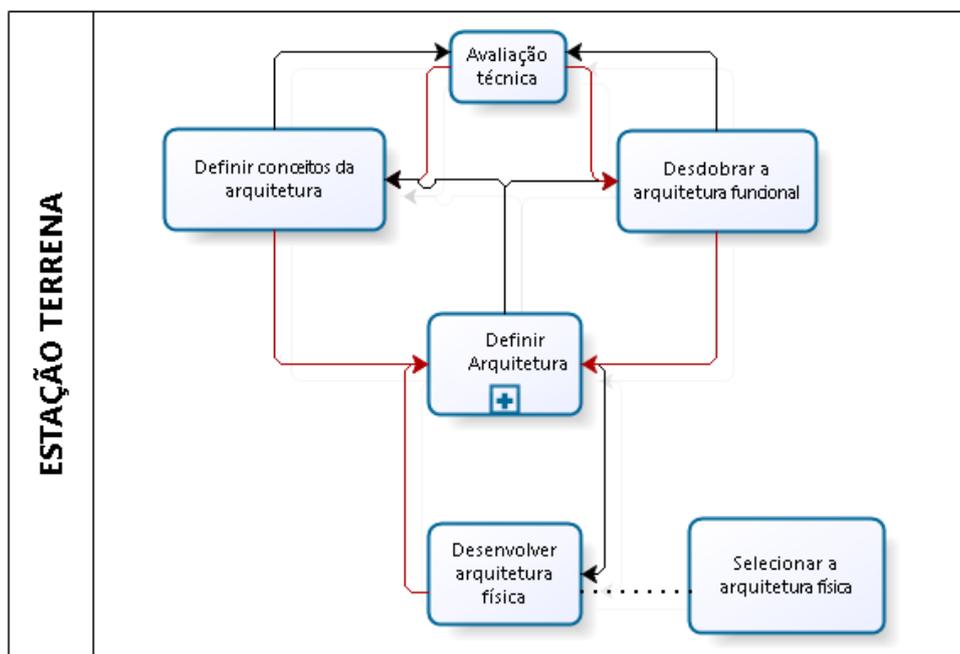


Fonte: Adaptada de Hull et al. (2005)

### 5.3.2. Definição da arquitetura (Definição de subsistemas)

A definição da arquitetura é tarefa da atividade definição do sistema, que por sua vez é composta por três subtarefas, como se apresenta na Figura 5.32: definição dos conceitos da arquitetura, desdobramento da arquitetura funcional e desenvolvimento da arquitetura física. O resultado da definição da arquitetura é a solução do sistema e o ponto final do processo. O foco nesta tarefa é a seleção de uma arquitetura definida por elementos físicos e uma arquitetura definida por funções.

Figura 5.32- Atividade Definição de arquitetura



Fonte: Produção do Autor

Halligan (2014) descreve a arquitetura como o conjunto de elementos de nível inferior que compreendem o sistema, suas características, e seus relacionamentos entre esses elementos. Halligan (2014), também estabelece que existe, comumente, duas formas de ver a arquitetura, sendo:

- a) Arquitetura lógica: em forma de arquitetura funcional, observando o sistema como uma rede de funções que interagem entre si;
- b) Arquitetura física: observando o sistema como uma rede interconectada de componentes físicos.

### **5.3.2.1. Definir os conceitos da arquitetura inicial**

Segundo Loureiro (2012), a atribuição aos elementos do design ocorre quando o elemento funcional determinado pode ser alcançado por itens existentes ou recentemente desenvolvidos, assim os elementos de design são os componentes da arquitetura física do sistema.

Segundo a IEEE (1998), existem esclarecimentos nesta etapa:

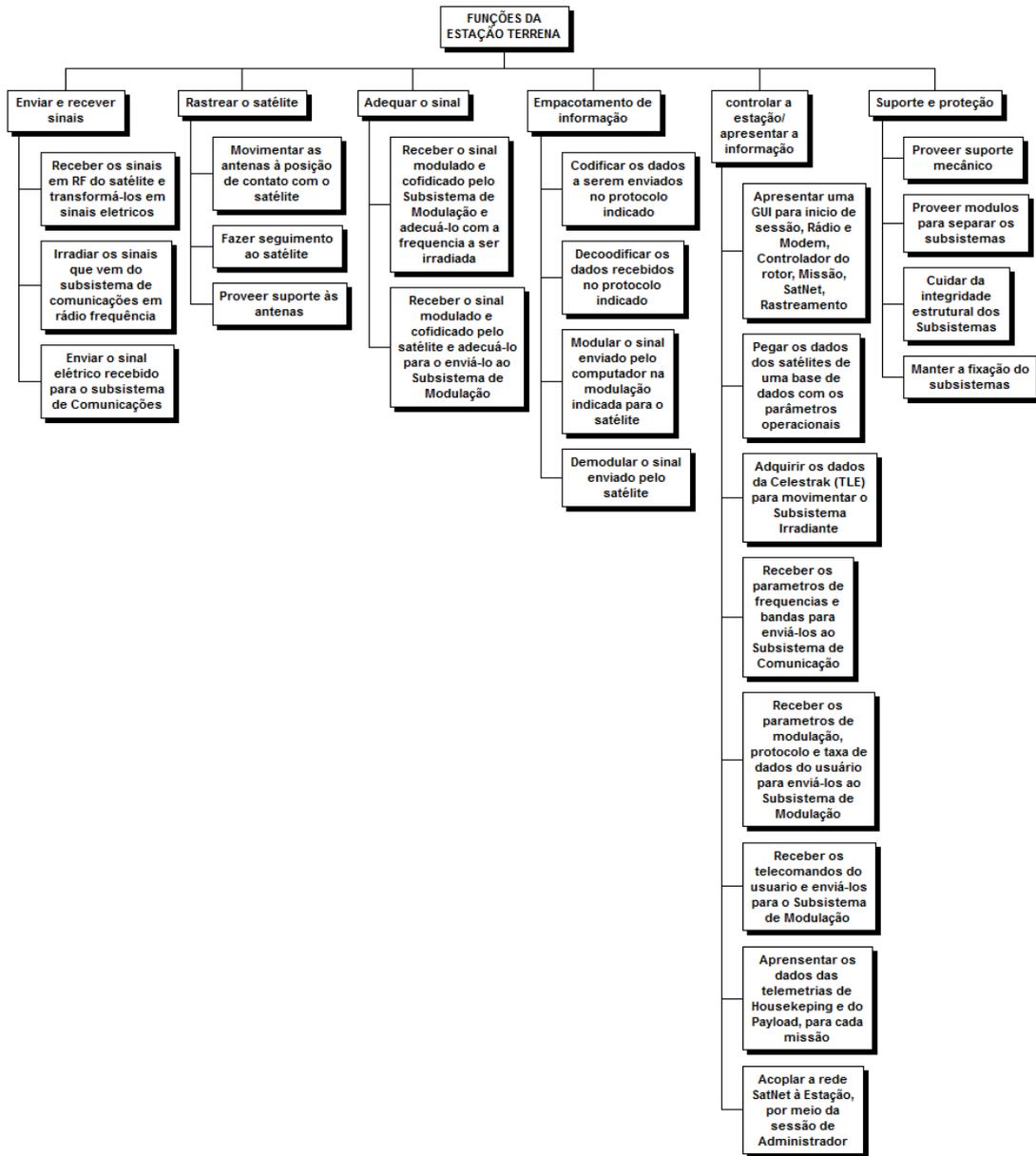
- Deve-se agrupar as funções e sub funções da arquitetura funcional em elementos lógicos funcionais de forma que permita a sua atribuição aos elementos do design.
- Se o elemento funcional requer decomposição para permitir sua alocação, a decomposição funcional deve ser realizada para particionar o elemento funcional o suficiente para permitir a sua divisão entre hardware, software e recursos humanos.
- A rastreabilidade de requisitos é estabelecida e documentada para garantir que todas as funções são alocadas aos elementos do sistema;
- Cada elemento do sistema executa pelo menos uma função.

### **5.3.2.2. Desdobrar a arquitetura funcional**

Loureiro (2012) define umas etapas para desdobrar a arquitetura funcional:

- a) Executar particionamento funcional buscando arquitetura funcional alocável. Apresentado na Figura 5.33.

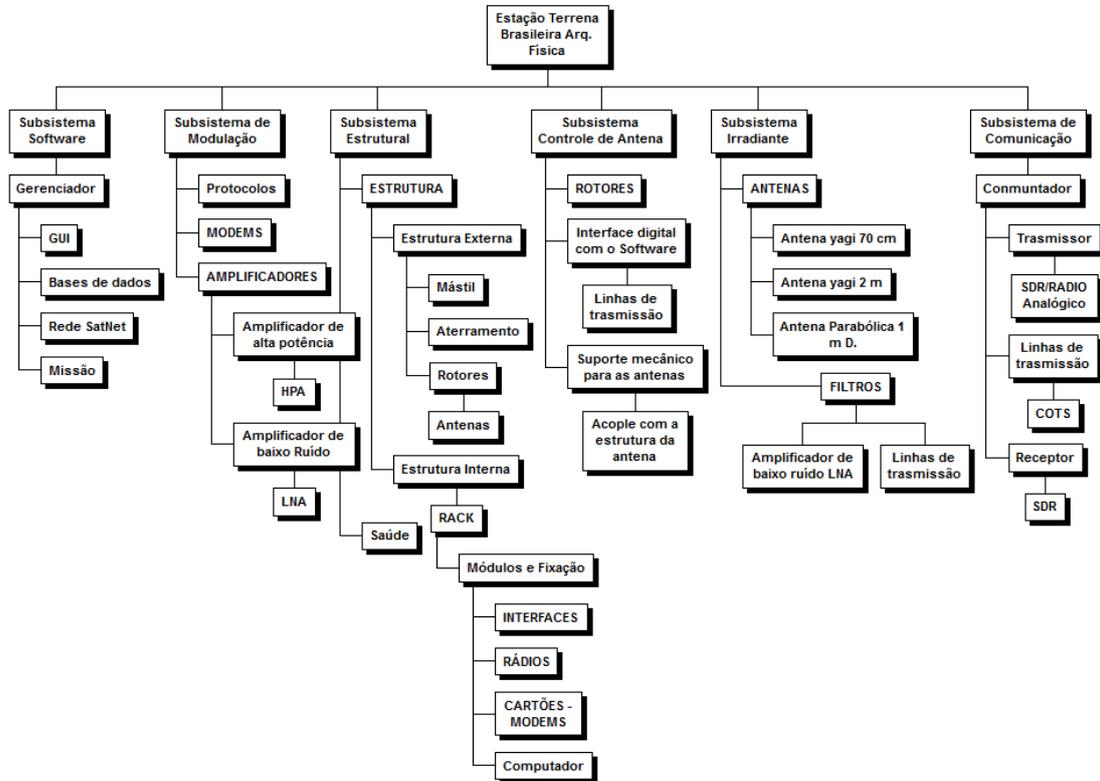
Figura 5.33 - Arquitetura funcional genérica de uma estação terrena – PBS da estação terrena



Fonte: Produção do Autor

b) Desenhar uma arquitetura física genérica, como se apresenta na Figura 5.34.

Figura 5.34 - Arquitetura física genérica de uma estação terrena



Apresenta-se unicamente 3 subsistemas

Fonte: Produção do Autor

c) estabelecer e preencher uma folha de alocação de requisitos. O Departamento de defesa dos Estados Unidos (2001) apresenta uma folha de alocação de requisitos, pode-se estabelecer esse modelo para a estação terrena, apresentada na tabela 5.24

Tabela 5.24 - Folha de alocação de requisitos

Folha de alocação de requisitos		Estação terrena	Identificação do equipamento		
Nº	Função	Requisito	Requisito de infraestrutura	Nomenclatura	Detalhe
F_SI_UHF	Recepção de telemetria	A Estação Terrena Brasileira deve receber telemetria em UHF	Deve ir suportada em uma estrutura	Hw_A_uhf	Antena de UHF Banda de 70 cm

Fonte: Adaptada de DoD (2001)

d) Desenhar um gráfico morfológico, a fim de identificar opções de solução para cada elemento da arquitetura física genérica. Como se apresenta na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 - Diagrama morfológico para o desenvolvimento de uma estação terrena

Comunicação Uplink	Comunicação Downlink	Transceptor	Modem	Energia	Rede de dados, controle distancia	Controle e direcionamento	Estrutura
Nenhum	UHF	Receptor digital	TNC	UPS	Interna própria	Manual	Fija
UHF	VHF	Receptor analógico	Placa de som	Bactéria externa	Interna segura	Automático	Movil
VHF	BANDA S	Transmissor digital	Em software	Alimentação por veiculo	Team viewer	Automático com motor de passo	Modular
BANDA S	BANDA X	Transmissor analógico				Automático com motor servo	
BANDA X		Transceptor digital					
		Transceptor analógico					

Fonte: Adaptada de Loureiro (2012)

d) Realizar análise de decisão, a fim de decidir e escolher qual a opção será a solução para cada elemento da arquitetura física genérica. Na Tabela 5.26, apresenta-se a matriz de análise de decisão para definição dos componentes, isto deve-se repetir para todos os elementos definidos no diagrama morfológico.

Tabela 5.26 - matriz de análise de decisão para definição dos componentes para a estação terrena

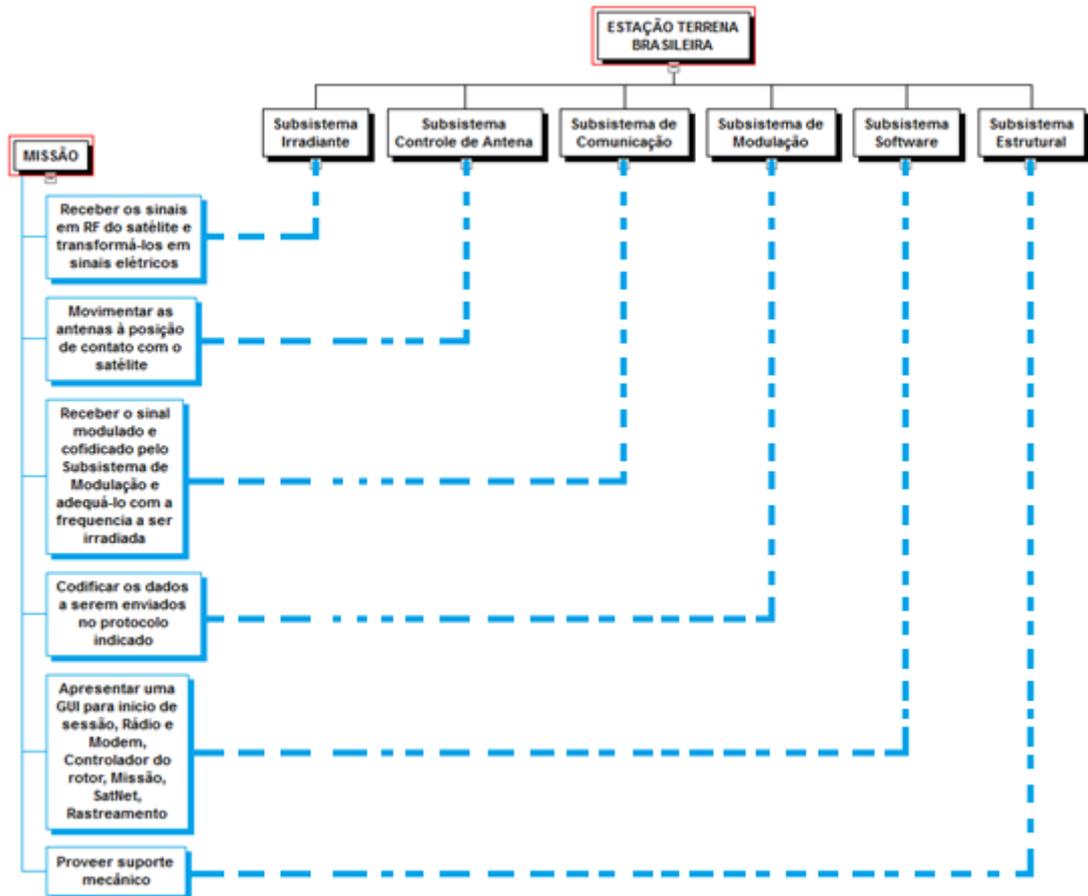
Métricas de desempenho	Importância	Alternativas Transceptor	
		Analógico	Digital
Taxa de transferência de dados	50	40	50
Custo	40	20	40
Quantidade de modos aplicáveis	40	10	40
Massa	10	10	5
Qualidade do sinal	30	25	30
Complexidade	30	30	10
Total	200	145	170

RUIM (< 100) / MEDIO (101-150) / ÓTIMO (>151)

Fonte: Adaptada de Lopes (2015)

f) Preparar um diagrama de interligação da arquitetura física com as funções, como apresenta a Figura 5.35.

Figura 5.35 - Diagrama de interligação da arquitetura

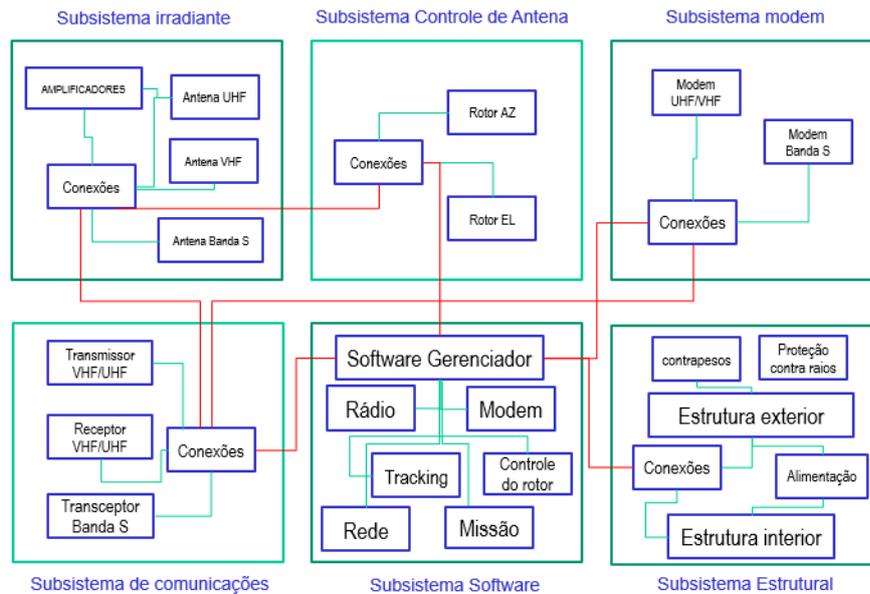


Fonte: Produção do Autor

### 5.3.2.3. Definir arquitetura

Posteriormente das etapas anteriores, das análises e resultados dos requisitos, deve-se desenhar a arquitetura física específica para o produto. A Figura 5.36 apresenta a arquitetura e seus inter-relacionamentos.

Figura 5.36 - Arquitetura definida por diagrama de blocos



Fonte: Produção do autor

A Tabela 5.27 sintetiza o procedimento de definição da arquitetura.

Tabela 5.27 - Procedimento de definição da arquitetura

Tarefa	Subtarefa	Ferramenta/ Método
Definição do sistema	Definição da arquitetura	PBS, WBS, Diagrama de blocos, matriz de decisão.
<b>Definição da arquitetura</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema)	
O que se faz:	Determinar elementos do design por meio das funções e sub funções da arquitetura funcional	
Predecessor	Requisitos de sistema, funções essenciais.	
Tempo	12,5 dias.	

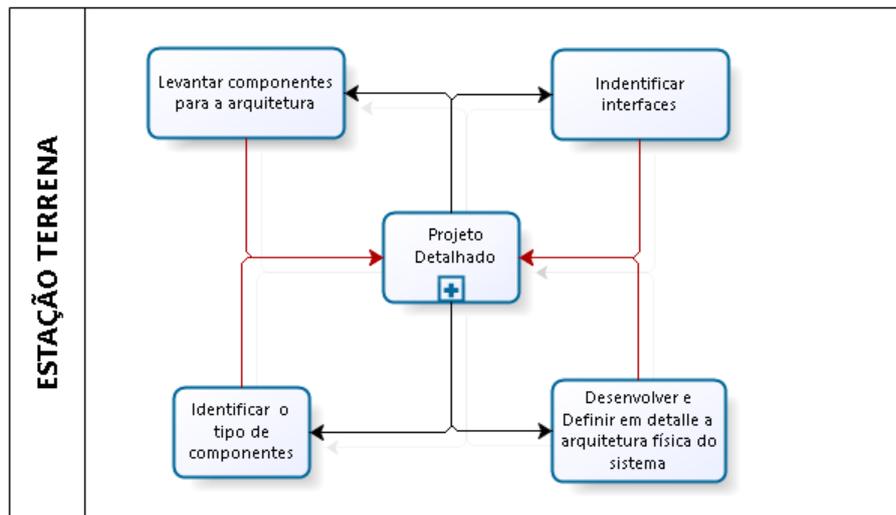
Fonte: Produção do Autor

### 5.3.3. Projeto detalhado

Loureiro (2012), assegura que a arquitetura do sistema é dividida até o nível do item de configuração. O item de configuração é o nível de *design* para o qual se criará uma lista de materiais, ou o nível o qual deve-se gerenciar a configuração do sistema.

As atividades desta tarefa se apresentam na Figura 5.37.

Figura.5.37 - Atividade Detalhamento do projeto



Fonte: Produção do Autor

#### 5.3.3.1. Levantar componentes da arquitetura

Para levantar os componentes da arquitetura deve-se desenhar uma estrutura de divisão do produto (Especificada na Figura 5.34), posteriormente deve-se decidir quais componentes serão desenvolvidos internamente, desenvolvidos externamente, quais serão tipo COTS (comercial da prateleira), ou finalmente quais serão reutilizados por restrições dos *Stakeholders*, procedimento denominado delineamento de especificação de componentes.

- O delineamento de especificações dos componentes deve:
  - a) Especificar componentes humanos: especificando que componente humano executara tarefas que a estação precise para seu

funcionamento, de acordo com o ciclo de vida do produto, determinado nas etapas anteriores, por exemplo:

- Operador da estação
- b) Especificar componentes para reutilização: se o sistema é produto de um subsistema que já existe e este disponibiliza equipamentos, nesta etapa deve-se definir se esses equipamentos serão utilizados no novo sistema, por exemplo:
- Infraestrutura do INPE
- c) Especificar componentes para desenvolvimento interno: os componentes para desenvolvimento interno são produto do desempenho da organização e dos cenários do ciclo de vida do produto, aqui deve-se estabelecer a capacidade operacional da organização, por exemplo:
- Software de missão
  - Software de gerenciamento
  - Estrutura mecânica exterior
  - Estrutura de suporte interior
- d) Especificar componentes para desenvolvimento externo: os componentes para desenvolvimento externo são produto do que a organização de desenvolvimento não consegue criar ou fazer, devido a maturidade do produto, além de não ser produtos comerciais que possam-se encontrar no mercado, no caso da estação terrena, estes componentes podem ser:
- Transceptores digitais.
  - Estruturas de suporte.
- e) Especificar COTS: no caso da estação terrena, em sua maioria, os componentes são comerciais de prateleira, neste caso, deve-se especificar esse tipo de componentes, sendo:
- SDR
  - Computador
  - Placa de modem

- Antenas
- Amplificadores
- Filtros de sinal

f) Especificar interfaces: após a identificação dos elementos deve-se especificar as interfaces, a Figura 5.38 apresenta o uso do diagrama N2 para estabelecer as interfaces, mecânicas, de dados ou de fornecimento de energia.

Figura 5.38 - Diagrama N2 para identificar interfaces

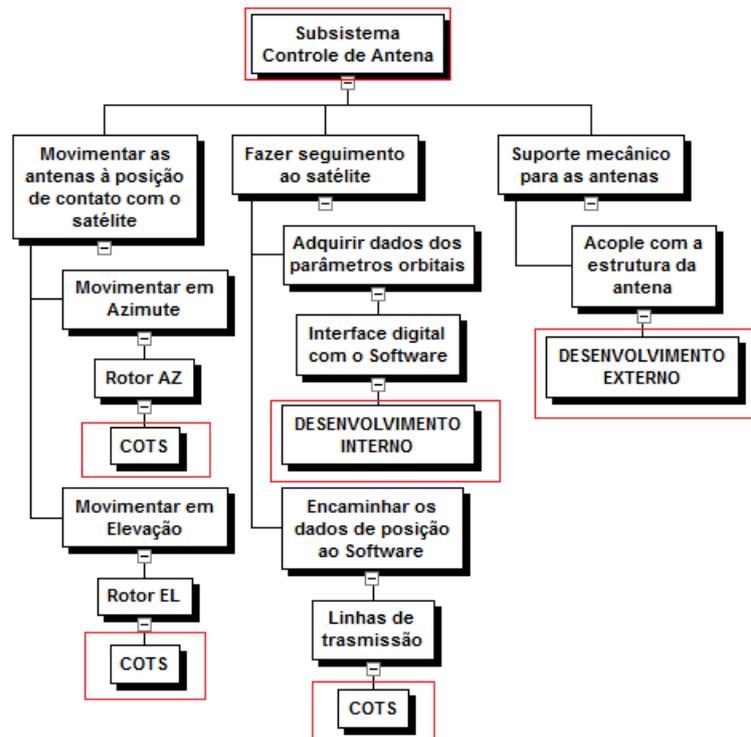
Gerenciador	INTERFACE DE DADOS	INTERFACE DE DADOS	INTERFACE DE DADOS		INTERFACE MECÂNICA
INTERFACE DE DADOS	Modem	INTERFACE DE DADOS	INTERFACE DE DADOS		INTERFACE DE ENERGIA
INTERFACE DE DADOS		Transceptor	INTERFACE DE DADOS		INTERFACE DE ENERGIA
INTERFACE DE DADOS	INTERFACE DE DADOS	INTERFACE MECÂNICA	Controle de Antena	INTERFACE DE DADOS	INTERFACE DE ENERGIA
		INTERFACE DE DADOS	INTERFACE MECÂNICA	Irradiante	INTERFACE DE ENERGIA
INTERFACE MECÂNICA	Estrutura				

Fonte: Produção do Autor

### 5.3.3.2. Desenvolver sistema físico detalhado

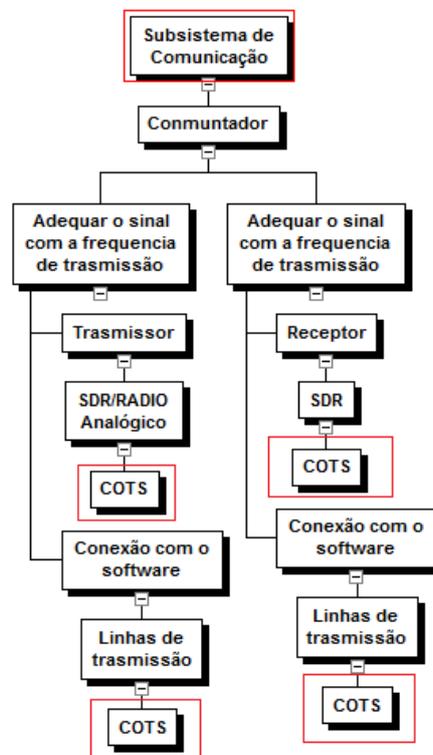
O sistema físico detalhado deve ser consistente com a arquitetura física descrita nos diagramas de fluxo de arquitetura e no diagrama de interconexão da arquitetura. Esta etapa deve indicar em um gráfico do produto a característica do componente. As Figuras, 5.39, 5.40, 5.41, 5.42, 5.43, e 5.44 apresentam as características dos componentes a partir de suas funções. Isto representa o fim do processo de referência.

Figura 5.39 - Característica dos componentes do subsistema de controle de antena



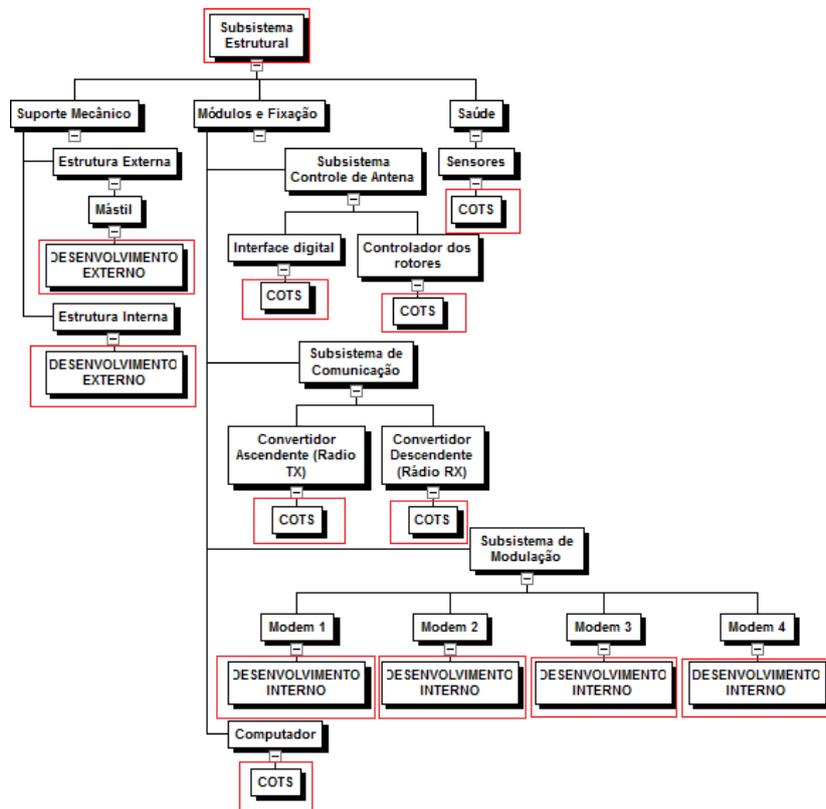
Fonte: Produção do Autor

Figura 5.40 - Característica dos componentes do subsistema de comunicação



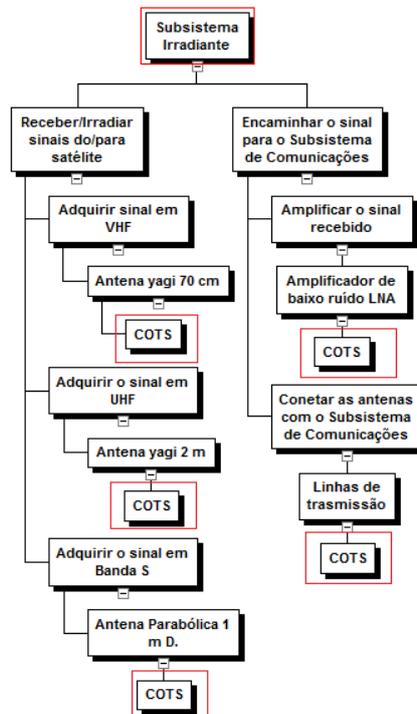
Fonte: Produção do Autor

Figura 5.41 - Característica dos componentes do subsistema estrutural



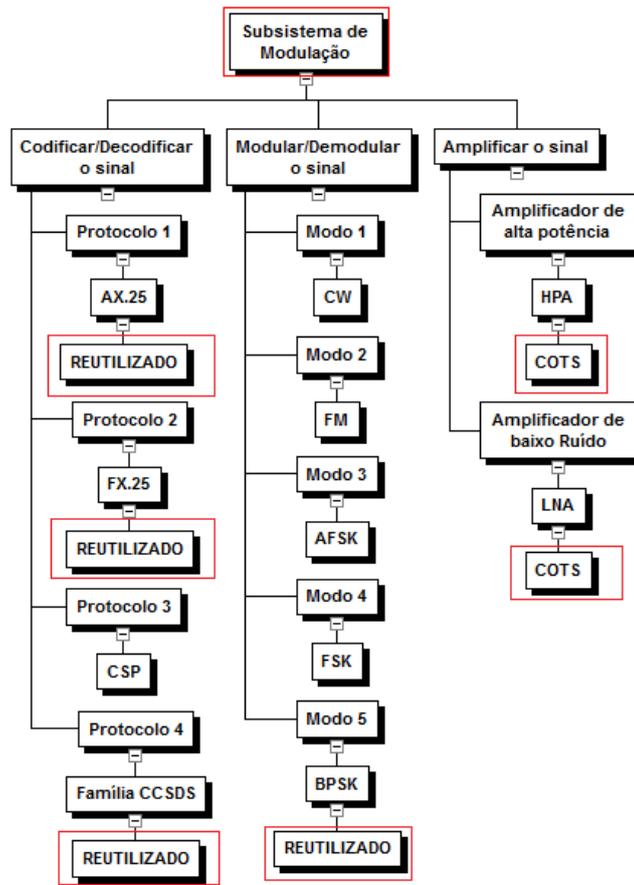
Fonte: Produção do Autor

Figura 5.42 - Característica dos componentes do subsistema irradiante



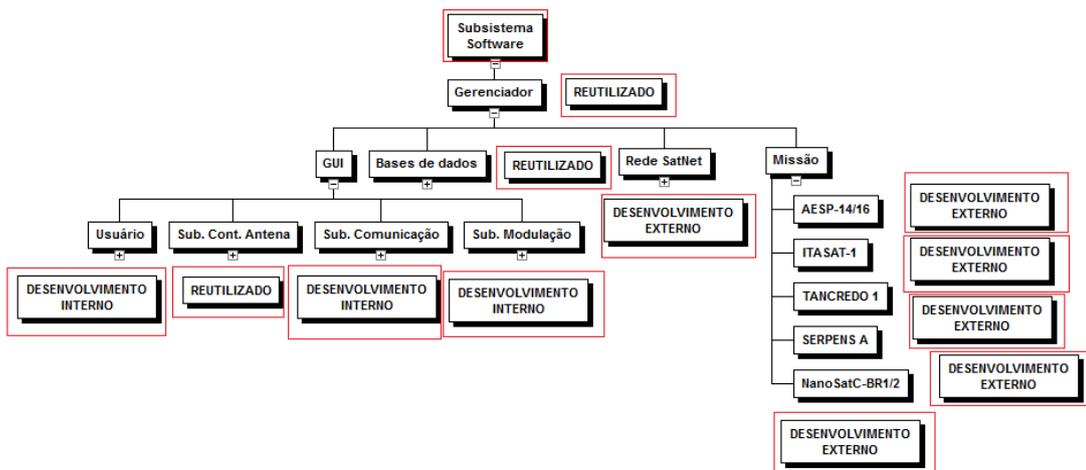
Fonte: Produção do Autor

Figura 5.43 - Característica dos componentes do subsistema de modulação



Fonte: Produção do Autor

Figura 5.44 - Característica dos componentes do subsistema software



Fonte: Produção do Autor

Assim tendo a especificação dos componentes, realiza-se um documento que especifique as soluções desses componentes, e os fabricantes, como apresenta a Tabela 5.28.

Tabela 5.28 - Especificações dos componentes

<b>Componente</b>	<b>Especificação</b>	<b>Fabricante</b>
Estrutura	-	Artesanal
Antena UHF/VHF	SATPACK #1 EB144/EB432/CROSSBoom	M2 ANTENNAS SYSTEMS
Amplificador VHF	MSP144VDG-160	Ar2 Communications Products
Amplificador UHF	MSP432VDG-160	Ar2 Communications Products
Antena 3	MESH DISH KIT 1.9 METER	RF HAMDESIGN
Down Converter	UEK 3000-2 Converter 2400/144 MHz	SSB

Fonte: Produção do Autor

A Tabela 5.29 apresenta o procedimento do projeto detalhado, e finalmente na Tabela 5.30 se apresentam as entradas e saídas do processo de referência completo, com a abordagem *Top-Down*.

Tabela 5.29 - Procedimento de projeto detalhado

<b>Tarefa</b>	<b>Subtarefa</b>	<b>Ferramenta/ Método</b>
Definição do sistema	Projeto detalhado	PBS
<b>Projeto detalhado</b>		
Quem faz:	Engenheiro de sistemas. (Encarregado do Sistema)	
O que se faz:	Determinar características dos componentes. Especificação de componentes e equipamentos	
Predecessor	Elicitação de necessidades de Stakeholder.	
Tempo	12,5 dias.	

Fonte: Produção do Autor

Tabela 5.30 - Síntese da abordagem *Top-Down*

PROCESSO		
ENTRADA	ATIVIDADE	SAÍDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação do problema.</li> <li>• Proposta de um sistema</li> </ul>	Identificar <i>Stakeholders</i> (Análise de <i>Stakeholders</i> de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Classificação de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Lista de necessidades de <i>Stakeholders</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Classificação de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Necessidades de <i>Stakeholders</i></li> </ul>	Análise de necessidades (Análise de <i>Stakeholders</i> de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de Interesses de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Lista de Requisitos de <i>Stakeholders</i></li> <li>• MoEs e plano de Validação</li> <li>• Conceito de Operação</li> <li>• Arquitetura operacional do Sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de <i>Stakeholders</i></li> </ul>	Obter documentação disponível (Análise de <i>Stakeholders</i> de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinamento de requisitos de <i>Stakeholders</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidades de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Interesses de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Requisitos de <i>Stakeholders</i></li> </ul>	Análise de Medidas de efetividade (Análise de <i>Stakeholders</i> de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinamento de requisitos de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Lista de Requisitos de missão</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Requisitos de missão</li> </ul>	Análise do ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitetura e conceito operacional da missão</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitetura e conceito operacional da missão</li> <li>• Requisitos de missão</li> </ul>	Análise funcional (Análise de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos e seus requisitos</li> <li>• Interfaces entre elementos</li> <li>• Refinamento de requisitos de missão</li> <li>• CONOPS</li> <li>• Modos de operação</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitetura e conceito operacional da missão</li> <li>• Requisitos de missão</li> </ul>	Alternativas do conceito operacional (Análise de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluções alternativas</li> <li>• Refinamento de requisitos de missão</li> </ul>

(Continua)

Tabela 5.31 - Continuação

PROCESSO		
ENTRADA	ATIVIDADE	SAÍDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinamento de requisitos de missão</li> <li>• CONOPS</li> <li>• Modos de operação</li> </ul>	Análise de operação da missão (Análise de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos do sistema</li> <li>• Contexto e cenários</li> <li>• Circunstancias e modos</li> <li>• Funções essenciais</li> <li>• Funções do sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos do sistema</li> <li>• Contexto e cenários</li> <li>• Circunstancias e modos</li> <li>• Funções essenciais</li> <li>• Funções do sistema</li> </ul>	Elementos da missão (Análise de missão)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos do sistema</li> <li>• Funções em alto nível</li> <li>• Arquitetura do sistema em alto nível</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decomposição da análise de operação</li> <li>• Requisitos do sistema</li> <li>• Funções em alto nível</li> <li>• Arquitetura do sistema em alto nível</li> </ul>	Identificar as funções dos elementos da missão (Análise de arquitetura operacional)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos da missão</li> <li>• Arquitetura do sistema em alto nível</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos do sistema</li> <li>• Arquitetura do sistema em alto nível</li> <li>• Soluções alternativas</li> </ul>	Identificar alternativas de solução (Análise de arquitetura operacional)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos do sistema</li> <li>• Funções essenciais</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de missão em alto nível</li> <li>• Refinamento da arquitetura do sistema</li> </ul>	Identificação de requisitos de missão (Análise de arquitetura operacional)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de Requisitos de missão</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos da missão</li> <li>• Arquitetura do sistema em alto nível</li> </ul>	Identificação das interfaces dos elementos da missão (Análise de arquitetura operacional)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitetura e conceito operacional da missão</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de Stakeholders</li> <li>• Classificação de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Necessidades de <i>Stakeholders</i></li> <li>• Requisitos de <i>Stakeholder</i></li> <li>• Requisitos de missão</li> </ul>	Identificação de <i>Stakeholder</i> de sistema (Análise de requisitos de sistema)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de sistema</li> </ul>

(Continua)

Tabela 5.32 - Continuação

PROCESSO		
ENTRADA	ATIVIDADE	SAÍDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parâmetros da estação;</li> <li>• Função;</li> <li>• Localização;</li> <li>• Limites do sistema.</li> </ul>	Definição de requisitos funcionais (Análise de requisitos de sistema)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinamento de requisitos de sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de sistema</li> <li>• Arquitetura e conceito operacional da missão</li> </ul>	Análise de funções essenciais (Análise de requisitos de sistema)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de Subistema</li> <li>• Funções em alto nível do sistema</li> <li>• Análise de cenários e contexto</li> <li>• Análise de modos e estados</li> <li>• Funções essenciais do sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de sistema</li> <li>• Arquitetura e conceito operacional da missão</li> <li>• Funções do sistema</li> <li>• Análise de cenários e contexto</li> <li>• Análise de modos e estados</li> <li>• Funções essenciais do sistema</li> </ul>	Definição de requisitos funcionais e de desempenho (Análise de requisitos de sistema)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de sistema</li> <li>• Arquitetura do sistema</li> <li>• Requisitos de alto nível dos subsistemas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de sistema</li> <li>• Arquitetura do sistema</li> <li>• Requisitos de alto nível dos subsistemas.</li> </ul>	Definição de conceitos da arquitetura (Projeto detalhado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de Subistema</li> <li>• Decomposição de elementos físicos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de Subistema</li> <li>• Análise de cenários e contexto</li> <li>• Análise de modos e estados</li> <li>• Funções essenciais do sistema</li> </ul>	Desdobramento da arquitetura funcional (Projeto detalhado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de Subistema</li> <li>• Refinamento da arquitetura do sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decomposição de elementos físicos</li> </ul>	Desenvolvimento de arquitetura física (Definição da arquitetura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de Subistema</li> <li>• Refinamento da arquitetura do sistema</li> </ul>

(Continua)

Tabela 5.33 - Conclusão

PROCESSO		
ENTRADA	ATIVIDADE	SAÍDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de decisão</li> <li>• Requisitos de Subsistema</li> <li>• Refinamento da arquitetura do sistema</li> </ul>	Levantamento de componentes (Definição da arquitetura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinamento de requisitos de Subsistema</li> <li>• Refinamento da arquitetura do sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de decisão</li> <li>• Requisitos de Subsistema</li> <li>• Arquitetura do sistema</li> </ul>	Identificação do tipo de componentes (Definição da arquitetura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos de Subsistema</li> <li>• Refinamento da arquitetura do sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de decisão</li> <li>• Requisitos de Subsistema</li> <li>• Arquitetura do sistema</li> </ul>	Identificação de interfaces (Definição da arquitetura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinamento de requisitos de Subsistema</li> <li>• Refinamento da arquitetura do sistema</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de decisão</li> <li>• Requisitos de Subsistema</li> <li>• Arquitetura do sistema</li> </ul>	Desenvolvimento da arquitetura física detalhada do sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinamento de requisitos de Subsistema</li> <li>• Definição da arquitetura do sistema</li> </ul>

Fonte: Produção de Autor



## 6 CASO DE ESTUDO: ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo denominado Estação Terrena Brasileira, para tal fim foi tomado o processo gerado no Capítulo 5 e exercitado mediante a exemplificação das necessidades de cinco satélites desenvolvidos no Brasil.

### 6.1. CubeSats brasileiros

A razão pela qual o processo de referência de desenvolvimento de estações terrenas para Pico e Nanossatélites tem validade, é a quantidade de projetos relativos a aplicação deste tipo de satélites, como foi mencionado no Capítulo 1. Atualmente os projetos com Pico e Nanossatélites superam os 20 em América Latina. Com o fim de estabelecer uma estação terrena padrão para rastrear e controlar os Pico e Nanossatélites brasileiros, foram detalhados os parâmetros dos projetos que têm sido realizados no país.

Dos 20 projetos até 2015, cinco desses correspondem a projetos desenvolvidos no Brasil. Com isto pode-se observar o avanço no desenvolvimento deste tipo de satélites e a necessidade de criar estações compatíveis não somente com o satélite do projeto, pelo contrário estações abertas com a capacidade de rastrear satélites que orbitam a terra, satélites que estão em desenvolvimento e os satélites futuros do continente americano.

Dos cinco satélites de pequeno porte, quatro desses são do tipo *CubeSat*, e um deles é do tipo *TubeSat*. Cada projeto é diferente do outro, os sistemas foram projetados ou comprados por cada equipe, o que caracteriza a amplitude de características as quais devem ser suportadas pela estação terrena, a Tabela 6.1 apresenta as características técnicas dos Pico e Nanossatélites brasileiros, lançados ou ainda em desenvolvimento.

Tabela 6.1 - Pico e Nanossatélites brasileiros

Satélite	NanosatC-BR1*	AESP-14*	Serpens-SB*	Serpens-SA*	TANCREDO-1	ITASAT
Unidades	1U	1U	1.5U	1.5U	1	6
Frequência Up (Mhz)	435.131	145800	145980	145980	437500	145800
Frequência Down (Mhz)	145.686	437500	437365	437365	437500	437500
Potencia out (Watt)	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,2
Protocolo de com.	AX.25	AX.25	PUS/CSP	AX.25	AX.25	AX.25
Modulação	BPSK-AFSK	G3RUH FSK	MSK	FSK	AFSK/FM	AFSK/FM
Taxa (bps)	1200/9600 - 1200	9600	1200/9600	9600	1200	1200

\*: *CubeSats* Lançados

Fonte: Produção do autor.

## 6.2. Estação terrena brasileira

O projeto ETB foi idealizado como resultado do auge das missões espaciais com Pico e Nanossatélites no Brasil. Após o lançamento do satélite AESP-14, observou-se a necessidade de contar com um segmento solo eficiente de baixo custo e que realmente suportara a operação dos satélites.

Motivados pela ideia de gerar uma estação com características similares de desenvolvimento como as do *CubeSat* AESP-14, decidiu-se recriar uma simulação de um projeto de estação terrena multimissão, especificamente para a capacitação do grupo de desenvolvimento de Pico e Nanossatélites do INPE no segmento solo.

O sistema a desenvolver é uma estação terrena, com base aos parâmetros dos cinco Pico e Nanossatélites referenciados, destacam-se cinco aspectos significativos que a estação deverá cumprir:

- Desenvolver a estação dentro de um projeto de Pico e Nanossatélites em até dois anos;
- Utilizar um baixo orçamento.
- Usar componentes COTS
- Desenvolver um sistema com filosofia modular e flexibilidade de operação
- Usar um processo de Engenharia de Sistemas

### 6.3. **Aplicação do processo**

O processo de desenvolvimento de sistemas do LSIS foi modificação adaptado de acordo com as necessidades do Projeto ETB, o processo permite identificar tarefas e atividades, além de definir documentos para gerar a estação.

O processo foi aplicado simuladamente, contudo as necessidades saíram do projeto AESP-14 e as entrevistas com os stakeholders foram reais.

A aplicação do processo gerou cinco documentos, detalhados nos anexos deste documento, estes foram produto da aplicação e avaliação, análises e sínteses das etapas apresentadas no Capítulo 5. Os documentos gerados são:

- a) DOC (LSIS-001) ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA - Análise dos Stakeholders da Missão e Requisitos da Missão
- b) DOC (LSIS-002) ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA - Análise da Missão
- c) DOC (LSIS-003) ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA - Descrição da Arquitetura Operacional da Missão

- d) DOC (LSIS-004) ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA - Requisitos de Sistema
- e) DOC (LSIS-005) ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA - Definição dos Requisitos de Sistema
- f) DOC (LSIS-SEP-01) ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA – Plano de Engenharia de Sistemas

#### 6.4. Resultados da aplicação do processo

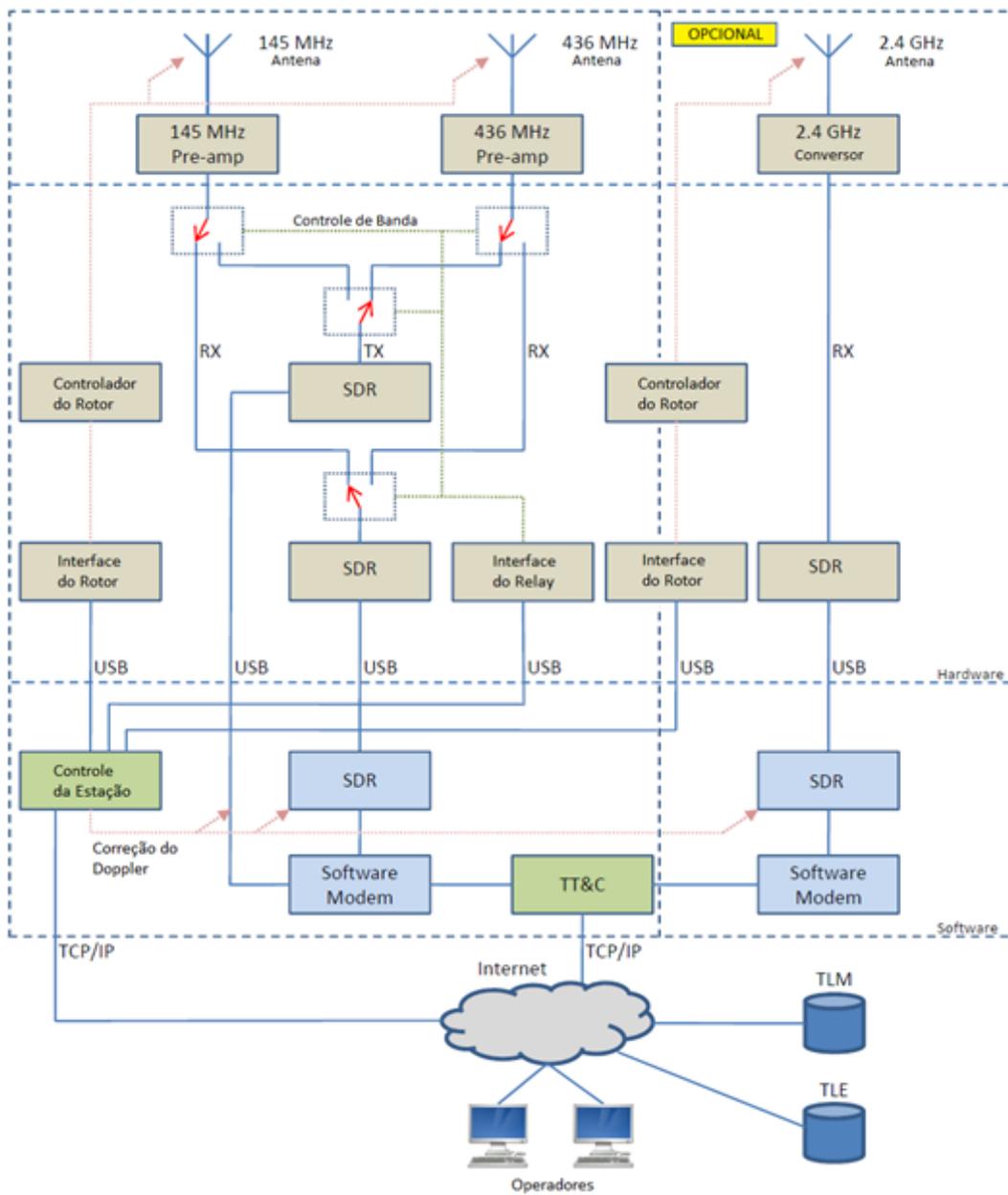
O resultado da aplicação do processo é mais do que o produto em si (ETB), é a possibilidade de replicação e o aprendizado para o desenvolvimento, isto quer dizer que, nos projetos com Pico e Nanossatélites pode-se mudar o paradigma de comprar a estação terrena ou desenvolvê-la com a união de componentes, já que essa união de componentes, primeiro leva uma análise prévio que neste a análise feita por meio da engenharia de sistemas. Uma possível arquitetura que cumpre com os requisitos definidos com o processo se apresenta na Tabela 6.2, e na Figura 6.1.

Tabela 6.2 - Especificação de componentes da ETB

<b>Componente</b>	<b>Especificação</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Custo</b>
Estrutura	-	Artesanal	500
Antena UHF/VHF	SATPACK #1 EB144/EB432/CROSSBoom	M2 ANTENNAS SYSTEMS	489,99
Amplificador VHF	MSP144VDG-160	Ar2 Communications Products	239
Amplificador UHF	MSP432VDG-160	Ar2 Communications Products	229,95
Antena 3	MESH DISH KIT 1.9 METER	RF HAMDESIGN	361,86
Down Converter	UEK 3000-2 Converter 2400/144 MHz	SSB	506
Rotor e Interface 1	GS-5500	Yaesu	750
Rotor e Interface 2	GS-5500	Yaesu	750
SDR Tranceiver	USRP B200	Ettus Research	893
SDR Receiver	AIRSPY R2 SDR	AIRSPY	199
Interface do Relay	CX-230	TOYO TSUSHO CO LTD	79,00
Software Gerenciador	Plan 73	PY2SDR	0
Software de rádio	SDR SHARP	AIRSPY	0
Software de Modem 1	-	Artesanal	0
Software de Modem 2	-	Artesanal	0
Software de missão	-	Cada Satélite	0
Vários	Linhas de transmissão, conectores.		400
<b>Total</b>		<b>19,400 BRL</b>	<b>\$4907</b>

Fonte: Produção do autor.

Figura 6.1- Arquitetura física da ETB



Fonte: Adaptada de AMSAT-BR (PEREIRA, 2015)



## 7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

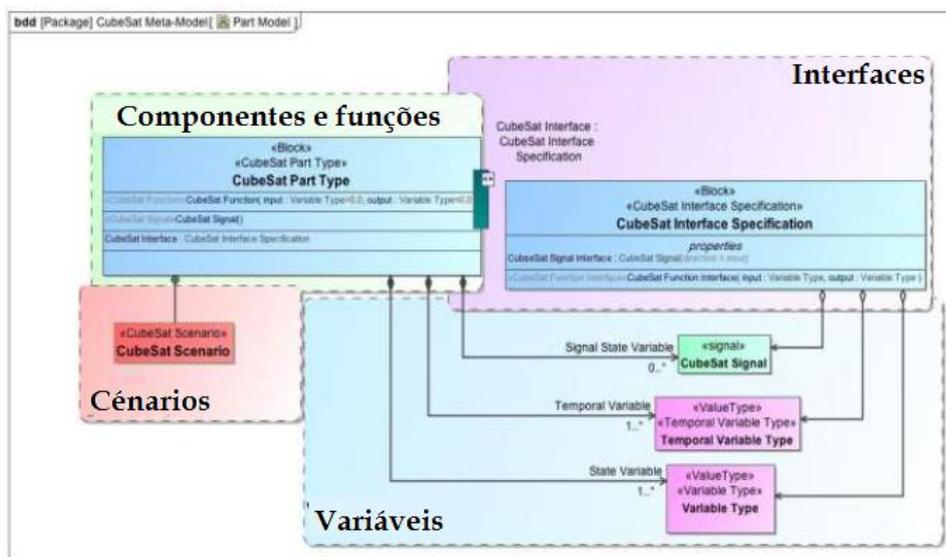
Este capítulo apresenta a discussão das contribuições do trabalho por meio de comparações realizadas com as referências apresentadas no Capítulo 3, Seção 3.1 frente ao processo proposto do Capítulo 4 e do Capítulo 5, e ao exemplo de aplicação do Capítulo 6.

### 7.1. Contribuição do processo proposto em relação à revisão bibliográfica

#### 7.1.1. Projeto RADIO AURORA EXPLORER

O *framework* utilizado no projeto RAX, referência que desenvolve além do satélite a estação terrena, modela o segmento lançador, o segmento espacial e o segmento solo. O meta-modelo desenvolvido por meio da metodologia MBSE permite criar uma base para desenvolver projetos com características similares. A maior vantagem do uso da metodologia MBSE é a atualização das características dos sistemas e suas interfaces por meio de mudanças instantâneas nos modelos. Na Figura 7.1 se apresenta o *framework*, onde pode-se estabelecer um marco global do projeto, por meio das análises dos cenários do ciclo de vida, das interfaces, das variáveis e finalmente das análises de componentes e suas funções.

Figura 7.1- Framework do projeto RAX



Fonte: Adaptada de Spangelo (2012)

Este *framework* pode ser aplicável para missões *CubeSat* genéricas, porém não contempla nem detalha as análises para a estação terrena. No que diz respeito ao segmento solo, o *framework* estabelece que este segmento sempre cumprirá a mesma função, da mesma forma do que o processo proposto, comunicação e rastreamento, não obstante, a estação somente é especificada como rádio e antena.

A especificação e detalhe do segmento solo do processo proposto no contexto desta dissertação é a principal contribuição em relação ao meta-modelo do RAX. As análises nesses aspectos do processo de referência para o desenvolvimento de estações terrenas são muito mais abrangentes e particulares, criando maior entendimento do sistema de estação terrena para os desenvolvedores, além de especificar os componentes e as funções da estação em níveis de sistema e subsistema.

O *framework* do projeto RAX, é uma boa opção para detalhar os componentes e as funções de uma missão espacial genérica, porém não fornece informação suficiente relacionado ao detalhamento de cada etapa ou atividade, motivo pelo qual é difícil para estabelecer uma comparação significativa com o processo proposto nesta dissertação.

### **7.1.2. Processo de desenvolvimento da arquitetura de *CubeSats***

O processo de desenvolvimento da arquitetura de pico e nanossatélites proposto por Lopes (2015) contempla todas as fases de desenvolvimento de um sistema abordadas pela Engenharia de Sistemas, possibilitando sua utilização por estudantes e desenvolvedores de pico e nanossatélites. Também inclui o desenvolvimento de estações terrenas, no que diz respeito à comunicação com o satélite, porém, não estabelece a arquitetura do segmento solo. A contribuição do processo exclusivo para estações terrenas foca-se nas análises exclusivas, isto incrementa o nível de detalhamento de requisitos e retroalimenta o processo de desenvolvimento de um projeto de Pico e Nanossatélites.

Além do detalhamento da estação terrena, o processo proposto neste documento pode criar mais liberdade na concepção do satélite, pois ao contar

com mais possibilidades de protocolos de comunicação, taxas e modos de transmissão de dados por parte do segmento solo, diferentes às usadas até o momento, podem-se estabelecer mais alternativas na hora do desenvolvimento das características operacionais do segmento espacial.

Finalmente o processo proposto tem como característica fundamental sua aplicação no desenvolvimento de estações terrenas para Pico e Nanossatélites, cujo desenvolvimento tem peculiaridades específicas quando comparado ao desenvolvimento de missões tradicionais com satélites de pequeno porte apresentada por meio dos projetos RAX e AESP-14. As peculiaridades são listadas a seguir:

- Foco no sistema solo: o processo de referência apresenta com detalhes o procedimento para desenvolver especificamente o sistema de estação terrena.
- Restrições de comunicação: poucos projetos estabelecem requisitos quanto as restrições das organizações de frequências. Dentro do processo proposto, aplicado no Capítulo 6, estabelecem-se requisitos deste tipo, proporcionando uma visão macro de uma estação terrena.
- Flexibilidade de operação: para os desenvolvedores de projetos que contemplem a Engenharia de Sistemas no desenvolvimento das estações terrenas, porém que estejam aprendendo a aplicar a abordagem, é muito difícil aplicar o MBSE. Razão pela qual o processo proposto simplifica o trabalho do desenvolvedor, enquanto aprende os passos para aplicar a Engenharia de Sistemas no desenvolvimento.
- Ferramenta educacional: além de proporcionar um guia para o desenvolvimento de um sistema, por meio da Engenharia de Sistemas, o processo proposto converte-se uma ferramenta de ensino e formação de recursos humanos no setor aeroespacial, especificamente no segmento solo.
- Flexibilidade de missão: da mesma forma que é aplicável o *framework* do projeto RAX e o processo do AESP-14 em projetos *CubeSat*, é

aplicável o processo proposto para qualquer projeto que contemple o desenvolvimento de uma estação terrena, salvo adaptações quando se fizerem necessárias, neste caso, devem ser feitas manualmente por meio dos documentos de requisitos.

- **Padronização:** o processo proposto, por meio de sua aplicação, estabelece que é melhor pensar em padronizar os componentes da estação e sua metodologia de desenvolvimento, do que realizar uma estação multimissão, porém por meio do processo e das necessidades dos projetos pode-se adaptar uma estação adequada às duas alternativas.

### **7.1.3. Contribuição do processo proposto em relação às referências tradicionais**

O desenvolvimento de um processo de referência customizado é necessário devido à especificidade do sistema de comunicação pesquisado. Em sistemas onde a complexidade, o custo e o risco de insucesso da missão são grandes, o uso de processos como os da NASA, ESA e DoD, apresentados no Capítulo 2, Seção 2.5.5.3, se faz necessário. Porém para sistemas classificados como experimentais ou de baixo custo, como no caso de estação terrena para satélites de órbita baixa e curto tempo de vida, é possível customizar o processo e adaptá-lo às necessidades próprias.

Este trabalho contribuiu com um processo de desenvolvimento de uma estação terrena que, apesar de contemplar somente as fases 0, A e B do ciclo de vida, gera normas, procedimentos, detalhes e documentos que farão com que a estação possa ser replicável, além da possibilidade de ser adaptável às necessidades de projetos com particularidades e características diferentes.

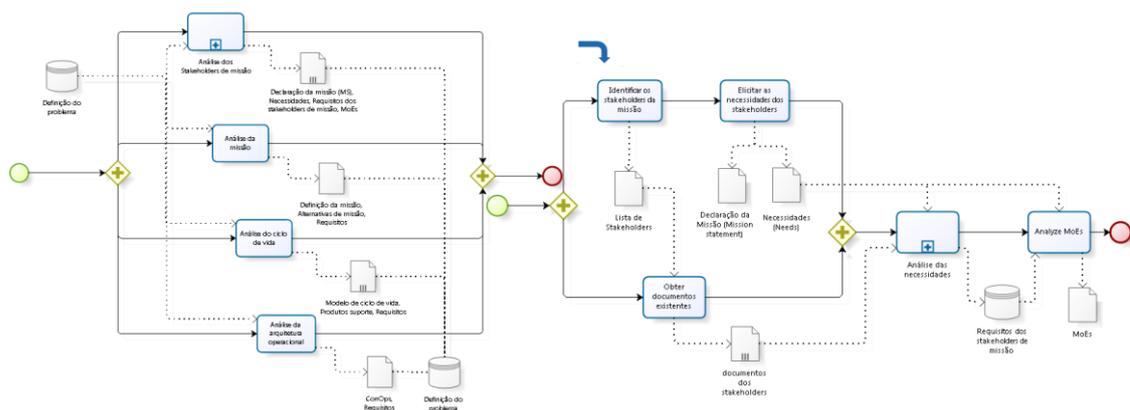
Finalmente o ganho em ter um processo adaptado, em vez de aplicar os processos tradicionais, é a ordem da execução de tarefas, a simplicidade de sua estrutura visual, a possibilidade de rastrear requisitos para identificar erros nos sistemas e subsistemas, ao mesmo tempo realizar mudanças, e finalmente a possibilidade de reusar processo em outros projetos pelas vantagens anteriormente citadas.

## 7.2. Contribuição do processo proposto em relação à abordagem do LSIS

O processo de referência proposto é uma adaptação do processo do Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas (LSIS) para sistemas de estação terrena de Pico e Nanossatélites. Basicamente é uma outra maneira de observar e aplicar o processo do LSIS.

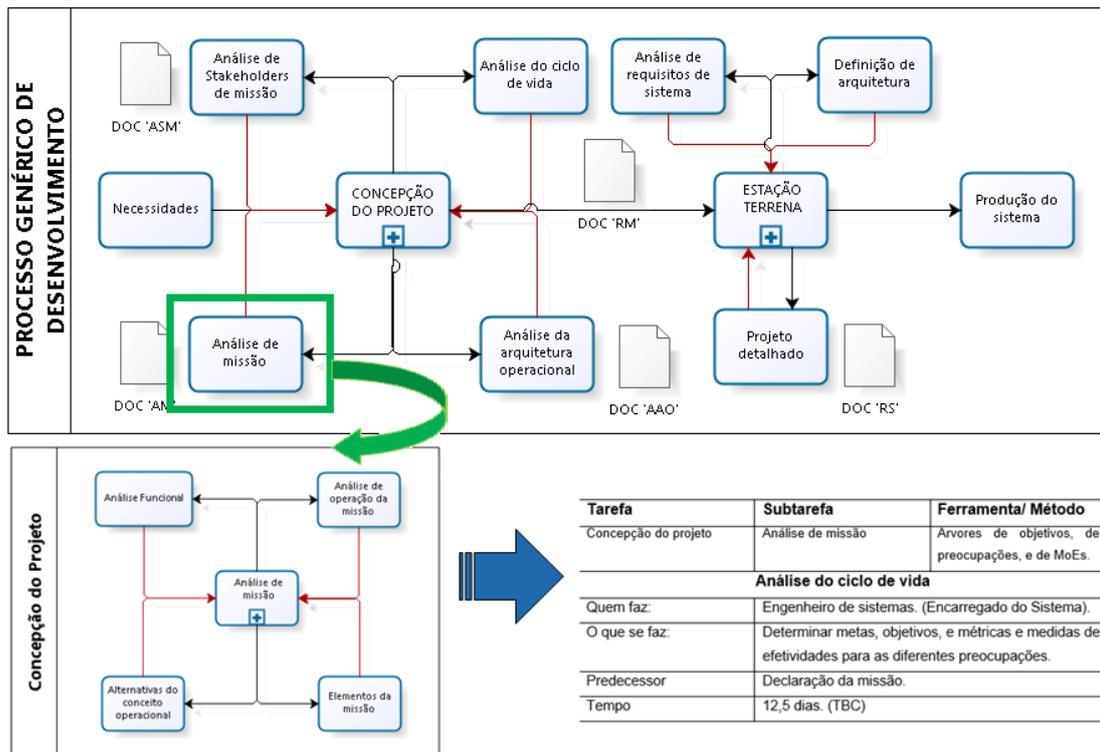
Não obstante, enquanto o processo do LSIS considera graficamente as análises de Engenharia de Sistemas, como apresenta a Figura 7.2, deixa de lado a especificação das atividades e os envolvidos em cada fase do processo. A vantagem que apresenta o processo nesta dissertação, além de considerar graficamente as análises, se baseia no entendimento do passo a passo das etapas, facilitando e integrando ferramentas visuais de identificação das tarefas (*Task*) que descrevem como desenvolver cada atividade, como se apresenta na Figura 7.3. Isto ajuda ao projetista a entender: (i) o que tem que ser realizado, como deve ser realizado, quem deve realizar as atividades, que atividade precede a atividade atual e, finalmente, o tempo que deve ser gasto para o desenvolvimento dessa atividade.

Figura 7.2 - Processo de referência do LSIS



Fonte: Produção do autor.

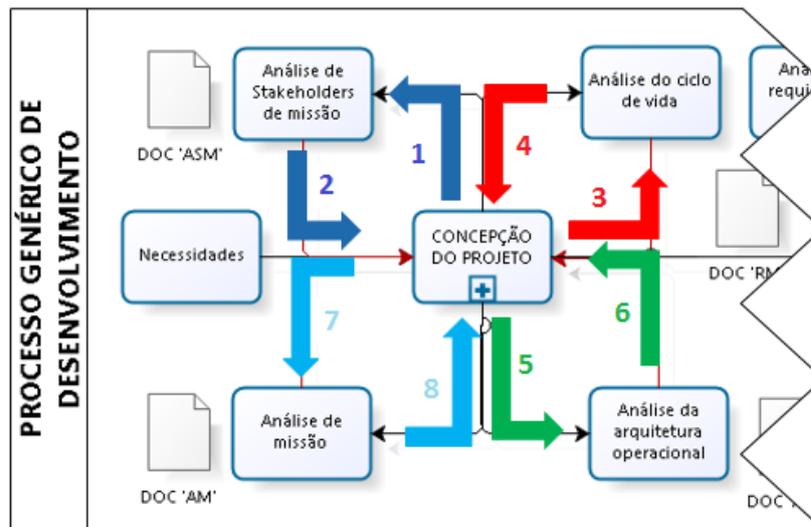
Figura 7.3 - Processo de referência proposto - *Task*



Fonte: Produção do autor.

O processo proposto também simplifica o formato do processo do LSIS, isto é, a visão de seus procedimentos. A forma de aplicação definida para o processo proposto foi a de *loops*, como se apresenta na Figura 7.4. O formato do processo proposto apresenta em um primeiro instante o processo completo, dessa forma o projetista fica ciente do escopo do projeto. Após a apresentação de todo o macroprocesso, cada 'caixa' ou atividade continua o mesmo padrão de *loop* permitindo ao projetista estabelecer seu próprio caminho de solução.

Figura 7.4 - Processo de referência proposto - *Loops*



Fonte: Produção do autor.

O processo do LSIS foi concebido e desenvolvido para missões genéricas, a customização dele para estações terrenas, é uma outra visão do mesmo e pode ser denominada um produto do LSIS. Com esta dissertação deixa-se a oportunidade de melhorar o processo do Laboratório, e retroalimentá-lo por meio de mais ferramentas e detalhes para o entendimento do projetista.

### 7.3. Contribuição do processo proposto em relação à prática *Bottom-Up*

As referências limitadas disponíveis de processos de referência ou metodologias na hora de realizar o desenvolvimento especificamente de estações terrenas para satélites de pequeno porte, como observado no Capítulo 3, Seção 3.1, gerou a preocupação e a necessidade de propor um processo que fortalecesse o conhecimento e o desenvolvimento desse tipo de sistemas.

A prática *Bottom-Up*, estabelecida por radioamadores é aplicada, atualmente em 2016, pelas universidades. Sumarizando o descrito no Capítulo 4, Seção 4.1, (i) a abordagem analisa unicamente as funções e as interfaces do produto. (ii) O foco não é a documentação do processo, unicamente documenta a etapa técnica, especificamente o *Link Budget*. (iii) usa

ferramentas de apoio, de igual forma, só para a idealização da parte técnica. (iv) não existe ordem nas etapas do processo, os projetistas podem começar pela etapa ou fase que considerem prioridade. (v) A saída de uma tarefa é a entrada de outra, é o processo é sequencial.

Por sua vez a abordagem *Bottom-Up* está limitada pela tecnologia e baseia-se projetos e materiais pré-existentes, como se apresenta na Figura 7.5.

Pelo contrário o processo de referência proposto, baseado na abordagem *Top-Down*. (i) analisa o ciclo de vida do sistema a desenvolver. (ii) envolve a realização e desenvolvimento de documentos. (iii) usa ferramentas de apoio para a idealização do projeto. (iv) apresenta as tarefas e atividades de forma gráfica e retroalimentada, para replicar em outros projetos. (v) é altamente iterativo. (vi) propõe tarefas sequenciais e paralelas em conjunto.

O foco desta metodologia é um problema orientado, baseado nas necessidades e expectativas, padrões da comunidade e os *stakeholders*, padrões dos desenvolvedores e finalmente atingindo a legislação vigente aplicável.

Figura 7.5 - Abordagens *Bottom-Up* e *Top-Down*



Fonte: Adaptada de Halligan (2014)

O processo de referência evidencia o sistema de estação terrena do segmento solo de uma missão espacial. A contribuição gerada neste aspecto é a valoração deste tipo de sistemas no ambiente acadêmico. Demonstra-se com este trabalho que os projetos que utilizam Pico e Nanossatélites necessitam de equipes dedicadas ao desenvolvimento da estação terrena, assim é fundamental a criação de um grupo dedicado a essas práticas.

Como grande contribuição, o processo de referência simplifica a aplicação de um processo de Engenharia de Sistemas em geral, especificando-o para estações terrenas, mas também ordena e formaliza o processo empírico utilizado nas abordagens atuais de desenvolvimento deste tipo de sistemas, logra um ponto de equilíbrio entre os processos formais, simplificando-os, com os processos empíricos, realizando a padronização do mesmo.

### **7.3.1. Contribuição do processo proposto em relação à definição da solução de estação terrena**

As análises do processo proposto na aplicação do estudo de caso denominado Estação Terrena Brasileira (ETB) contribuíram com a definição física e funcional de uma possível solução adaptável, multimissão e modelada em sua maioria em *software*:

- Estação adaptável e reusável: baseados nas necessidades de cada projeto pode-se estabelecer uma estação multimissão ou uma estação dedicada. Além de que esta solução pode-se modificar para ser usada em outros projetos, mudando unicamente os parâmetros do seu *software*.
- Rastreabilidade de requisitos: o processo permite rastrear modificações e aplicar só as modificações nas partes necessárias.
- Estação multimissão: pode-se eliminar o conceito de estação exclusiva para um projeto, permitindo acoplamento a redes de estações.
- Estação em *software*: melhora o paradigma de estação puramente em *hardware*.

A arquitetura gerada nesta dissertação deu como resultado uma solução de estação em *Software*, a qual aporta vantagens e que facilmente podem ser usufruídas pelo sistema. Entre as vantagens da solução destacam-se:

- **Manutenção:** pode-se corrigir defeitos e melhorar o rendimento da estação com a manutenção do *software*, com o fim de melhorar constantemente a funcionalidade do sistema, sem recorrer a trocas de equipamentos.
- **Custo:** ao reduzir o número de componentes em hardware a estação minimiza o custo tanto no desenvolvimento quanto à manutenção.
- **Desempenho:** com equipamentos analógicos, usados frequentemente em estações terrenas universitárias pela sua praticidade, não se alcançavam taxas e modos de transmissão de dados que são usados pelos sistemas nos Pico e Nanossatélites. Uma estação com componentes digitais baseados em tecnologias SDR e DSP oferece um maior desempenho por sua versatilidade.

## 8 CONCLUSÃO

### 8.1. Objetivos atendidos

Esta dissertação apresentou, como descrito no objetivo geral, um processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para Pico e Nanosatélites. A utilização deste processo é benéfica para quem precisa desenvolver o segmento solo de um sistema espacial composto por satélites de pequeno porte, uma vez que, pode ser facilmente documentado. Isto aumenta a capacidade de modificação das arquiteturas física e funcional, prevenindo defeitos de compatibilidade com o segmento espacial. O objetivo geral foi atingido no Capítulo 4, Seção 4.2, e detalhado no Capítulo 5.

Como estudo de caso, foi aplicado o processo de referência no desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para Pico e Nanosatélites denominada Estação Terrena Brasileira, levando em consideração cinco Pico e Nanosatélites brasileiros, suas missões e suas necessidades. Sua demonstração foi exemplificada por meio do Projeto ETB apresentada no Capítulo 6, detalhada nos Anexos A, B, C, D, E, F.

Foram discutidas as contribuições geradas pelo processo proposto em relação à revisão bibliográfica, à abordagem do processo estabelecido pelo Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas (LSIS) e à prática atual, *Bottom-Up* de desenvolvimento de estações terrenas, apresentadas no Capítulo 7.

### 8.2. Contribuições

O processo de referência proposto é uma adaptação do processo do Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas (LSIS), cuja aplicação realiza melhorias no entendimento do passo a passo das etapas, integrando ferramentas visuais (*Task*) para identificar como desenvolver cada atividade.

O processo de referência simplifica a aplicação de um processo de Engenharia de Sistemas geral, em um processo específico para estações terrenas, e também ordena e formaliza o processo empírico utilizado nas abordagens atuais de desenvolvimento deste tipo de sistemas.

Dentro dos ganhos da utilização do processo de referência adaptado encontram-se a organização das atividades, a simplicidade do seu uso em qualquer projeto de Pico e Nanossatélites, a rastreabilidade dos requisitos gerados em cada etapa e o reuso em outros projetos.

Uma grande contribuição gerada pela aplicação do processo de referência proposto é a documentação da possível estação compatível com os satélites brasileiros citados nesta dissertação, além da definição das arquiteturas física e funcional da solução, apresentados nos ANEXOS A, B, C, D, E, F.

Os resultados demonstraram no uso do processo que as análises individuais para cada cenário do ciclo de vida do produto geram requisitos que não são contemplados na abordagem *Bottom-Up*, abordagem estabelecida pelo serviço radioamador e seguida pelas equipes de desenvolvimento de estações terrenas das universidades que desenvolvem Pico e Nanossatélites, cujo foco é estritamente a funcionalidade do produto.

Finalmente, durante este trabalho de Mestrado, foram produzidos os seguintes artigos e seus eventos respectivos:

- *Paper 1* (Orduy. R, Jaime. E.; LOUREIRO, G.; SANTOS, W. A.; SANTOS, D. S. *Pico and Nanosatellite ground station architecture development reference process*, II LACW 2016, Florianópolis, 2016)
- *Paper 2* (Orduy. R, Jaime. E.; LOUREIRO, G.; SANTOS, W. A.; SANTOS, D. S. *Processo de Referência para o Desenvolvimento da Arquitetura de uma Estação Terrena para Pico e Nanossatélites*, 6 WETE, São José dos Campos, 2015)
- *Paper 3* (Orduy. R, Jaime. E.; SANTOS, W. A.; LOUREIRO, G.; ZAMBRANO, H.; BURGER, E. E.; CORONEL, G.G. *System engineering applied to the development of national CubeSat ground stations*. I LACW 2014, Brasília, 2014)

- *Paper 4* (Orduy. R, Jaime. E.; LOUREIRO, G.; SANTOS, W. A.; ZAMBRANO, H.; SANTOS, D. S. *Visión sistémica de estaciones terrenas para satélites universitarios*. 5to CICTA, Bogotá-Colômbia, 2014.

### 8.3. Limitações

Não foram feitas as análises dos outros cenários do ciclo de vida da estação terrena (Montagem, Integração e Testes (AIT), manutenção e descarte) pois é a repetição das análises realizadas no cenário operacional.

Por tratar-se de um projeto teórico a avaliação tanto da utilização do processo quanto o resultado da Estação Terrena Brasileira (ETB) deve ser feito em análises posteriores.

### 8.4. Trabalhos futuros

De modo a prover melhorias no processo de referência e estabelecer mais estudos, no que diz respeito à arquitetura das estações terrenas para Pico e Nanosatélites, destacam-se alguns trabalhos futuros que podem ser realizados:

- Elaboração de uma ferramenta computacional que apoie a definição dos equipamentos da estação terrena depois da análise da Engenharia de Sistemas.
- A concepção macro de Engenharia de Sistemas no desenvolvimento de uma rede de estações terrenas para o Brasil.
- Produção e operação da estação terrena (ETB) e desenvolvimento dos outros documentos, como o plano de validação e verificação dos requisitos que foram gerados para o desenvolvimento.
- Desenvolvimento das arquiteturas dos modems estabelecidos em *Software* para a comunicação com diferentes protocolos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Nanossatélite serpens está em órbita e tem sinais captados no brasil**. Brasília, 2015. Disponível em: < <http://www.aeb.gov.br/nanossatelite-serpens-esta-em-orbita-e-tem-sinais-captados-no-brasil/> >. Acesso em: 01 fev. 2014.

ALMINDE, L. et al. **Robustness of radio link between aau-cubesat and ground station**. Aalborg, Denmark: Aalborg University: 2002. 10 p.

AMATEUR RADIO IN SPACE (AMSAT). **About AMSAT**. Descrição da amateur radio in space, 2015. Disponível em: < [http://www.amsat.org/?page\\_id=1093](http://www.amsat.org/?page_id=1093) >. Acesso em: 26 nov. 2014.

AMSAT-CT. **Dados keplerianos ou elementos de kepler**. 2002. Disponível em: < [http://www.cienciaviva.pt/rede/space/home/DADOS\\_KEPLERIANOS\\_OU\\_ELEMENTOS\\_DE\\_KEPLER\\_II.pdf](http://www.cienciaviva.pt/rede/space/home/DADOS_KEPLERIANOS_OU_ELEMENTOS_DE_KEPLER_II.pdf) >. Acesso em: 8 jan. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Resolução nº 303**. 2002. Disponível em: < <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303> >. Acesso em: 24 jan. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Definição de radioamador**, 2015. Disponível em: < <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNivelDois.do?codItemCanal=1220> >. Acesso em: 26 nov. 2015.

ATLANTARF. **Link budget analysis: getting started**. Apresentação sobre a indústria da comunicação. 2015. Disponível em: < <http://www.atlantarf.com/Downloads.php> >. Acesso em: 24 de jan. 2016.

BAHILL, T. **What is systems engineering?** A consensus of the INCOSE fellows. INCOSE, p. 5, 2009.

BAKER, K. Getting started on the amateur radio satellites (part iv). **The AMSAT Journal**, p. 4-7, Jan/Feb, 2011.

BARBER, D. **The FUNcube dongle an introduction**. 2015. 16 p. Disponível em: < <http://www.funcubedongle.com/> >. Acesso em: 24 de jan. 2016.

BEECH, W. A.; NIELSEN, D. E.; TAYLOR, J. **AX.25 link access protocol for amateur packet radio**. Tucson Amateur Packet Radio Corporation, 1998. 143p.

BEZEM, B. et al. **Authenticated uplink for the small, low-orbit student satellite NUTS**. In: IAA CONFERENCE ON UNIVERSITY SATELLITE

MISSIONS AND CUBESAT WORKSHOP, 2., 2013, Roma, Italia:  
**Proceedings...** International Academy for Astronautics, 2013.

BOGOSSIAN, O. L. **Módulo 1.** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2014) Apresentação de aula da disciplina Introdução à Tecnologia de Satélites CSE-200-4. São José dos Campos. 18 transparências.

BÜRGER, E. E. et al. **Lessons learned by the first Brazilian Cubesat platform.** In: IAA LATIN AMERICAN CUBESAT WORKSHOP, 2., 2016, Florianópolis, Brasil. **Proceedings...** Florianópolis: IAA, 2016. 10 p.

CAMPONOGARA, Â.; ROZENFELD, P.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R. **Desenvolvimento de uma Estação Terrena (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro - NANOSATC-BR.** In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE (SICINPE)., 2012, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2012. p. 124. CD-ROM; On-line; Papel. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CLQDNL>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

CAMPOS, E. S. et al. **Modulação e demodulação de sinal.** 2016. Disponível em: < [http://www.del.ufms.br/PCI\\_T1/G6/Modulacao.htm](http://www.del.ufms.br/PCI_T1/G6/Modulacao.htm) >. Acesso em: 25 jan. 2016.

CARDAMA, A. Á. et al. **Antenas.** Barcelona.: Edicions universitat politècnica de catalunya, 2002. 468p.ISBN: 84-8301-625-7; 9788483016251.

CARDOSO, L. B. D. S.; CHAMON, M. A. **Cálculo de enlace para sistemas de comunicação digital via satélite.** São José dos Campos: INPE, 2004. 45 p. (INPE-11433-PUD/139). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2004/11.22.15.40>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

CHIKOFFSKY, E. J.; CROSS N, J. H. Reverse engineering and design recovery: a taxonomy. **IEEE Software**, v. 7. n. 1, 1990. ISSN: 0740-7459.

CLEMENTS, P. C. **A survey of architecture description languages.** In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE SPECIFICATION AND DESIGN, 8., 1996, Schloss Velen, Germany. **Proceedings...** Los Amitos: IEEE, 1996. 10 p.

DE WECK, O. L.; ROOS, D.; MAGEE, C. L. **Engineering systems.** Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2011. ISBN 978026201670-4.

DEPARTMENT OF DEFENSE. SYSTEMS MANAGE COLLEGE. **Systems engineering fundamentals.** Fort Belvoir, Virginia, 2001. 329 p.

DUDÁS, L.; PÁPAY, L.; SELLER, R. **Automated and remote controlled ground station of masat-1, the first hungarian satellite**. In: RADIOELEKTRONIKA (RADIOELEKTRONIKA) INTERNATIONAL CONFERENCE, 24, 2014, Bratislava. **Proceedings...** Bratislava: IEEE, 2014.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-70 Part 1A**. space engineering ground systems and operations. Part 1: principles and requirements. Noordwijk, The Netherlands: European Cooperation for Space Standardization - Secretariat / ESA-ESTEC. Requirements & Standards Division 2000. 84p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-10 Part 1B** - system engineering - Part 1: Requirements and process. Noordwijk, The Netherlands: ESA Publications Division. 2004. 174p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-ST-10C**. system engineering general requirements. Noordwijk, The Netherlands: ESA Publications Division. 2009. 100p.

EMSISTI. **Projetos**. São José dos Campos, 2015. Disponível em: <[http://emsisti.com.br/?page\\_id=18](http://emsisti.com.br/?page_id=18)>. Acesso em: 20 out. 2015.

ERENO, D.; RAMOS, L. Pequenos ganham o espaço. **Revista Pesquisa FAPESP**. São José dos Campos, 2014.

ESSADO, M. et al. **Nanosatcs**: um sistema de solo para controle e monitoramento do NanosatC-Br1. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS (WETW), 5., 2014, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2014. On-line. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3HEA8GL>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

FERNANDO, A.; RICARDO, T.; JORDI, P. **Bi-directional communications over the satnet network**. In: ITU SYMPOSIUM AND WORKSHOP ON SMALL SATELLITE REGULATION AND COMMUNICATION SYSTEM, 2015, Prague, Czech Republic. **Proceedings...** Prague: ITU, 2015.

FORTESCUE, P.; SWINERD, G.; STARK, J. **Spacecraft systems engineering**. 4.ed. Chennai, India: John Wiley & Sons, Ltd., 2011. ISBN (9780470750124).

GAURAV, R. M. **Development of a ground station (gs) package suited for spacecraft operation control and optimization for satellite flyby over the ground station**. 2014. 72 (Dissertação de mestrado). Department of Informatics VII - Robotics and Telematics, Julius Maximilians University of Wuerzburg, Wuerzburg, Germany, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro- SP, 2002. ISBN 85-224-3169-8. Disponível em: < [https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod\\_resource/content/1/como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod_resource/content/1/como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf) >. Acesso em: 03 nov. 2015.

GOMSPACE. **Cubesat-space-protocol**. Network-Layer delivery protocol for CubeSats and embedded systems. GPL, G. L.: 11 p. 2011.

HALLIGAN, R. **Systems engineering five days course**. Material do Curso – Capítulo 4: Requirements Analysis. Project Performance International – PPI. Ringwood North, Austrália. 2014.

HOLDAWAY, R. Ground Stations. In: FORTESCUE, P.; STARK, J., *et al* (Ed.). **Spacecraft systems engineering**. 3.ed. Southampton, UK.: Wiley, 2003. chap. 14, 678p. ISBN (0-170-85102-3).

HULL, E.; JACKSON, K.; DICK, J. **Requirements engineering**. 2. ed. Newtownabbey, Co Antrim, UK: Springer, 2004. ISBN (1-85233-879-2). Disponível em: < <http://www.academiaworld.net/wp-content/uploads/2015/10/Springer-Requirements-Engineering-2nd-Edition-Plantilla-req-pag-85.pdf> >.

IARU. **Amateur radio satellites**. International amateur radio union, p.36. 2006.

ICHIKAWA, D. **Cubesat-to-ground communication and mobile modular ground station development**. Honolulu, Hawaii: University of Hawaii at Manoa: 6 p. 2006.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). **IEEE standard definitions of terms for antennas**. IEEE Antennas and Propagation Society, 1993. 32p. STD-145.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). **IEEE trial-use standard for application and management of the systems engineering process**. New York, NY, 1995. 90p. IEEE Std 1220-1994.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). **IEEE Standard for application and management of the systems engineering process**. IEEE Computer Society, 1998.

INCOSE. **Systems engineering handbook**. 4. ed. San Diego, CA, USA: WILEY, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Centro de rastreo e controle de satélites**. São José dos Campos, 2011. Disponível

em: < [http://www.inpe.br/crc/estacoes/sobre\\_estacoes.php](http://www.inpe.br/crc/estacoes/sobre_estacoes.php) >. Acesso em: 25 nov. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Documento interno** - relatório geral dos bens. 240106: Instituto nacional de pesquisas espaciais. 103152-00: 1 p. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **NanosatC-BR1 é lançado com sucesso e estação já recebe sinais do primeiro cubesat nacional**. São José dos Campos, 2014. Disponível em: < [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3640](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3640) >. Acesso em: 01 fev. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa NANOSATC-BR**. 2014a. Disponível em: < [http://www.inpe.br/crs/nanosat/Estacao\\_SJC.php](http://www.inpe.br/crs/nanosat/Estacao_SJC.php) >. Acesso em: 23 set. 2015

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa NANOSATC-BR**. 2014b. Disponível em: < [http://www.inpe.br/crs/nanosat/Estacao\\_SJC.php](http://www.inpe.br/crs/nanosat/Estacao_SJC.php) >. Acesso em: 23 set. 2015.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). **Ground station control user manual (ISIS.GSC.UM.001)**. Delft, Holanda. Innovative Solutions In Space.: 24 p. 2012a.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). **Ground station kit user manual (ISIS.GS.UM.001)**. Delft, Holanda. Innovative Solutions In Space.: 21 p. 2012b.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). **ISIS small ground station datasheet**. Delft, Holanda. Innovative Solutions In Space. 13.6: 18 p. 2013.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). **About ISIS**. 2015. Disponível em: < <http://www.isispace.nl/cms/index.php/2011-07-20-09-31-21> >. Acesso em: 15 out. 2015.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). **Ground station kit user manual (ISIS.GS.UM.001)**. Delft, Holanda. Innovative Solutions In Space.: 21 p. 2012.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). **ISIS small ground station datasheet**: Delft, Holanda. Innovative Solutions In Space. 13.6: 18 p. 2013.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA (ITA). **Cubesat brasileiro lançado com sucesso da estação espacial internacional**. São José dos Campos, 2015a. Disponível em: < <http://www.ita.br/noticias14> >. Acesso em: 01 fev. 2016.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA (ITA). **First cubesat developed in brazil**. 2015b. Disponível em: < <http://www.aer.ita.br/~aesp14/> >. Acesso em: 23 set. 2015.

ITASAT-1. **Segmento solo**. 2015. Disponível em: < <http://www.itasat.ita.br/?q=content/segmento-solo> >. Acesso em: 23 set. 2015.

KALLAS, C. **Apontamento das estações terrenas em enlaces com satélites geo-estacionários**. 2011. Disponível em: < [http://www.cesarkallas.net/arquivos/faculdade-pos/TP304-sistemas-radioenlaces-digitais/7\\_Anexo%20l.pdf](http://www.cesarkallas.net/arquivos/faculdade-pos/TP304-sistemas-radioenlaces-digitais/7_Anexo%20l.pdf) >. Acesso em: 7 jan. 2015.

KIENBAUM, G. **Gestão de processos e simulação de sistemas**. Apresentação de aula da disciplina simulação e gestão de processos CSE-331-4. CSE/ETE-INPE. 2015, São José dos Campos. 20 transparências.

KIRKPATRICK, D. 11.2 telemetry, tracking, and command. In: LARSON, W. J.; WERTZ, J. R. (Ed.). **Space mission analysis and design**. El Segundo, California. USA.: Space Technology Library Published Jointly by Microcosm Press 2005. chap. 11, p.27. ISBN (1-881883-10-8).

KLEEMANN, J. W. **Breve estudo sobre engenharia de componentes**. Campo Grande, MS. 2010. 41p.

KLOFAS, B. **Amateur radio and the cubesat community** San Luis Obispo, CA: California Polytechnic State University, 2009. 6.p.

KNOWLEDGE BASED SYSTEMS, I. **IDEFØ**. 2016 Disponível em: < <http://www.idef.com/> >. Acesso em: 15 mar. 2016.

LA ROSA, M. et al. **Linking domain models and process models for reference model configuration**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON REFERENCE MODELING (RM 2007), 10., 2007, Brisbane, Australia. **Proceedings...** Brisbane: Springer, 2008. P. 417-430. LNCS Vol. 4928.

LARSON, W. J. et al. **Applied space systems engineering space technology series**. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2009. ISBN-13: (978-0-07-340886-6). ISBN-10: (0-07-340886-7).

LEE, S. et al. **Cubesat design specification**. San Luis Obispo, CA: California Polytechnic State University, 2009. 22p.

LEY, W.; WITTMANN, K.; HALLMANN, W. **Handbook of space technology**. 2. Singapore: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. 906 ISBN (978-0-470-69739-9).

LOPES, COSTA L. **Processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de sistemas de pico e nano-satélites**. 2015. 331 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 (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3JA39H2>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

LOUREIRO, G. **A systems engineering and concurrent framework for the integrated development of complex products**. 1999. 607 (Tesis doctoral). Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, Loughborough, UK.

LOUREIRO, G. **Functional analysis**. Apresentação de aula da disciplina Introdução a Engenharia de Sistemas Espaciais CSE-201-4. CSE/ETE-INPE. 2010, São José dos Campos. 35 transparências.

LOUREIRO, G. **Systems engineering process**. Apresentação de aula da disciplina Introdução a Engenharia de Sistemas Espaciais CSE-201-4. CSE/ETE-INPE. 2012, São José dos Campos. 35 transparências.

LOUREIRO, G. **Architecture design**. Apresentação de aula da disciplina Introdução a Engenharia de Sistemas Espaciais CSE-201-4. CSE/ETE-INPE. 2014, São José dos Campos. 2 transparências.

LÓPEZ VILLAFRANCA, B. C. **Processo de análise de stakeholders utilizando mapas cognitivos**. 2012. 196 Dissertação (Mestrado em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil, 2012.

LABORATORIO DE ENGENHARIA SIMULTANEA DE SISTEMAS (LSIS). **Processo de Engenharia de sistemas**. Material visual. Restringido: LIT/INPE. 52.1 kb 2015.

MAGLIACANE, J. A. K. B. **Predict**. LICENSE, G. G. P. PREDICT Version 2.2.3 for Linux 2006.

MARULANDA, J. I.; YARCE, A. **A review of cubesat projects in Latin America**. In: IAA LATIN AMERICA CUBESAT WORKSHOP, 1., 2014, Brasília D.F, Brasil. Proceedings... Brasília:International Academy of Astronautics/ Universidade de Brasília, 2014.

MCGUIRE, J. **Forward error correction extension to ax.25 link protocol**. 2007.

MCGUIRE, J. et al. **Forward error correction extension to ax.25 link protocol for amateur packet Radio**. Stensat Group LLC, 2006.

MICHAELIS. **Dicionário de português online significado de "função"**. UOL, - E. M. L. 2016.

MITRE, C. M. E. **Propagação e antenas aplicadas ao IEEE 802.11**. 2003. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/seminarios/semin2003\\_1/miguel/Capítulo4.htm](http://www.gta.ufrj.br/seminarios/semin2003_1/miguel/Capítulo4.htm) >. Acesso em: 7 jan. 2016.

NASA. **NASA systems engineering handbook**. Washington, D.C. 20546: National Aeronautics and Space Administration. NASA/SP-2007-6105Rev1: 360 p. 2007.

NASA. **Definition of two-line element set coordinate system**. 2011. Disponível em: <[http://spaceflight.nasa.gov/realdata/sightings/SSapplications/Post/JavaSSOP/SSOP\\_Help/tle\\_def.html](http://spaceflight.nasa.gov/realdata/sightings/SSapplications/Post/JavaSSOP/SSOP_Help/tle_def.html) >. Acesso em: 7 jan. 2016.

NASA. **small spacecraft technology state of the art**. NASA Ames Research Center Moffett Field. Moffett Field, California, U.S.A. p.211. 2014

NONSOQUE, C. A. Q. **Montaje e implementación de una estación terrena para el seguimiento de satélites de órbita baja**. 2012. 99p. (TCC Ingeniero de Sistemas y Computación). Escuela de Sistemas y Computación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Boyacá).

OSORIO, F.; ANDRADE, E. **Sistemas satélites**. 2006. 111p. (TCC Ingeniero Electrónico). Facultad de Ingenierías, Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

PENNA RODRÍGUEZ, O. **Instalación y operación de una estación terrena para satélites de órbita baja**. 2011. 176p. (Ingeniero en Telecomunicaciones). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México. D.F.

PEREIRA, E. W. **AMSAT-BR suggested satellite groundstation setup**. Pardinhos, SP, Brasil.: AMSAT-BR 2015.

PÉREZ, C. V.; SAINZ, J.Z.; CASANUEVA, A.L. Antenas. In: (Ed.). **Introducción a los sistemas de telecomunicaciones**. Cantabria, España. Universidad de Cantabria, 2006. chap. 10, p.81.

PU1LPC. **Radioamadorismo em 1º lugar!** Blog sobre Homologação de rádios no Brasil. 2013. Disponível em: <<http://pu1lpc.blogspot.com.br/> >. Acesso em: 24 de jan. 2016.

QSL. **Estrutura do protocolo AX.25**. 2016a. Disponível em: <<http://www.qsl.net/py3qa/packet1.htm> >. Acesso em: 22 jan. 2016.

- QSL. **Manual ICOM IC2200**. 2016b. Disponível em: < <http://www.qslprotect.com/ic2200h.html> >. Acesso em: 24 jan. 2016.
- RAFAEL, M. C. **Projeto e desenvolvimento de um sistema inteligente para alinhamento de uma antena parabólica receptora**. 2011. 133p. Dissertação e Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, Taubaté-SP, 2011.
- RAMÍREZ, J. C.; RAMÍREZ, L. F. **Qué hay bajo el AX.25?**. 2000. Disponível em: < <http://www.qsl.net/eb7cjo/> >. Acesso em: 22 jan. 2016.
- RCCA. **El protocolo AX25**. Madrid, Espanha., 2016. Disponível em: < <http://ea5fmc.ure.es/packet/ax25.htm> >.
- RYAN, M.; FAULCONBRIDGE, I. **Week 1**. (The University of New South Wales, 2015) Apresentação do curso virtual Introduction to systems engineering. © 2016 Coursera Inc 2015. 15 transparências.
- SCHACH, S. R. **Object-oriented and classical software engineering**. 8. ed. New York: Mc Grau Hill, 2011. ISBN-13: (978-0-07-337618-9).
- SILVA, E. L. D.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.
- STEVENS, R. et al. **Systems engineering: coping with complexity**. Trowbridge, Wiltshire, Great Britain: Prentice Hall, 1998. ISBN (0-13-095085-8).
- SPANGELO, S. C. et .al. **Applying model based systems engineering (MBSE) to a standart Cubesat**. (2012) IEEE Aerospace conference proceedings, 2012.
- SPANGELO, S. C. et .al. **Model based systems engineering (MBSE) applied to radio aurora explorer (RAX) CubeSat mission operational scenarios**. (2013) IEEE Aerospace conference proceedings, 2013.
- SUPERKUH. **RTL-SDR and GNU radio with realtek rtl2832u [elonics e4000/raphael micro r820t] software defined radio receivers**. 2016. Disponível em: < <http://superkuh.com/rtlsdr.html> >. Acesso em: 24 de jan. 2016.
- SWARTWOUT, M. The first one hundred cubesats: a statistical look. **Journal of Small Satellites**, v. 2, n. 2, CubeSats, p. 213-233, 2013.
- TRISTANCHO, J. **Implementation of a femto-satellite and a mini-launcher**. 2010. 89p. Master Thesis in Aerospace Science & Technology

Universitat politècnica de catalunya, Applied Physics Department, Catalunya, Espanha, 2010.

TSOHOU, A. et al. Proposing a reference process model for the citizen-centric evaluation of e-government services. **Transforming Government: People, Process and Policy**, v. 7, n. 2, p. 15, 2013. ISSN 1750-6166.

TUBIO, R. P. **Satnet project documentation**. © 2015 GitHub, Inc., 2015. Disponível em: < <https://github.com/satnet-project/documentation/wiki> >. Acesso em: 28 out. 2015.

TWIGGS, R. et al. **CubeSats as responsive satellites**. In: AIAA RESPONSIVE SPACE CONFERENCE, 3., 2005, Los Angeles, CA. **Proceedings...** Los Angeles: NASA/JPL/ AIAA, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Inf01154 - redes de computadores N modulação digital. utilização de ferramentas analíticas e gráficas na representação e avaliação de um canal. Capacidade máxima de um canal segundo Nyquist e Shannon**. Rio Grande do Sul: Departamento de informática aplicada, 2014.

VALENTE, F. L. **Antenas, cabos e rádio antenas, cabos e rádio-enlace**. 2004. Disponível em: < [http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelecom%5CSistemas\\_Telecom%5CRadio%5CCurso%20de%20Antenas.pdf](http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelecom%5CSistemas_Telecom%5CRadio%5CCurso%20de%20Antenas.pdf) >. Acesso em: 7 jan. 2016.

VAN DER AALST, W.M.P.; DREILING, A.; GOTTSCHALK, F.; ROSEMAN, M.; JANSEN-VULLERS, M.H. Configurable process models as a basis for reference modeling. In: BUSSLER, C.J., HALLER, A. (eds.) **Business process management workshops**. Berlin: Springer, 2006. V. 3812 of Lecture Notes in Computer Science, p. 512–518.

WERTZ, J. R.; EVERETT, D. F.; PUSCHELL, J. J. **Space mission engineering: the new smad** (space technology library, Vol. 28). Hawthorne, CA: Microcosm Press, 2011.

WICKRAMANAYAKE, A. **Design, development and operation of a student ground station**. 2007. 76p. Thesis (Master in Space Science) - Lulea University of Technology, Department of Space Science, Kiruna, Lulea, Suecia, 2007.

WU, J. **Design, integration and testing of a student ground station**. 2012. 96. Trabalho de conclusão de curso (School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering) - University of Sydney, Sydney, 2012.

XAVIER, C. M. D. S. et al. **Gerenciamento de projetos de inovação**, Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Rio de Janeiro: Brasport, 2014. ISBN (978-85-7452-632-4).

YAESU MUSEN CO., L. **FT-8100R** - dual-band FM mobile transceiver. Japão, 1997. 66p.

YOUNG, R. R. **The requirements engineering handbook**. Norwood, MA 0206: Artech House, 2004. 275p. ISBN (1-58053-266-7).

YOUNGBLOOD, G. A software-defined radio for the masses, Part 1. **QEX**: the forum for communications experimenters, v. Jul/Aug 2002, p. 13-21, 2002.

ZANTA, K. M. et al. **The systems concurrent engineering laboratory**. In: INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS, 63., 2012, Naples, Italy. **Proceedings...** Naples: International Astronautical Federation, 2012.



## **ANEXO A – ANÁLISE DE STAKEHOLDERS**



PROGRAMA PROGRAM	DOCUMENTO/ DOCUMENT NO.	
	LSIS-001	
	PÁGINA / PAGE	VERSÃO / ISSUE
ETB	i	1

TÍTULO / TITLE

**ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA:  
 ANÁLISE DOS STAKEHOLDERS DE MISSÃO**

CÓDIGO / CODE A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

PREPARADO POR / PREPARED BY

APROVADO POR / APPROVED BY

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME Jaime Enrique Orduy Rodriguez DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Pesquisa e Desenvolvimento

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME Geilson Loureiro DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Tecnologista sênior

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME Walter Abrahão dos Santos DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Tecnologista sênior

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME Douglas Soares dos Santos DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Gerente técnico

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_



## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA.....	1
3. TERMOS E DEFINIÇÕES .....	1
4. Declaração de Necessidades (NEEDS STATEMENT).....	4
5. IDENTIFICAÇÃO DE STAKEHOLDERS .....	5
5.1. Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites.....	5
5.2. Serviço Radioamador.....	6
5.3. Organizações de coordenação de frequências .....	6
5.4. Agências de desenvolvimento e financiamento.....	6
5.5. Pesquisadores e cientistas .....	7
5.6. Fornecedores de tecnologia.....	7
5.7. Operadores de estações terrenas .....	8
6. ELICITAÇÃO DE NECESSIDADES DE STAKEHOLDER.....	9
7. REQUISITOS DE STAKEHOLDER.....	10
7.1. Missão .....	10
7.2. Metas e Objetivos .....	10
8. ANÁLISE DE STAKEHOLDERS.....	11
8.1. Requisitos de Stakeholders de missão.....	11

## 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta as análises de *Stakeholders* da missão do projeto ETB (Estação Terrena Brasileira), sendo: (i) Declaração da necessidade, (ii) Principais *Stakeholders* da missão, (iii) Necessidades de *Stakeholders*, (iv) Requisitos de missão, (v) Metas e objetivos da missão.

## 2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS

**DA01** ECSS-E-70 Part 1<sup>a</sup> (25 April 2000): *Ground systems and operations — Part 1: Principles and requirements.*

**DA02** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general requirements.*

**DA03** Resolução (ANATEL) nº 449, de 17 de novembro de 2006;

**DA04** Resolução (ANATEL) nº 452, de 11 de dezembro de 2006;

**DA05** Resolução (ANATEL) nº 242, de 30 de novembro de 2000.

## 3. TERMOS E DEFINIÇÕES

**COTS:** são componentes "comerciais de prateleira", encontrados facilmente no mercado e, que geralmente, não são qualificados para aplicação espacial.

**Medidas de efetividade:** são métricas, pelas quais os *Stakeholders* medirão sua satisfação com a solução do sistema resultante do esforço de desenvolvimento (LOUREIRO, 1999).

**Missão:** propósito do sistema, é a razão pela qual o sistema existe, isto é, a missão do sistema corresponde a sua função (LOUREIRO, 1999).

**Restrição:** corresponde a características de alto nível de desempenho, regulamentos, políticas, legal, herança, custo e cronograma, a maturidade da tecnologia, pessoas, habilidades e competências, organização existente (LOUREIRO, 2014).

**Stakeholder:** entidades, indivíduos ou organizações interessadas no desenvolvimento de um sistema ou produto, e têm o direito de participar nele.

**Stakeholder primários (S1):** entidades, indivíduos ou organizações que ajudam na realização da engenharia (HALLIGAN, 2014).

**Stakeholder secundário (S2):** entidades, indivíduos ou organizações cujos interesses afetam o interesse dos *stakeholders* principais, os quais podem influenciar na tomada de decisão (HALLIGAN, 2014).

**Stakeholder terciário (S3):** entidades, indivíduos ou organizações com interesse nos produtos da engenharia, porém cujos interesses são irrelevantes para os *stakeholders* primários (HALLIGAN, 2014).

### 3.1. Abreviaturas

AEB – Agência Espacial Brasileira.

AMSAT – *Amateur Satellite*.

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações.

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

CEA – Centro de Estudos Atmosféricos.

COTS – *Commercial Off-The-Shelf*.

CM – Restrição de missão.

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

CRC – Centro de Rastreo e Controle de Satélites.

DA – Documento aplicável.

DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial.

EMBACE – Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial

ETE- Engenharia e Tecnologias espaciais.

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos.

IARU – *International Amateur Radio Union*.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.

ISIS – *Innovative Solutions In Space*.

INFELCOM – Informática Eletrônica e Comunicações.

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

ITU – *International Telecommunication Union*.

LABRE – Liga de Amadores Brasileiros de Rádio Emissão.



NE – Necessidade.

MCTI – Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação.

MOES – Medidas de Efetividade.

OB – Objetivo de missão.

PAR – Pardinho.

RS – Requisito de *Stakeholder*.

UPTC- *Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia*.

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria.



#### 4. Declaração de Necessidades (NEEDS STATEMENT)

O custo de uma estação terrena comercial para Pico e Nanossatélites é de aproximadamente R\$147.000 (ISIS, 2016), custo muito alto levando em consideração o fato de que os projetos de pequenos satélites têm orçamentos limitados. Além do custo, após a operação do satélite, as estações ficam ociosas, aguardando que novos satélites sejam lançados e voltem a utilizá-las, porém essas estações não são tão facilmente modificáveis, por que são soluções fechadas.

Outro fator importante com essas estações é que a compatibilidade é restrita a um número muito pequeno de Pico e Nanossatélites, devido as características tecnológicas usadas por elas. Isso gera que um próximo *design* de um Pico e Nanossatélite, seja estabelecido por uma restrição de uso de uma estação existente e, não pelo balanço de alternativas e melhores tecnologias encontradas no mercado.

Com essas restrições do mercado de estações terrenas, e levando em consideração o aumento de missões espaciais com satélites de pequeno porte no Brasil, os desenvolvedores destes satélites no INPE (Projeto NANOSATC-BR, Projeto AESP-14, Projeto UBATUBASAT, entre outros) desejam incluir no seu escopo de desenvolvimento o projeto de uma estação terrena, para apoiar a operação desses Pico e Nanossatélites brasileiros, i.e., Nanosatc-BR2, Serpens, Tancredo-1, Itasat-1, CONASAT, entre outros que se encontram em desenvolvimento, com o fim de não depender das empresas comerciais. Observa-se a necessidade do INPE em apoiar o desenvolvimento de uma estação terrena nacional, no mesmo tempo de desenvolvimento de um projeto de Pico e Nanossatélites, ou seja, em até dois anos.

## 5. IDENTIFICAÇÃO DE STAKEHOLDERS DA MISSÃO

Esta seção apresenta a identificação dos *Stakeholders*, como parte do cumprimento dos objetivos da missão da ETB.

No caso da Estação Terrena Brasileira (ETB), foram identificados *Stakeholders* principais e divididos em sete grupos: 1) Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites, 2) Serviço Radioamador, 3) Organizações de coordenação de frequências, 4) Agências de desenvolvimento e financiamento 5) Pesquisadores e cientistas, 6) Fornecedores de componentes e, 7) Operadores de estações terrenas, descritos a seguir, focando na participação deles no projeto ETB:

### 5.1. Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites

(S1) ITA/DCTA (São José dos Campos) – **PROJETO AESP-14/ITASAT**: Definir oportunidades para participação de alunos, e participar das experiências obtidas com a operação contínua de satélites brasileiros na estação terrena localizada no campus do ITA.

(S1) INPE/MCTI (São José dos Campos) – **PROJETO NANOSATC-BR / UBATUBASAT**: incentivar alunos e pesquisadores nas atividades do segmento solo de Pico e Nanossatélites.

(S1) LIT/LSIS-INPE **Processo de AIT do AESP-14**: compartilhar e aplicar o processo de referência de Engenharia de Sistemas no desenvolvimento das estações terrenas, e participar da experiência de AIT do AESP-14.

(S2) Universidade UNB (Brasília) – **PROJETO SERPENS (Setor A)**: participar da experiência de suas estações em Brasília e em *Vigo*, dentro do projeto SERPENS setor A.

(S3) Universidade IFF (Rio de Janeiro) - **PROJETO RIBRAS**: oferecer apoio e colaboração mútua na elaboração da rede de estações Brasileira



RIBRAS (Rede Integrada Brasileira de Rastreamento de Satélites) na concepção da estação por meio da Engenharia de Sistemas.

(S1) Universidade UFSM (Santa Maria) - **PROJETO ET**: participar das experiências no projeto prévio de elaboração de uma estação terrena.

## 5.2. Serviço Radioamador

(S1) LABRE (Liga de Amadores Brasileiros de Rádio Emissão) / AMSAT-BR (**AM**ateur **SAT**ellite - **BR**asil): Inclusão dos programas educacionais dos radioamadores em apoio a projetos *CubeSats* ativos.

Estabelecimento de um mecanismo de compatibilidade entre Pico e Nanossatélites em operação, os Pico e Nanossatélites em desenvolvimento, e as estações terrenas.

Inclusão das propostas de experimentos amadores para Pico e Nanossatélites, em função de uma estação terrena.

## 5.3. Organizações de coordenação de frequências

(S1) ANATEL: estabelecimento de diretrizes para alocação de frequências para estações e para os operadores responsáveis da estação; como o apoio no desenvolvimento de tecnologia do tipo de telecomunicações no Brasil.

(S1) IARU: fornecimento de informação de coordenação de frequências usadas por satélites radioamadores;

(S1) ITU: capacitação e apoio em operação de determinadas frequências.

## 5.4. Agências de desenvolvimento e financiamento

(S1) AEB: possibilidade de apoio para a criação em massa de este tipo de estações.

(S1) CNPq-CAPES-FINEP-FAPESP: fomento e apoio de projetos inovadores e que estão em prol do desenvolvimento científico e tecnológico do país.

## 5.5. Pesquisadores e cientistas

(S2) ETE-INPE: desenvolvimento de equipamentos destinados às telecomunicações do satélite, e apoio na elaboração dos equipamentos para o segmento solo.

(S2) CEA-INPE: apoio as cargas uteis desenvolvidas pelo departamento de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE e determinar a quantidade de dados a serem transmitidos com diferentes cargas uteis.

(S2) EMBRACE-INPE: determinação da quantidade de dados a serem enviados pelo satélite (*CubeSats 3U*) em desenvolvimento do departamento de monitoramento do clima espacial.

## 5.6. Fornecedores de tecnologia

Em prol de criar uma estação terrena no âmbito nacional, o fornecimento de tecnologia deve ser feito por pesquisadores e científicos do Brasil. Entre os quais estão:

(S1) INPE-ETE: fornecedores de antenas, equipamentos e componentes.  
• O *software* das Estações Terrenas vinculadas diretamente ao INPE/CRS (Cuiabá, Alcântara) são desenvolvidos pela Divisão de Sistemas de Solo (DSS), no INPE em SJC.

(S1) EMSISTI: fornecedores de *software* para gerenciamento de missão. (<http://emsisti.com.br/>).

• O *software* das Estações Terrenas vinculadas ao Programa NanosatC-BR, Desenvolvimento de *CubeSats* (São José dos Campos e Santa Maria) foram desenvolvidos pela EMSISTI.

(S1) LABRE: fornecedores e colaboradores em *Software* de gerenciamento de missão.

(S1) MECTRON: fornecedores de *software* para gerenciamento de missão. (<http://odebrecht.com/pt-br/negocios/nossos-negocios/defesa-e-tecnologia>).



(S1) COMPSIS: fornecedores de *software* para o setor espacial, para aplicações críticas. (<http://www.compsis.com.br/empresa.php>).

(S1) Beta: fornecedores de *hardware* e *software* para telecomunicações, antenas, micro-ondas, comunicações via satélite e radio enlaces. (<http://www.betatelecom.com.br/sobre-a-beta.html>).

• O *software* da Estação Solo de um balão estratosférico, recebido para aceitação pelo INPE, foi desenvolvido pela empresa Beta Telecom entre 2014 e 2015.

(S1) Telecom: fornecedores de sistemas de comunicações. (<http://www.ittelecom.com.br/>).

## 5.7. Operadores de estações terrenas

Fornecimento da informação técnica e os procedimentos de operação da estação, assim como necessidades, dificuldades e, expectativas com relação a sistemas da estação.

(S2) ITA (ISIS): estudantes do ITA;

(S2) INPE (Santa Maria): estudantes da UFSM;

(S2) ITA (Móvel modular): grupo de pesquisa do Prof. Douglas Soares;

(S2) UPTC (Colômbia): grupo de pesquisa INFELCOM;

(S2) PAR (Pardinho-SP): LABRE-AMSAT-BR (Edson Pereira).



Tabela 1: Stakeholders da missão

<b>STAKEHOLDERS</b>	<b>TIPO</b>	<b>ORGANIZAÇÃO</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>
<b>(D1) Desenvolvedores</b>	PRIMARIO	ITA	São Jose dos campos
<b>(D2) Desenvolvedores</b>	PRIMARIO	INPE	São Jose dos campos
<b>(D3) Desenvolvedores</b>	PRIMÁRIO	USP	São Paulo
<b>(D4) Desenvolvedores</b>	SECUNDÁRIO	UnB	Brasília
<b>(D5) Desenvolvedores</b>	TERCIÁRIO	IFF	Rio de Janeiro
<b>(D6) Desenvolvedores</b>	PRIMARIO	UFSM	Santa Maria
<b>(RA) Rádio amadores</b>	PRIMARIO	LABRE	São Paulo
<b>(O) Organizações de Freq.</b>	PRIMARIO	Anatel (ITU/IARU)	Brasília
<b>(A1) Agências de Fomento</b>	PRIMARIO	CAPES	Brasília
<b>(A2) Agências de Fomento</b>	PRIMARIO	CNPq	Brasília
<b>(A3) Agências de Fomento</b>	PRIMARIO	FINEP	São Paulo
<b>(P) Pesquisadores/cientistas</b>	SECUNDÁRIO	INPE-CEA	São Jose dos campos
<b>(F1) Fornecedores</b>	PRIMARIO	INPE-SOTFWARE	São Jose dos campos
<b>(F2) Fornecedores</b>	PRIMARIO	EMSISTI	São Jose dos campos
<b>(F3) Fornecedores</b>	PRIMARIO	BETA	São Jose dos campos
<b>(F4) Fornecedores</b>	PRIMARIO	LABRE	São Paulo
<b>(O1) Operadores de Estaciones Terrenas</b>	SECUNDÁRIO	INPE-Santa Maria	Rio Grande do Sul
<b>(O2) Operadores de Estaciones Terrenas</b>	SECUNDÁRIO	ITA	São Jose dos campos
<b>(O3) Operadores de Estaciones Terrenas</b>	SECUNDÁRIO	LABRE-PY2SDR	Pardinho
<b>(O4) Operadores de Estaciones Terrenas</b>	SECUNDÁRIO	UPTC	Tunja (Colômbia)

## 6. ELICITAÇÃO DE NECESSIDADES DE STAKEHOLDER

Tabela 2: Necessidades de *Stakeholders* da missão

ID	TIPO	STK	CARATER	NECESSIDADE	REQ
NE01	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Funcional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam uma estação terrena que seja compatível com todos os Pico e Nanossatélites brasileiros, e inclusive os satélites latino-americanos deste porte.	RE01
NE02	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Operacional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam uma estação terrena que seja projetada e desenvolvida com mão de obra nacional.	RE02
NE03	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Operacional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam estação terrena que seja replicável em outros projetos de pequenos satélites.	RE03
NE04	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Econômico	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam uma estação terrena de baixo custo que use COTS e componentes <i>Artesanais</i> .	RE04
NE05	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Funcional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam uma estação terrena moderna.	RE05
NE06	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Funcional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam uma estação terrena capaz de modificar suas características de acordo com o satélite a operar.	RE06
NE07	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Operacional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam que a estação terrena adote uma filosofia modular, para intercambiar componentes sem danos na estação.	RE07
NE08	(S1)	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites	Organizacional	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam que a estação terrena para Pico e Nanossatélites esteja de acordo com as seguintes normas que se aplicam ao segmento solo.	RE08
NE09	(S1)	Organizações de coordenação de frequências	Restrição	Os desenvolvedores do INPE de Pico e Nanossatélites necessitam que estação terrena para Pico e Nanossatélites esteja de acordo com normas IARU e ITU, além de cumprir o estabelecido pelas resoluções da ANATEL que se aplicam ao serviço radioamador, sendo elas: Resolução nº 449, de 17 de novembro/2006; Resolução nº 452, de 11 de dezembro/2006; Resolução nº 242, de 30 de novembro/2000.	RE09

## 7. REQUISITOS DE STAKEHOLDER

### 7.1. Declaração da Missão tecnológica (MISSION STATEMENT)

Com a finalidade de estabelecer comunicação com Pico e Nanossatélites brasileiros, o principal objetivo do desenvolvimento do projeto é a criação de uma Estação Terrena Brasileira de baixo custo, moderna; que seja desenvolvida com mão de obra nacional, e tecnologias atuais, principalmente COTS, utilizando ferramentas e métodos da engenharia de sistemas.

### 7.2. Metas e Objetivos da missão

Tabela 3: Metas e objetivos da missão

Metas	Objetivos
1. A estação deve comunicar-se com os satélites de interesse.	1.2) Estabelecer comunicação com os satélites brasileiros: NanoSatC-BR1, AESP-14, TANCREDO1, SERPENS, ITASAT.
2. A estação deve seguir a trajetória dos satélites de interesse.	2.2) Estabelecer movimentação na estação para acompanhar a trajetória dos satélites NanoSatC-BR1, AESP-14, TANCREDO1, SERPENS, ITASAT.
3. A estação deve estabelecer prioridades para acompanhar a movimentação dos satélites de interesse.	3.2) Estabelecer parâmetros de importância com relação a cada satélite para realizar o seguimento (Exemplo quantidade de dados, período orbital, telecomandos a enviar).

### 7.3. Níveis de sucesso da missão

- **Cumprimento total:**

Rastreio de vários Pico e Nanossatélites brasileiros.

Recepção de sinais dos Pico e Nanossatélites brasileiros.

Envio de comandos para Pico e Nanossatélites brasileiros;

- **Cumprimento parcial:**

Rastreio de um Pico e Nanossatélite brasileiro;

Recepção de sinais de um Pico e Nanossatélite brasileiro;

Envio de comandos para um Pico e Nanossatélite brasileiro.

- **Cumprimento mínimo:**

Desenvolvimento completo da estação e adaptação ao local de operação.

## 8. ANÁLISE DE STAKEHOLDERS DE MISSÃO

### 8.1. Requisitos de *Stakeholders* de missão

**RS01:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena deve conceber, projetar, implementar e operar um sistema - Estação Terrena Brasileira para Pico e Nanossatélites que seja compatível com os satélites brasileiros: Tancredo-1, Serpens (Setor A), Itasat-1 Nanosatc-Br1, Nanosatc-Br2, e com os futuros projetos brasileiros.

Medida de Efetividade	Conceber, projetar, implementar e operar um sistema de estação terrena para Pico e Nanossatélites.
<i>Stakeholder</i> de origem	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites.
Cumprimento	Mandatário.
Tipo de Requisito	Funcional.
Base lógica	Este requisito está relacionado com os objetivos do projeto ETB, em relação da capacidade de um sistema de adquirir dados de várias missões espaciais Brasileiras.
Critério de aceitação	A estação deve ser compatível com os Pico e Nanossatélites desenvolvidos no Brasil.
Estratégia de Verificação	Testes operacionais com estações e com satélites.



**RS02:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena para Pico e Nanossatélites deve envolver no seu desenvolvimento mão de obra nacional, tais como estudantes, pesquisadores, e fornecedores brasileiros.

Medida de Efetividade	Desenvolvimento em organizações brasileiras.
<i>Stakeholder</i> de origem	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites
Cumprimento	Desejável
Tipo de Requisito	Organizacional
Base lógica	Este requisito está relacionado com os objetivos do projeto ETB. Com o fim de nacionalizar esse tipo de produto.
Critério de aceitação	Envolvimento de mínimo 51% de mão de obra brasileira, tanto de desenvolvedores quanto de fornecedores, ou de estudantes estrangeiros que estejam matriculados em instituições de ensino brasileiras.
Estratégia de Verificação	Análise da equipe e dos equipamentos selecionados.

**RS03:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena deve ser capaz desenvolver um sistema que seja replicável para outros projetos de pequenos satélites.

Medida de Efetividade	Capacidade de replicação da estação
<i>Stakeholder</i> de origem	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites
Cumprimento	Mandatório
Tipo de Requisito	Organizacional
Base lógica	Este requisito está relacionado com o objetivo principal da missão. A estação terrena deve ser projetada com capacidade de replica em outros projetos, com o fim de criar independência tecnológica de empresas comerciais de estações terrenas no Brasil, e nas Américas.
Critério de aceitação	O sistema a ser concebido, e projetado deve ter os seguintes subsistemas para conseguir enviar e receber informação do satélite: Estrutura, Sistema irradiante, controle de antena, transceptor de RF, modem, software de missão e gerenciamento, interface de usuário.
Estratégia de Verificação	Análise do design e documentação da estação.

**RS04:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena deve projetar uma solução de baixo custo que inclua componentes COTS.

Medida de Efetividade	O custo deve ser igual ou menor a R\$ 30.000 e deve ter alocação de funções a componentes COTS e ou <i>artesanais</i> no projeto detalhado da ETB.
Stakeholder de origem	Desenvolvedores de Pico e Nanossatélites
Cumprimento	Mandatário
Tipo de Requisito	Restrição
Base lógica	Este requisito está relacionado com o objetivo principal da missão de estabelecer uma estação terrena de baixo custo, além de possibilitar o cumprimento do requisito RS03 (capacidade de replica em outros projetos).
Critério de aceitação	O sistema a ser concebido com máximo USD \$ 7500 (Cambio a 12 de fevereiro de 2016), e deve ser projetado pensando no uso de componentes COTS.
Estratégia de Verificação	Análise do projeto detalhado, e relação de custos.

**RS05:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena deve projetar um sistema que:

- **RS05A:** Efetue automaticamente operações de Telemetria para adquirir e registrar dados dos satélites e o *status*;
- **RS05B:** Efetue automaticamente operações de Comando para perguntar e controlar por várias funções dos satélites;
- **RS05C:** Efetue automaticamente operações de Controle para determinar parâmetros orbitais;
- **RS05D:** Agende automaticamente as passagens do satélite;
- **RS05E:** Monitore o carregamento do computador de bordo;
- **RS05F:** Efetue automaticamente operações de processamento de dados para apresentar todos os dados científicos (.log) e de engenharia (.xls) nos formatos necessários para seu entendimento;
- **RS05G:** Efetue operações automáticas de posicionamento de antenas e de sintonização do rádio;
- **RS05G:** Permita enlaces de voz e dados para outras estações terrestres em todo o mundo e centros de processamento.
- **RS05H:** realize alarmes via e-mail, visuais e sonoras.



Medida de Efetividade	A estação tem que ser moderna, e funcionar de acordo com o nível de automação das estações do mercado.
Stakeholder de origem	Operadores de estações terrenas
Cumprimento	Mandatário
Tipo de requisito	Funcional
Base lógica	Este requisito está relacionado com o objetivo principal da missão.
Critério de aceitação	A equipe da estação terrena deve projetar sistemas para: Operações de Telemetria; Operações de Comando Operações de Controle Agendamento de passagens Monitoramento de computador de bordo; Operações de posicionamento de antenas Operações de sintonização do rádio; Alarmes automáticos.
Estratégia de Verificação	Análise e revisão do projeto preliminar, e testes operacionais.

**RS06:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena para Pico e Nanossatélites deve desenvolver um sistema capaz de modificar a frequência, modulação, taxa de dados, e o protocolo do enlace para possuir compatibilidade com todos os satélites do requisito (**RS01**):

Medida de Efetividade	A estação deve ter dinamismo e flexibilidade de operação.
Cumprimento	Mandatário
Tipo de Requisito	Funcional
Stakeholder de origem	Operadores de estações terrenas
Base lógica	Este requisito está relacionado com o objetivo principal da missão de estabelecer comunicação com sete diferentes Pico e Nanossatélites brasileiros.
Critério de aceitação	Capacidade de mudança de parâmetros em operação de vários satélites ao mesmo tempo.
Estratégia de Verificação	Análise do design, testes operacionais.

**RS07:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena para Pico e Nanossatélites deve desenvolver um sistema com uma filosofia modular, para conseguir intercambiar componentes e realizar manutenção sem originar danos na estação.

Medida de Efetividade	Capacidade de manutenção
<i>Stakeholder</i> de origem	Operadores de estações terrenas
Cumprimento	Mandatário
Tipo de Requisito	Operacional
Base lógica	Este requisito está relacionado com o objetivo principal da missão, sobre flexibilizar a manutenção e a troca de componentes genéricos.
Critério de aceitação	Troca de componentes físicos e <i>Software</i> sem afetar o funcionamento da estação.
Estratégia de Verificação	Estabelecimento de comunicação mudando de <i>software</i> , e testes com diferentes <i>hardwares</i> .

**RS08:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena para Pico e Nanossatélites deve desenvolver um sistema a partir das normas da ESA, aplicáveis ao segmento solo:

Medida de Efetividade	Projeto do sistema de acordo dos itens das normas ECSS-E-70 PART 1A e ECSS-E-ST-10C. [DA01, DA02]
<i>Stakeholder</i> de origem	Pesquisadores e Cientistas
Cumprimento	Mandatário
Tipo de Requisito	Organizacional
Base lógica	Este requisito está relacionado com o cumprimento de todas as regulações nacionais e internacionais que uma estação terrena deve contemplar no desenvolvimento da sua arquitetura.
Critério de aceitação	Cumprimento da norma.
Estratégia de Verificação	Análise da missão.

**RS09:** A equipe de desenvolvimento da estação terrena para Pico e Nanossatélites deve desenvolver um sistema a partir das normas ITU, IARU e ANATEL, aplicáveis ao serviço radioamador:

Resolução (ANATEL) nº 449, de 17 de novembro de 2006;

Resolução (ANATEL) nº 452, de 11 de dezembro de 2006;

Resolução (ANATEL) nº 242, de 30 de novembro de 2000.



Medida de Efetividade	Projeto do sistema de acordo dos itens das normas N° 242, N° 449, e N° 452 da ANATEL. [DA03, DA04, DA05]
Stakeholder de origem	Organizações de coordenação de frequências Serviço Radioamador Pesquisadores e Cientistas
Tipo de Requisito	Mandatório
Tipo de Requisito	Organizacional
Base lógica	Este requisito está relacionado com o cumprimento de todas as regulações nacionais e internacionais que uma estação terrena deve contemplar no seu desenvolvimento.
Critério de aceitação	Cumprimento das normas do serviço radioamador.
Estratégia de Verificação	Análise da missão.

## 8.2. Requisitos de missão

ID	Origem	T	Requisito (capacidade da missão)
RM.01.001	RS01/ RS01	F	A organização de desenvolvimento deve proporcionar um sistema modular de estação terrena para Pico e Nanosatélites.
RM.01.002	RS01/ RS01		A organização de desenvolvimento deve proporcionar um sistema estação terrena para Pico e Nanosatélites que funcione 24/7.
ID	Origem	T	Requisito (características da missão)
RM.02.001	RS06	O	A organização de desenvolvimento deve proporcionar uma estação terrena compatível e modificável para estabelecer comunicação com os satélites TANCREDO-1, SERPENS (SETOR A), ITASAT-1 NANOSATC-BR1, NANOSATC-BR2.
RM.02.001	RS06	O	A organização de desenvolvimento deve proporcionar uma estação terrena composta por componentes COTS, e <i>artesanais</i> .
ID	Origem	T	Restrição
RM.03.001	RS09	O	A organização de desenvolvimento deve proporcionar uma estação terrena que esteja de acordo com as normas internacionais de comunicação espacial IARU, ITU, e do serviço radioamador da ANATEL.
RM.03.002	RS04	R	O custo total de desenvolvimento da estação terrena é de R\$30.000,00
RM.03.003	RS01	R	A organização de desenvolvimento deve projetar a estação em menos de 2 anos.
ID	Origem	T	Requisito organizacional
RM.04.001	RS02	O	A organização de desenvolvimento da estação terrena deve envolver organizações e mão de obra nacional.
RM.04.002	RS08	O	A organização de desenvolvimento da estação terrena deve desenvolver um sistema baseando-se nas normas da ECSS aplicáveis ao segmento solo
RM.04.003	RS03	O	A organização de desenvolvimento deve documentar o processo de desenvolvimento para replicá-lo em outros projetos.



## **ANEXO B – ANÁLISE DE MISSÃO**



PROGRAMA PROGRAM	DOCUMENTO/ DOCUMENT NO. LSIS-002	
ETB	PÁGINA / PAGE i	VERSÃO / ISSUE 1

TÍTULO / TITLE

## ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA: ANÁLISE DE MISSÃO

CÓDIGO / CODE A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

PREPARADO POR / PREPARED BY

APROVADO POR / APPROVED BY

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Jaime Enrique Orduy Rodriguez  
Pesquisa e Desenvolvimento DATA/DATE

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Geilson Loureiro  
Tecnologista sênior DATA/DATE

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME DATA/DATE

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Walter Abrahão dos Santos  
Tecnologista sênior DATA/DATE

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME DATA/DATE

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Douglas Soares dos Santos  
Gerente técnico DATA/DATE

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME DATA/DATE



## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA.....	1
3. TERMOS E DEFINIÇÕES .....	1
3.1. Abreviaturas.....	2
4. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO GLOBAL DO PROJETO.....	2
5. CONCEITO GENÉRICO DA MISSÃO.....	4
6. DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DE UMA MISSÃO ESPACIAL.....	4
6.1. Arquitetura da missão espacial.....	5
6.2. Funções do Segmento Solo.....	5
6.3. Sistema de Estação Terrena (GSTS); .....	6
6.4. Tipos de Sistema de Estação Terrena (Ground Station System – GSTS).....	6
7. CONCEITO OPERACIONAL DA ETB .....	7
7.1. Estações terrenas no Brasil .....	7
7.2. Tipo e função da ETB .....	8
7.3. Satélites a rastrear .....	8
7.4. Cobertura da estação .....	9
7.5. Telemetria e Telecomando .....	10
7.6. Fluxo de Dados para Usuário Final .....	11
8. TRADE OFF DE SISTEMAS DE ESTAÇÕES TERRENAS .....	12
8.1. Trade off de estações terrenas .....	13
8.1.1 Estações no Brasil .....	14
8.1.2 Estações das Américas .....	15
8.1.3 Estações da Europa.....	19



## 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta o processo de análise de missão para definir o projeto, que, segundo a definição do INCOSE também é denominado processo de análise do negócio (*Business Analysis Process*).

A definição dos requisitos começa com a visão do negócio da organização ou empresa, o conceito de operações (ConOps) e, os objetivos e metas da empresa, a partir deles a gestão de negócios (Missão) define as necessidades do negócio (Missão).

No conteúdo encontram-se as características da missão, fundamentado a necessidade de sua realização.

## 2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS

**DA01** ECSS-E-70 Part 1<sup>a</sup> (25 April 2000): *Ground systems and operations — Part 1: Principles and requirements.*

**DA02** LSIS-001 Análise de *Stakeholders* e requisitos de missão.

**DA03** LIT21-LIT00-ES-001. Nanossatélite AESP14: Análise de *stakeholder* e requisitos de missão.

**DR04** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general.*

**DR05** *Diseño de estación terrena para picosatélites e implementación de software para el movimiento autónomo de antenas.* Tunja (Colômbia). 2010.

**DR06** CAMPONOGARA, Â. Desenvolvimento de uma estação terrena (et) para o Nanossatélite científico brasileiro - Nanosatc-br. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, Laboratório de Radiofrequência e Comunicações LRC/CRS/CCR/INPE – MCT. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (Santa Maria, RS), p.70. 2011.

**DR07** ISIS. About ISIS, 2015. Disponível em: <

<http://www.isispace.nl/cms/index.php/2011-07-20-09-31-21> >. Acesso em: 15 out. 2015.



**DR08** WERTZ, J. R.; EVERETT, D. F.; PUSCHELL, J. J. Space Mission Engineering: The New SMAD (Space Technology Library, Vol. 28). Hawthorne, CA: Microcosm Press, 2011.

### 3. TERMOS E DEFINIÇÕES

**Stakeholder:** entidades, indivíduos ou organizações interessadas no desenvolvimento de um sistema ou produto, e têm o direito de participar nele.

**Full duplex:** modo de operação onde dados podem ser transmitidos e recebidos simultaneamente.

#### 3.1. Abreviaturas

AEB – Agência Espacial Brasileira.

AFSK - *Audio Frequency Shift Keying*

AZ – *Azimuth*

BPSK - *Binary Phase-Shift Keying*

CBERS – *China Brazil Earth Resources Satellite*

CGS – *CubeSat Ground Station*

COTS – *Commercial Off-The-Shelf*

CRC – Centro de Rastreo e Controle de Satélites.

CRS – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais

DA – Documento aplicável.

DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial.

ECSS – *European Cooperation for Space Standardization*

EGSE – *Electrical Ground Support Equipment*

EL – Elevação

ETB – Estação Terrena Brasileira

ETE- Engenharia e Tecnologias espaciais.

FM – *Frequency Modulation*

G3RUH FSK - *Gaussian frequency shift keying*

GCS – *Ground Communication SubNet*

GS – *Ground Station*

GSTS – *Ground Station System*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.



ISIS – *Innovative Solutions In Space.*

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

LC/SDR – *Low Cost Software Defined Radio*

MCS – *Mission Control System*

MCTI – Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação.

MHz – *Mega Hertz*

MMGS – *Mobile Modular Ground Station*

MSK - *Minimum-Shift Keying*

N/A – Não Aplica

PAR – Pardinho.

RG – Rio Grande do Sul

SATNOGS - *Satellite Networked Open Ground Station*

SID – Sem Informação disponível

SP – São Paulo

UWE – Universidade de Wuerzburg

USA – *Universidad Sergio Arboleda*

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria.

UHF – *Ultra High Frequency.*

UPTC - *Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia.*

VHF – *Very High Frequency.*



#### 4. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO GLOBAL DO PROJETO

O objetivo do projeto ETB é conceber, projetar, implementar e operar uma estação terrena para Pico e Nanossatélites, desenvolvida por alunos de pós-graduação do curso de Engenharia e Tecnologia Espacial do INPE, sob a orientação de professores e técnicos especialistas no segmento solo de missões espaciais. O projeto permitirá atender a atual necessidade de possuir um segmento solo próprio, modificável e compatível com todas as missões espaciais brasileiras desse porte.

#### 5. CONCEITO GENÉRICO DA MISSÃO

O projeto ETB consiste em uma pesquisa da área espacial, focada no segmento solo de Pico e Nanossatélites, com o desenvolvimento de uma estação terrena, gerando inclusão de mão de obra nacional, e flexibilizando as operações e o custo do sistema. A ETB tem como objetivo rastrear, enviar telecomandos e receber telemetrias dos satélites de órbita baixa (LEO) especificamente dos Pico e Nanossatélites brasileiros que se encontram na faixa de 350km e 850 km.

#### 6. DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DE UMA MISSÃO ESPACIAL

Esta seção apresenta o conceito operacional de uma missão espacial.

##### 6.1. Arquitetura da missão espacial.

Todas as missões espaciais consistem de um conjunto de oito elementos ou componentes, que juntos conformam a arquitetura de uma missão, como pode ser observado na Figura 1 [DA08].



Figura 1 – Arquitetura de uma Missão Espacial

Fonte: Adaptada de Wertz (2011).

- 1) Aplicação: objetivo principal para o qual a missão é construída;
- 2) Segmento Espacial (plataforma do satélite): correspondendo aos subsistemas principais do satélite;
- 3) Segmento Espacial (carga útil do satélite): correspondendo aos equipamentos que executam o objetivo para o qual o satélite foi construído;
- 4) Segmento Missão: consiste no pessoal e os equipamentos para executar a operação da missão;
- 5) Órbita: corresponde ao curso ou trajetória do segmento espacial no espaço;
- 6) Arquitetura de controle, comando e comunicações: corresponde ao conjunto de componentes que satisfazem os requisitos de enlaces de comunicação, comando e controle entre os segmentos;
- 7) Segmento lançador: inclui a infraestrutura de lançamento e o foguete que enviará o veículo espacial à órbita;
- 8) Segmento Solo: corresponde à infraestrutura e ao equipamento em terra destinado ao envio de comandos, recepção de telemetria e rastreamento do satélite.



## 6.2. Funções do Segmento Solo

O segmento solo, segundo a norma ECSS (2000) [DA01], que trata sobre os sistemas terrestres e operações, é composto por:

- c) **Organizações de operações de solo:** compreendem os recursos humanos que executam diversas tarefas operacionais e preparam os dados das operações da missão, isto é, procedimentos, documentação, parâmetros de missão, dados de descrição de missão.
- d) **Sistemas de solo:** correspondem a todos os elementos de infraestrutura em terra que são usados para apoiar as atividades de preparação que antecedem à fase operacional da missão, condução das operações da missão e das atividades pós-operacionais.

Dentro dos elementos do sistema de solo se encontram (ECSS, 2000):

- Sistema de Controle de Missão (MCS);
- Equipamentos Elétricos de Suporte em Terra (EGSE);
- **Sistema de Estação Terrena (GSTS);**
- Sub rede de Comunicação terrena (GCS).

## 6.3. Sistema de Estação Terrena (GSTS);

Uma estação terrena é a primeira e última peça no enlace de comunicação. Seu principal propósito é realizar seguimento ao satélite e receber seus dados para posteriormente fazer a análise. Como funções da estação se encontram:

- a) Operações de Telemetria para adquirir e registrar dados de satélite e o *status*;
- b) Operações de Comando para interrogar e controlar as várias funções do satélite;
- c) Operações de Controle para determinar parâmetros orbitais, agendar as passagens do satélite, e monitorar o carregamento do computador de bordo;



- d) Operações de processamento de dados para apresentar todos os dados científicos e de engenharia nos formatos necessários para a evolução bem-sucedida da missão;
- e) Permitir enlaces de voz e dados para outras estações terrestres em todo o mundo e centros de processamento.

#### 6.4. Tipos de Sistema de Estação Terrena (*Ground Station System – GSTS*)

As estações terrenas podem ser classificadas por sua localização em:

- d) Estação fixa: é uma estação que está localizada em um único ponto determinado.
- e) Estação móvel: é aquela estação que consegue estabelecer comunicação com o satélite em diferentes pontos ou em movimento.
- f) Estação móvel modular: é uma estação geralmente de pequenas dimensões que possui a capacidade de ser desmontada para ser transportada com facilidade a qualquer lugar.

Também podem ser classificadas de acordo com a sua função:

- c) Estações de Rastreamento e Controle de Satélites (TT&C): estas, além de receber os dados de funcionamento de todos os subsistemas de bordo, telecomandam a configuração e funcionamento dos mesmos, e são usadas para executar as medidas de distância e velocidade dos satélites.
- d) Estações de Recepção de Dados de Carga Útil (ME): estas são dedicadas à recepção de dados gerados pelos instrumentos embarcados que determinam a missão do satélite.
- e) Estações de Rastreamento de Satélites (ERS): estações que conseguem (escutar) receber os dados de funcionamento de todos os subsistemas de bordo e executar as medidas de distância e velocidade dos satélites, porém, sem telecomandar a configuração e funcionamento dos mesmos.

## 7. CONCEITO OPERACIONAL DA ETB

Esta seção faz referência a função do projeto ETB.

### 7.1. Estações terrenas no Brasil

No Brasil existem, além das estações do INPE, para o rastreo e controle dos satélites de grande porte (CBERS e SCD-1/2), duas estações do tipo “*Small Satellite Ground Stations*” [DA03] como se observa na Figura 2. Essas estações são destinadas à operação de pequenos satélites do tipo Micro, Pico e Nano. As duas únicas estações deste porte, que foram adquiridas de uma empresa internacional (ISIS) [DA07], estão localizadas uma no DCTA-ITA (SP), e outra em Santa Maria (RS), e operam nas faixas de frequências: 144-146 MHz, 430-440 MHz e 2400-2402 MHz (esta última só para recepção).

Devido ao número crescente de projetos de pequenos satélites e, a falta de estações terrenas no Brasil para suportar sua operação, a criação de uma nova estação desenvolvida pensando nas necessidades desses projetos, converte-se em indispensável.



Figura 2 – Duas únicas estações terrenas para pequenos satélites no Brasil

Fonte: [DA03].

## 7.2. Tipo e função da ETB

Com o fim de estabelecer comunicação via *Full Duplex* com os satélites brasileiros, a ETB deverá ser uma **Estação fixa de Rastreo e Controle de Satélites (TT&C)**, recebendo os dados de funcionamento de todos os subsistemas de bordo, e telecomandando a configuração e funcionamento dos mesmos.

A estação deverá possuir um modulo de *software*, ou vários, para decodificação dos dados da *Payload* dos satélites brasileiros.

### 1.2.3. Análise Funcional da missão

O objetivo da ETB é conseguir implementar um sistema de estação terrena multimissão para atender aos satélites desenvolvidos no Brasil, como parte do conceito operacional de uma missão espacial. Apresentado na figura

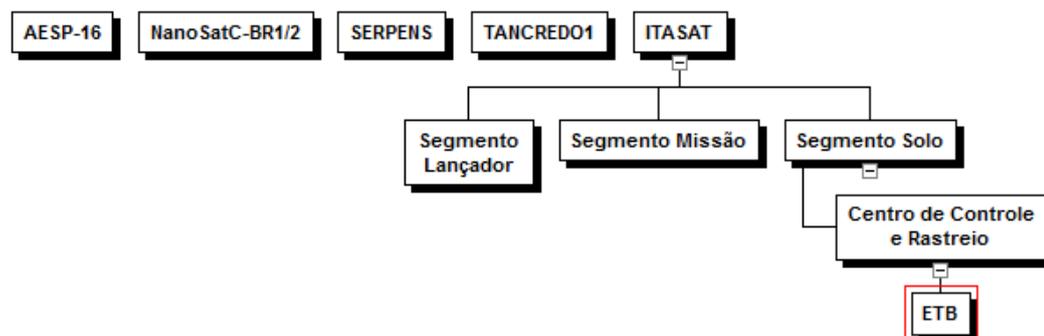


Figura 3 – Conceito operacional da ETB.

## 7.3. Satélites a rastrear

O objetivo da ETB é rastrear os satélites, em princípio desenvolvidos no brasil, mas que exista no seu desenvolvimento a capacidade poder rastrear os satélites da América Latina. Porém o critério de aceitação da estação será a compatibilidade com os satélites brasileiros que já foram lançados e, os satélites e ainda se encontram em fase de desenvolvimento.

Devido à falta de informação de todos os projetos de *CubeSats* ou de pequenos satélites, do tipo Pico e Nano, serão aceitos os seguintes satélites como referência:

- NanosatC-BR1 (INPE-UFSM)
- NanosatC-BR2 (INPE-UFSM-ITA)
- AESP-14 (SLIMSAT - AESP-16) (INPE-ITA)
- SERPENS (Setor A) (AEB-UnB)
- TANCREDO-1 (Escola Tancredo Neves-INPE)
- ITASAT (ITA)

As especificações dos satélites levados em consideração para a função da ETB, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Satélites Brasileiros (2014-2016)

Satélite	NanosatC-BR1/BR2	AESP-14/16	Serpens-SA	TANCREDO1	ITASAT
Tamanho	1U (Pico)	1U (Pico)	1.5U (Nano)	1U (Pico)	6U (Nano)
Frequência Up (Mhz)	435.131	145800	145980	437500	145800
Frequência Down (Mhz)	145.686	437500	437365	437500	437500
Potência out (Watt)	0,2	1	0,5	0,5	0,2
Protocolo de com.	AX.25	AX.25	AX.25 PUS/CSP	AX.25	AX.25
Modulação	BPSK- AFSK	G3RUH FSK	MSK	AFSK/FM	AFSK/FM
Taxa (bps)	1200/9600	9600	1200/9600	1200	1200

#### 7.4. Cobertura da estação

A figura 3, apresenta a simulação da cobertura máxima possível da ETB com uma potência de 50W, para orbitas de 350 km e 850 km, simulação feita por meio do STK.

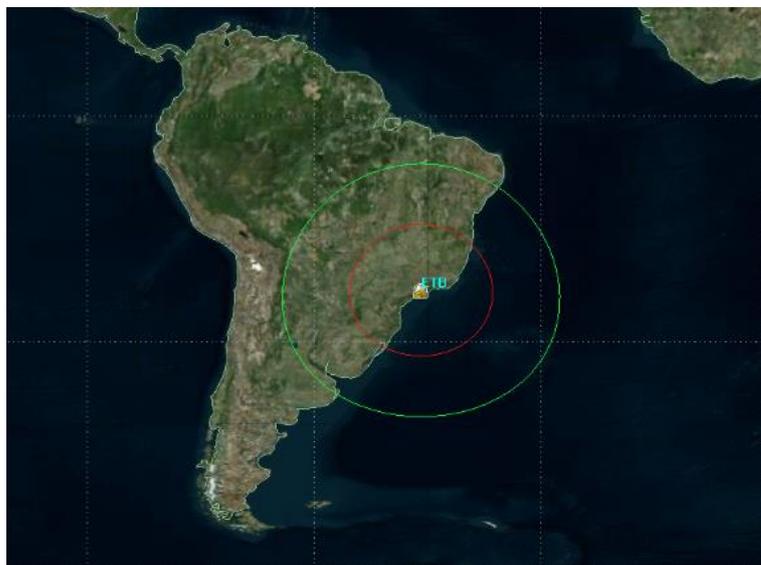


Figura 4 – Área de cobertura da ETB em altitudes entre (350 km e 850 km)

Fonte: STK.

## 7.5. Telemetria e Telecomando

Para receber telemetria dos satélites, a estação terrena deverá possuir receptor capaz de estabelecer o enlace de comunicação entre os dois segmentos. A partir dos dados dos satélites estabelecidos previamente, pode-se definir que a potência mínima que a estação deverá receber é de 200 mW, sendo este o valor mais baixo de potência de transmissão dos satélites (NanosatC-BR1/Itasat-1), portanto, com esse valor a estação poderá se comunicar com os outros 6 satélites. O tempo médio de transmissão será de 10 minutos e taxa de entre 1200-9600 bps. É necessário também estabelecer os danos que geram os efeitos adicionais no enlace de comunicação entre o satélite e a estação, sendo, chuva, condições da ionosfera no local de operação, além das mudanças do efeito Doppler. (Realizado por meio do cálculo de enlace o *Link Budget*)

A potência de transmissão da estação deverá também ser suficiente para suportar o enlace, levando em consideração a sensibilidade dos equipamentos dos satélites, em média a estação como mínimo deverá considerar 50W de potência de saída no transmissor.

Estabelecem-se as faixas das frequências de transmissão em 145 MHz e 435 MHz, e para recepção em 435 MHz e 2.4 GHz, sendo a frequência em Banda S opcional, já que no momento não existem satélites que estejam operando com essa banda, porém estabelece-se como um requisito desejável para a suportar uma nova geração destes satélites.

### 7.6. *Autotracking*

A antena da estação Terrena conseguirá estabelecer comunicação sendo apontada para a possível localização do satélite com base na previsão do modelo orbital. Assim, que a antena receber o sinal de *beacon* gerado pelo satélite, corrigirá automaticamente a sua posição em relação ao satélite por meio do sistema *autotracking*, assim, atualizando o modelo orbital com os novos parâmetros.

### 7.7. Fluxo de Dados para Usuário Final

Os dados obtidos do enlace de comunicação com os satélites serão disponibilizados para as comunidades científica e tecnológica nacional e internacional, por meio de intercâmbios interinstitucionais. Porém as informações geradas por meio do serviço radioamador, serão disponibilizadas imediatamente por meio do site do INPE.

### 7.8. Produto (Estação terrena)



Figura 5 – Diagrama do produto ETB



### ***Estrutura Mecânica***

Estrutura que serve de suporte mecânico a qual se integrará todos os componentes e dispositivos que compõem o a estação. Considerar os seguintes requisitos:

Acomodação das antenas na parte exterior do local de operação;

Acomodação dos componentes e dos subsistemas no interior do local de operação;

Capacidade para resistir às forças dinâmicas produto da movimentação das antenas;

Provisão de proteção ambiental;

Alinhamento;

Percursos elétricos e técnicos;

Acessibilidade.

### ***Subsistema Irradiante***

Este subsistema é responsável envio de sinais adaptados ao satélite. Ele contempla as antenas, conversores, amplificadores, chaves de distribuição. Considerar os seguintes requisitos:

A estação deve possuir uma antena de UHF;

A estação deve possuir uma antena de VHF.

A estação deve possuir uma antena de BANDA S (Opcional)

### ***Controle de antena***

Este subsistema é responsável pela movimentação das antenas às posições de contato com o satélite. Ele contempla o acople com a estrutura mecânica, as linhas de transmissão ao local interior de operação e a interface digital ao computador da estação. Considerar os seguintes requisitos:

A estação deve possuir um rotor para antenas VHF e UHF diferente ao rotor de banda S.



### ***Transceptor***

Este subsistema é responsável pela transmissão via RF de informação desde terra para o satélite, e de receber respostas e informação na banda de frequência atribuída. Considerar os seguintes requisitos:

A estação é livre de realizar a transcepção com um único componente, ou dividir as funções de transmissão e recepção em dois componentes, porém continuam sendo um único sistema.

A estação deve implementar um SDR.

### ***Modem***

Este subsistema é responsável de realizar a interface entre o computador da estação e o transceptor de RF, isto é, entre o digital e o analógico. Considerar os seguintes requisitos:

A estação deve possuir um modem preferivelmente em software.

A estação deve possuir um modem para cada combinação de modulação taxa de dados e protocolo de comunicação.

### ***Software***

Este subsistema é responsável de realizar o gerenciamento, o controle do rotor, o controle do rádio e o controle do modem, além de apresentar graficamente as informações para o operador da estação.

Este subsistema deve processar as informações recebidas ou a serem enviadas para o satélite assim como as informações internas da estação.

A estação dever contar com um software de missão para realizar o processamento da aquisição de dados do *payload* de cada Pico ou Nanossatélite.

## **8. TRADE OFF DE SISTEMAS DE ESTAÇÕES TERRENAS**

Esta seção apresenta uma análise '*trade off*' de 16 estações terrenas que foram encontradas na literatura de projetos *CubeSats* (Pico e Nanossatélites).

As referências foram divididas em grupos de quatro estações, para facilitar a compreensão e, para determinar tendências de desenvolvimento em zonas do mundo. Vale ressaltar que, as estações terrenas escolhidas possuem componentes ou detalhes significativos para determinar uma nova estação.

A primeira divisão se elaborou levando em consideração as estações que tem relação ao projeto, ou que tiveram participação nele, e principalmente focados no Brasil, como ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 – Estações terrenas próximas ao projeto ETB

Componentes	(1) INPE-ITA	(2) ITA	(3) UPTC	(4) PAR
<b>Origem</b>	Comprada	Desenvolvida	Desenvolvida	Desenvolvida
<b>Design</b>	ISIS®	Próprio	USA-GS	Próprio
<b>Estatus</b>	Ativa	Ativa	<i>Up grade</i>	Ativa
<b>Antena VHF</b>	M2 @2MCP14	Eggbeater	CUSHCRAF T 13B2	LFA
<b>Antena UHF</b>	M2 @2MCP30	Eggbeater	A449-11S	MOXON
<b>Antena Banda S</b>	PRIME FOCUS MESH DISH KIT 1.9 Meter DISH	SID	SID	SID
<b>Rotor</b>	AZEL-1000CB	N/A	YAESU G- 5500	N/A
<b>Controle do rotor</b>	RC2800	N/A	YAESU G- 5500	N/A
<b>Interface do rotor</b>	RS 232	N/A	GS 232B	N/A
<b>Transceptor</b>	USRP B200	FT8100R YAESU	Kenwood TM-D700	IC-706MKII
<b>Protocolo de Com</b>	AX.25	AX.25	AX.25	AX.25/FX.25
<b>SDR</b>	ISIS SDR transceiver	SID	SID	FUNCube <i>Dongle PRO+</i>
<b>Potencia</b>	UPS (APC)	Fonte 12v 10 <sup>a</sup> 120w	Fonte Diamond	Bateria 12v
<b>Computador</b>	Dell PowerEdge R210 –Tela HP 2311x	Mini PC ITX versão V Fanless	SID	HP Probook 4540s
<b>Modem</b>	Em <i>software</i>	M BP-2 M BP-96 <sup>a</sup>	SID	Em <i>Software</i>
<b>Custo USD</b>	49.300	639	3760	1057
<b>Custo R\$</b>	197.000.00	2.550.00	15.000.00	4.220.00

A segunda divisão se elaborou levando em consideração as estações foram encontradas no continente americano, e que tiveram diferenças entre si, como ilustra a Tabela 3.

Tabela 3 – Estações terrenas nas Américas

	(1') INPE-CRS	(2') USA	(3') MMGS	(4') CGS
<b>Antena VHF</b>	VHF Crossed Yagi (144-146 MHz)	Yagi- Uda M2 @2MCP14	N/A	Yagi- Uda M2 @2MCP22
<b>Antena UHF</b>	UHF Crossed Yagi (430-450MHz)	Yagi- Uda M2 @ 436CP303	Yagi- Uda M2 @ 436CP42	Yagi- Uda M2 @ 436CP42
<b>Antena B-S</b>	S-Band Dish	N/A	N/A	N/A
<b>Rotor</b>	AZ-1000 EL-1000	Yaesu @G-5500	Yaesu @G-5500	Yaesu @G-5500
<b>Controlador</b>	RC2800	Yaesu @G-5500	Yaesu @G-5500	UNI_TRAC 2000
<b>Interface digital</b>	N/A	GS-232B	GS-232B	N/A
<b>Transceptor</b>	ICOM IC-910h	Kenwood TM-D700A	Yaesu FT-847	ICOM IC-910H
<b>Modem</b>	TNC7Multi TNC31S	TNC	TNC	IC MX614
<b>Esquemas de Modulação</b>	AFSK 1k2 FSK 9k6 BPKS 1k2	GMSK - FSK 1k2- 9k6	N/A	AFSK 1k2
<b>Protocolo de Com.</b>	AX.25	AX.25	AX.25	AX.25
<b>Software de rastreo</b>	WiSP Orbitron	NOVA/ SatScape	NOVA	NLSA NOVA
<b>Sistema operacional</b>	Debian/ GNU Linux	Windows	Windows	Windows XP/98
<b>Software TT&amp;C</b>	<i>Ground Station Client</i>	WISP DDE client v 4.1	<i>Software Proprietário</i>	UNI_TRAC 2000
<b>Software Gerenciador</b>	WiSP DDE	N/A	N/A	Java JDK 1.3.0_03
<b>Custo USD\$</b>	36.000	3.820	4.600	5.400
<b>Custo R\$</b>	143.600	15.200	18.400	21.550

A terceira divisão se elaborou levando em consideração as estações foram encontradas no continente europeu, e da mesma forma, que tiveram diferenças entre si, como ilustra a Tabela 4.

Tabela 4 – Estações terrenas na Europa

	(1'') UWE	(2'') Low-Cost	(3'') LC/SDR	(4'') SatNOGS
<b>Antena VHF</b>	Yagi- Uda M2 @2MCP22	WIMO X-Quad 12 elements (10,5)	WIMO X-Quad 12 elements (13)	Helical/Yagi (Artesanal)
<b>Antena UHF</b>	Yagi- Uda M2 @ 436CP42U/G	WIMO X-Quad 18 elements (12,8)	WIMO X-Quad 18 elements (15)	Helical/Yagi (Artesanal)
<b>Antena B-S</b>	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Rotor</b>	Yaesu @G-5500	Yaesu @G-5500	Yaesu @G-5500	SatNOGS 3D Print rotator
<b>Controlador</b>	Yaesu @G-5500	Yaesu @G-5500	Yaesu @G-5500	ARDUINO Pro Micro +
<b>Interface digital</b>	Rotor Computer Interface WinRotor XP	GS-232B	GS-232B	Tracking Software (Phyton)
<b>Transceptor</b>	ICOM IC-910H / Yaesu @ 847	ICOM IC-910H	IC PCR-1500	RTL2832U Chip
<b>SDR</b>		WSJT Software	SDR-IQ	R820T RTL-SDR/(ShinySRD+ GNU RADIO)
<b>Modem</b>	TNC4e	TNC (KPC9612)	Em Software	IC MX614
<b>Esquemas de Modulação</b>	AFSK 1k2 FSK 9k6 BPKS 1k2	AFSK 1200 /FSK 9600	AFSK 1200 /FSK 9600	(AFSK 1200 - FSK 9600)
<b>Prot. de Com.</b>	AX.25	AX.25	AX.25	AX.25
<b>Software de rastreo</b>	NOVA	SatPC32	SatPC32	SatNOGS tracking / Gpredict
<b>Sistema operacional</b>	Windows XP	Windows	Windows	RaspberryPi UdroidU3
<b>Software TT&amp;C</b>	<i>System Log</i>	AGW Packet Engine	<i>Software Proprietário</i>	SatNOGS Client
<b>Software Gerenciador</b>	MercuryGS System	GSS Software App	HRD	Management Interface
<b>Custo USD \$</b>	8.950	5.700	5.000	3.720
<b>Custo R\$</b>	35.715	22.800	19.900	14.900

## 8.1. Análise de Trade off de estações terrenas

### 8.1.1 Estações no Brasil

As quatro estações possuem características diferentes, a Tabela 5 apresenta as características relevantes das estações, na frente encontra-se a qualificação por meio de um símbolo verde ou vermelho, mostrando o grau de aceitação.

Tabela 5 – Diferenças de Estações no Brasil

(1) INPE-ITA	(2) ITA
Estação Comprada; (x) Estação fixa de (TT&C); (√) Usa SDR; (√) Acopla antena e transceptor Banda S; (√) O Preço é o mais elevado das 16 estações encontradas, supera os R\$ 20.000; (x) Software e Hardware proprietário, possui Copyright; (x) O modem é em software. (√)	Estação desenvolvida; (√) Estação móvel modular de (TT&C); (x) Usa rádio analógico; (x) Usa antena omnidirecional; (√) Não precisa de controle de antena; (√) O Preço é o mais baixo das 16 estações encontradas; (√) Possui dois hardwares diferentes (modem); (x) Feita por conhecimento de radioamadorismo. (√)
(3) UPTC	(4) PAR
Estação desenvolvida; (√) Estação fixa de (ERS); (x) Usa rádio analógico; (x) Usa muito Hardware e pouco Software; (x) Não está completa. (x) Baixo preço de desenvolvimento; (√) Feita por conhecimento de radioamadorismo. (√)	Estação desenvolvida; (√) Estação móvel de (TT&C); (√) Uso de SDR; (√) Mínimo Uso de componentes em Hardware; (√) Não precisa de controle de antena; (√) O modem é em software; (√) Baixo preço de desenvolvimento. (√) Feita por conhecimento de radioamadorismo. (√)

As estações no geral possuem os mesmos subsistemas, algumas das estações usam antenas que não precisam de controle, baixando o custo de desenvolvimento.

A estação que obteve melhor qualificação foi a estação PAR, desenvolvida pelo radioamador Edson Pereira. Essa estação possui características que o projeto ETB



deseja ter no seu desenvolvimento, como: (i) Uso de SDR, (ii) mínimo Uso de componentes em Hardware, (iii) modem em *software*, e (iv) baixo custo de desenvolvimento.

A tendência no Brasil, é a compra das estações, porém a tendência é se apoiar no serviço radioamador brasileiro para desenvolver este tipo de sistemas.

### 8.1.2 Estações das Américas

As quatro estações possuem características diferentes, a Tabela 6 apresenta uma visão ampla destas diferenças:

Tabela 6 – Diferenças de Estações na América Latina

(1') INPE-CRS	(2') USA
Estação Comprada; (x) Estação fixa de (TT&C); (√) Usa rádio analógico; (x) É o segundo preço é o mais elevado das 16 estações encontradas, supera os R\$ 20.000; (x) <i>Software</i> e <i>Hardware</i> proprietário, possui Copyright; (x) O modem é em <i>Hardware</i> , usa <i>TNC</i> . (x)	Estação desenvolvida; (√) Estação fixa de (TT&C); (√) Usa rádio analógico; (x) Usa muito <i>Hardware</i> e pouco <i>Software</i> ; (x) Depois do projeto Libertad-1 ficou inoperativa; (x) Baixo preço de desenvolvimento; (√) O modem é em <i>Hardware</i> , usa <i>TNC</i> ; (x) Feita por conhecimento de radioamadorismo. (√)
(3') MMGS	(4') CGS
Estação desenvolvida; (√) Estação móvel modular (ERS); (x) Usa rádio analógico; (x) Usa muito <i>Hardware</i> e pouco <i>Software</i> ; (x) Não está completa; (x) Baixo preço de desenvolvimento; (√) O modem é em <i>Hardware</i> , usa <i>TNC</i> . (x)	Estação desenvolvida; (√) Estação móvel de (TT&C); (√) Usa rádio analógico; (x) O preço supera os R\$ 20.000; (x) O modem é em <i>Hardware</i> . (x)



As características deste conjunto de estações terrenas, desenvolvidas na América Latina, não satisfazem as necessidades que o projeto ETB procura para seu desenvolvimento, portanto são desclassificadas todas.

A tendência na América Latina é usar mais *hardware* do que *software* no desenvolvimento, porém eles também estão sendo apoiados pelo serviço radioamador para desenvolver este tipo de sistemas.

### 8.1.3 Estações da Europa

As quatro estações possuem características diferentes, na Tabela 7 se apresenta uma visão ampla destas diferenças:

Tabela 7 – Diferenças de Estações na Europa

(1'') UWE	(2'') Low-Cost
Estação desenvolvida; (✓) Estação fixa de (TT&C); (✓) Usa rádio analógico; (x) Acoplada a uma rede de estações terrenas (Mercury); (✓) O preço supera os R\$ 30.000; (x) Usa muito <i>Hardware</i> e pouco <i>Software</i> ; (x) O modem é em <i>Hardware</i> , usa <i>TNC</i> . (x)	Estação desenvolvida; (✓) Estação fixa de (TT&C); (✓) Usa rádio analógico; (x) Construída para acople ao GENSO (rede de estações terrenas); (✓) Usa muito <i>Hardware</i> e pouco <i>Software</i> ; (x) O modem é em <i>Hardware</i> , usa <i>TNC</i> . (x)
(3'') Low Cost-SDR	(4'') SatNOGS
Estação desenvolvida; (✓) Estação fixa de (TT&C); (✓) Usa de SDR; (✓) Construída para acople ao GENSO (rede de estações terrenas); (✓) Mínimo Uso de componentes em <i>Hardware</i> ; (✓) Baixo preço de desenvolvimento; (✓) O modem é em <i>Software</i> . (✓)	Estação desenvolvida; (✓) Estação móvel modular de (TT&C); (x) Usa de SDR; (✓) Construída para acople ao SatNOGS (rede de estações terrenas); (✓) Mínimo Uso de componentes em <i>Hardware</i> ; (✓) Controle de antena proprietário, LIVRE; (✓) O modem é em <i>software</i> ; (✓) Baixo preço de desenvolvimento. (✓)

As estações que obtiveram melhor qualificação foram: a estação Low-Cost SDR, e SatNOGS desenvolvidas no ambiente de uma rede de estações terrenas. Essas estações possuem características que o projeto ETB deseja ter no seu desenvolvimento, como: (i) Uso de SDR, (ii) construída para acople a uma rede de estações terrenas, (iii) mínimo uso de componentes em Hardware, (iv) controle de antena proprietário, (v) modem é em software, (vi) baixo custo de desenvolvimento.

A tendência na Europa, apreciada por meio destas estações, é a construção da estação terrena como parte de projetos de Pico e Nanossatélites, mas além do projeto do segmento espacial, é a aderência a projetos de redes de estações terrenas que visam a disponibilizar o material de desenvolvimento tanto de *hardware* quanto de *software*, e assim criar uma consciência de apoio mutuo, trabalho que ainda não é visto no Brasil, nem na América Latina. Resultado do Análise trade off da possível configuração da estação, Tabela 8.

Tabela 8: Possível conjunto de componentes para a ETB

Classificação	ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA	
<b>Origem</b>	Desenvolvida no Brasil	
<b>Design</b>	INPE	
<b>Estatus</b>	Em desenvolvimento	
<b>Componentes</b>	<i>Hardware</i>	<i>Software</i>
<b>Antena VHF</b>	M2 @2MCP14	-
<b>Antena UHF</b>	M2 @2MCP30	-
<b>Antena Banda S</b>	PRIME FOCUS MESH DISH KIT 1.9 Meter DISH	-
<b>Rotor</b>	YAESU G-5500	-
<b>Controle do rotor</b>	YAESU G-5500	-
<b>Interface do rotor</b>	GS 232B	Rotor Controller
<b>Protocolo de Comunicação</b>	AX.25 / FX.25 / CSP	
<b>Receptor</b>	FUNCube Dongle pro+	SDR #
<b>Transmissor</b>	USRP B2000	-
<b>Potência</b>	120/220 VOLTS / UPS (APC)	-
<b>Computador</b>	Dell Corei7	Linux
<b>Modem</b>	N/A	Em software
<b>Acople a REDE</b>	SatNet	
<b>Custo USD</b>	7.500,00	
<b>Custo R\$</b>	-30.000,00	

## 8.2. As-Is / To-Be (Como é, como deve ser feito)

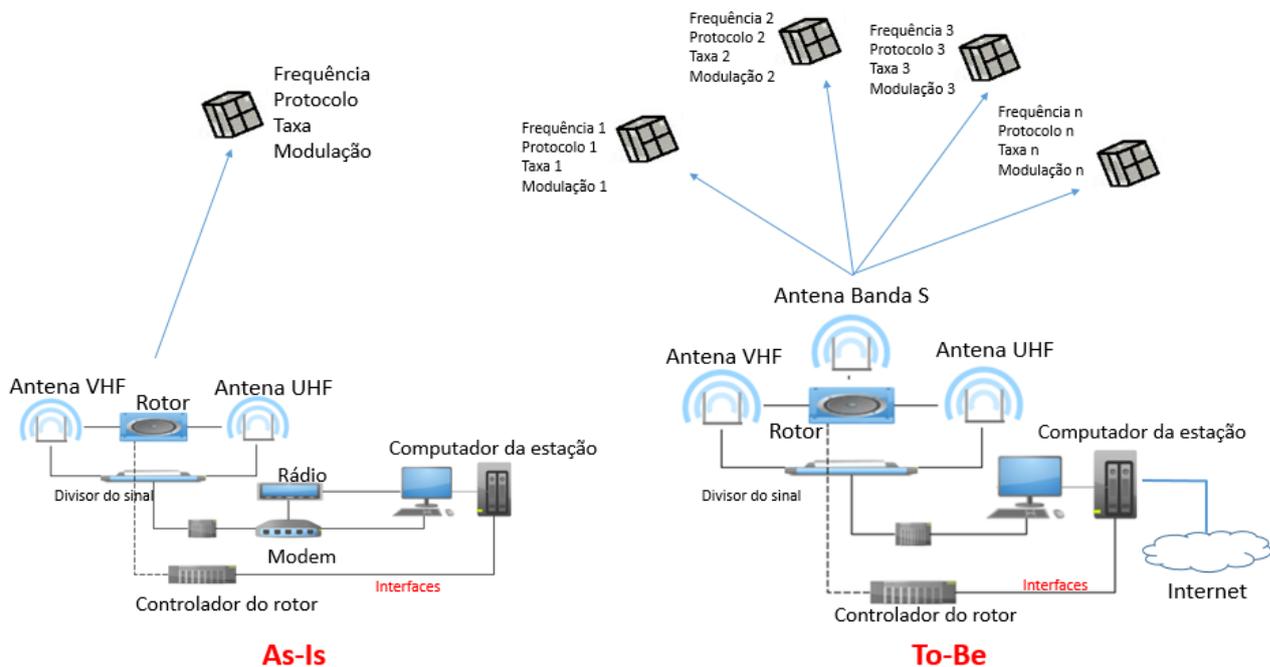


Figura 6: AS-IS / TO-BE da ETB



## **ANEXO C – ARQUITETURA OPERACIONAL DA MISSÃO**



PROGRAMA  
PROGRAM

DOCUMENTO/ DOCUMENT NO.

LSIS-003

PÁGINA / PAGE

VERSÃO / ISSUE

i

1

TÍTULO / TITLE

**ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA:  
 DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA  
 OPERACIONAL DA MISSÃO ESPACIAL -  
 ARQUITETURA DA ETB**

CÓDIGO / CODE A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

PREPARADO POR / PREPARED BY

APROVADO POR / APPROVED BY

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME **Jaime Enrique Orduy Rodriguez** DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Pesquisa e Desenvolvimento

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME **Geilson Loureiro** DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Tecnologista sênior

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME **Walter Abrahão dos Santos** DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Tecnologista sênior

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME **Douglas Soares dos Santos** DATA/DATE \_\_\_\_\_  
 Gerente técnico

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
 NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_



## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	DOCUMENTOS APLICÁVEIS .....	1
3.	TERMOS E DEFINIÇÕES .....	1
3.1.	ABREVIATURAS .....	2
4.	ARQUITETURA OPERACIONAL DA MISSÃO ESPACIAL .....	3
4.1.	Contexto da ETB na missão espacial .....	3
5.	ARQUITETURA OPERACIONAL DA MISSÃO DA ETB .....	4
6.	INTERFACES DOS ELEMENTOS DA ARQUITETURA DA MISSÃO ESPACIAL .....	5
6.1.	Segmento Espacial- Estação Terrena .....	6
6.2.	Estação Terrena - Controle de Missão .....	6
6.3.	Estação Terrena – Operações .....	6
6.4.	Operações - Controle de Missão .....	7
7.	INTERFACES DOS ELEMENTOS DA ARQUITETURA DA ETB .....	8
7.1.	Gerenciador – Modem .....	8
7.2.	Gerenciador – Transceptor .....	8
7.3.	Gerenciador – Controle de Antena .....	9
7.4.	Modem – Transceptor .....	9
7.5.	Transceptor – Irradiante .....	9
7.6.	Irradiante – Controle de Antena .....	9
8.	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS SEGUNDO A FASE DO SEGMENTO ESPACIAL ....	10
8.1.	Na Fase de AIT .....	11
8.2.	Fase operacional .....	11
8.2.1.	Na Fase operação em órbita AOS (Pre-passada) .....	11
8.2.2.	Na Fase operação em órbita TCA (Passada) .....	12
8.2.3.	Na Fase operação em órbita LOS (Pós-passada) .....	12
8.2.	Na Fase de Descarte do satélite. ....	12



## 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta o contexto da ETB dentro da arquitetura da missão espacial, descrevendo suas interfaces. Detalha-se o funcionamento dos elementos em cada fase da missão.

## 2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS

**DA01** ECSS-E-70 Part 1<sup>a</sup> (25 April 2000): *Ground systems and operations — Part 1: Principles and requirements.*

**DA02** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general requirements.*

**DA02** LSIS-001 Análise de *Stakeholders* e requisitos de missão.

**DA03** LSIS-002 Análise de missão da ETB.

**DA04** LIT21-LIT00-ES-002. Nanossatélite AESP14: Análise de missão.

**DR05** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general.*

**DR06** *Diseño de estación terrena para picosatélites e implementación de software para el movimiento autónomo de antenas.* Tunja (Colômbia). 2010.

**DR07** WERTZ, J. R.; EVERETT, D. F.; PUSCHELL, J. J. *Space Mission Engineering The New SMAD (Space Technology Library, Vol. 28).* Hawthorne, CA: Microcosm Press, 2011.

## 3. TERMOS E DEFINIÇÕES

**Full duplex:** modo de operação onde dados podem ser transmitidos e recebidos simultaneamente.

**FI (Frequência intermédia):** Denomina-se FI à frequência com que os rádios que utilizam o princípio de *superheterodyne*, é obtido a partir do sinal misto antena sintonizada com uma frequência variável gerada localmente usando um oscilador local (LO) e ela manter uma diferença constante. Esta diferença entre as duas frequências é precisamente a frequência intermédia.



**Keys:** segundo AMSAT-CT (2002) são basicamente números (dados matemáticos), que permitem determinar as órbitas dos satélites inclusive dos astros e estrelas.

**AX.25:** AX.25 é um protocolo de camada de enlace de dados derivados do conjunto de protocolos X.25 e projetado para uso por operadores de radioamador.

**FX.25:** FX.25 é uma extensão do protocolo de camada de protocolo AX.25. FX.25 fornece uma capacidade *Forward Error Correction* (FEC), mantendo a compatibilidade legado com equipamentos não-FEC.

### 3.1. ABREVIATURAS

AEB – Agência Espacial Brasileira.

CRC – Centro de Rastreo e Controle de Satélites.

DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial.

ETB – Estação Terrena Brasileira.

ETE- Engenharia e Tecnologias espaciais.

GUI – *Graphical User Interface*.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.

ISIS – *Innovative Solutions In Space*.

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

MCTI – Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação.

STI – Serviço de Tecnologia da Informação.

TLE – *Two Line Elements*.

UHF – *Ultra High Frequency*.

VHF – *Very High Frequency*.

## 4. ARQUITETURA OPERACIONAL DA MISSÃO ESPACIAL

### 4.1. Contexto da ETB na missão espacial

No momento existem sete Pico e Nanossatélites brasileiros (Referenciados no DA-LSIS-002), levando em consideração os satélites em fases de desenvolvimento, como o ITASAT, e prontos para lançar como o Tancredo-1. Uma estação terrena, ETB, propõe-se operar em São José dos Campos para obter dados desses sete satélites, pelo período que as missões de cada satélite estabeleçam conveniente.

A estação terrena se encontra dentro do conceito operacional da missão espacial, como se apresenta na Figura 1, os satélites em órbita enviam telemetrias para a estação, a estação terrena envia comandos para o satélite, e os dados recebidos são processados no centro de missão. Porém essa topologia é mais flexível para as missões com Pico e Nanossatélites, devido que a estação terrena e, o centro de missão são misturados ou empacotados em uma única unidade e em um único local geográfico, isto para, poder oferecer de uma forma rápida as informações da saúde do satélite aos desenvolvedores do projeto, e os dados de missão aos usuários da carga útil. Contudo a estação terrena não compreende o segmento solo em sua totalidade, já que, o segmento solo leva em consideração as redes de comunicação entre o usuário e os dados, as redes internas de envio de informação, e uma série de processos operacionais que não serão contemplados no desenvolvimento da estação.

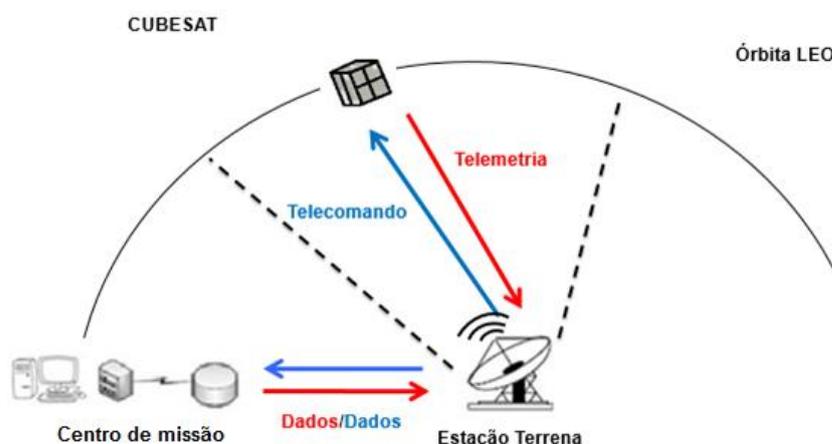


Figura 1 – Conceito de operação da missão

## 5. ARQUITETURA OPERACIONAL DA MISSÃO DA ETB

As estações terrenas tradicionais para Pico e Nanossatélites estão divididas internamente subsistemas, como apresenta a Figura 2. A ETB contará com seis subsistemas denominados a seguir:

1. Subsistema Irradiante (Hardware)
2. Subsistema de Controle de Antena (Hardware)
3. Subsistema de Comunicação (20% Hardware – 70% Software)
4. Subsistema de Modulação (20% Hardware – 70% Software)
5. Subsistema de Software – Gerenciador/ Usuário (Software)
6. Subsistema Estrutural (Hardware)

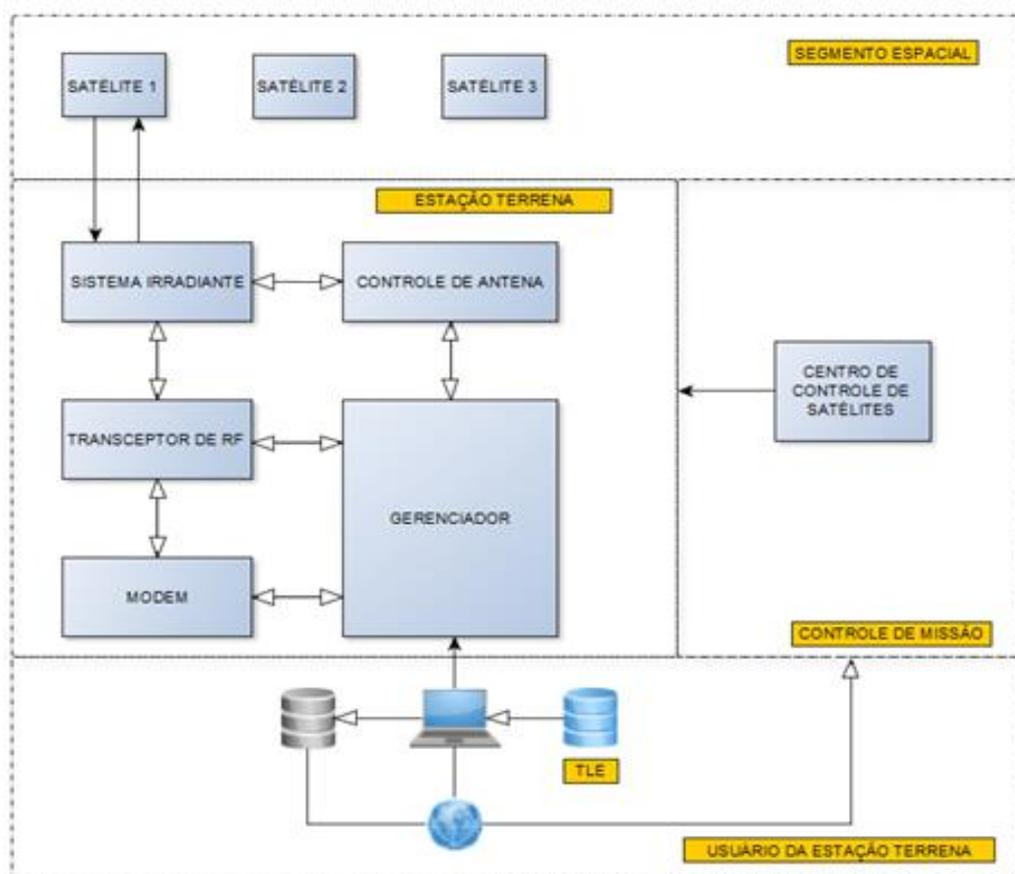


Figura 2 – Conceito de operação da estação



## 6. INTERFACES DOS ELEMENTOS DA ARQUITETURA DA MISSÃO ESPACIAL

### 6.1. Segmento Espacial- Estação Terrena

O satélite (Segmento espacial) comunica-se com a estação terrena por meio de rádio frequência (RF), com o fim de enviar telemetrias e receber telecomandos. A estação realizará envio de telecomando, recepção de telemetria, rastreamento do satélite e salvamento de dados. O intercâmbio de informação deverá ser feito em duas vias, isto é, *Full Duplex*. As frequências para transmissão da estação devem ser na faixa de 135 MHz, e de recepção nas faixas de 435 MHz e 2.4 GHz. O protocolo de comunicação deve ser o protocolo de operação do satélite que é rastreado, como mínimo a estação deverá aceitar o protocolo AX.25 e FX.25.

### 6.2. Estação Terrena - Controle de Missão

A estação terrena se comunica com os proprietários das missões espaciais, ou seja, os desenvolvedores dos projetos de Pico e Nanossatélites, por meio da internet. A rede para esse intercâmbio de informações estará a cargo do Serviço de Tecnologia da Informação (STI) do INPE.

### 6.3. Estação Terrena – Operações

O uso da estação terrena é restrito unicamente para os estudantes de graduação e pós-graduação do INPE e do ITA, a disponibilização dos dados da saúde do satélite é livre, os dados da missão são restritos. Os operadores coletarão os dados e seu processamento para enviá-los nos formatos selecionados pelas organizações das missões. O monitoramento poderá ser presencial, ou virtual por meio da rede segura do INPE, ou por meio do uso do aplicativo *TeamViewer*, disponível na internet.



## 6.4. Operações - Controle de Missão

Uma vez seja estabelecido o mecanismo de intercâmbio de informação das missões espaciais dos Pico e Nanossatélites, deverá estabelecer-se o mecanismo de transferência dos pacotes de informação obtidos na estação. Deverá haver comunicação entre as operações e a missão para determinar: o tamanho máximo do pacote a enviar, a quantidade de arquivos necessários, a extensão do arquivo, a periodicidade do envio, e o horário de transmissão, além de coordenar as datas e horários das passagens e as melhores condições para adquirir dados como a inclinação e o ângulo da passada. As decisões de envio de telecomandos é função única do controle da missão, efetuada pelos operadores da estação.

## 7. INTERFACES DOS ELEMENTOS DA ARQUITETURA DA ETB

### 7.1. Gerenciador – Modem

O gerenciador é o organizador da estação, é ele quem orquestra o fluxo de informação. O gerenciador por meio de uma GUI recebe as características das modulações, as taxas de dados e, o protocolo dos satélites que serão rastreados na estação. O gerenciador funciona em duas vias, ele seleciona o tipo de modulação na transmissão e de recepção do satélite, e ordena ajustar o modem, por outro lado envia informação desde o computador digitalmente para o modem e inclui o tipo de empacotamento dos dados, quer dizer, o protocolo.

### 7.2. Gerenciador – Transceptor

O gerenciador por meio de uma GUI recebe as características das frequências dos satélites que serão rastreados na estação, ele envia para o transceptor ordens para que o transceptor ajuste e sintonize as frequências de transmissão e de recepção.



### 7.3. Gerenciador – Controle de Antena

O gerenciador por meio de internet recebe dados dos elementos keplerianos (TLE) dos satélites que serão rastreados na estação, ele envia para o controle de antena a posição inicial de transmissão, movimentando continuamente as antenas enquanto a passada do satélite está na área de cobertura, e retorna o conjunto de antenas para posição denominada repouso.

### 7.4. Modem – Transceptor

O modem após receber uma ordem do gerenciador para ajustar a taxa de dados, a modulação e o protocolo, envia um pacote em uma frequência intermedia (FI) ao transceptor, o qual, passará o pacote à frequência de envio do para a antena ao ambiente, sendo 135 MHz ou 435 MHz.

### 7.5. Transceptor – Subsistema Irradiante

O transceptor após receber uma ordem do gerenciador para ajustar a frequência dos satélites, converterá a frequência intermedia entregue com o pacote de informação do modem de ondas elétricas a ondas eletromagnéticas para ser entregadas ao ambiente.

### 7.6. Irradiante – Controle de Antena

O Controle de Antena após receber uma ordem do gerenciador, movimentando o conjunto de antenas, neste ponto já são previamente estabelecidos: as frequências, a taxa de dados, a modulação e o protocolo de comunicação, sendo a última peça no envio e/ou recepção de informação.



## 8. DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS SEGUNDO A FASE DO SEGMENTO ESPACIAL

### 8.1. Na Fase de AIT

- Os satélites quando estiverem em solo, nas fases de validação e verificação, devem passar por testes operacionais do sistema de telecomunicações. O segmento solo por meio da Estação terrena –ETB- deve estar preparada para comissionar a missão com a adaptação das especificações dos satélites a operar, tanto em terra quanto em solo.
- Em solo devem ser ajustados os procedimentos e devem ser realizadas as demonstrações operacionais do sistema de estação terrena – ETB.

### 8.2. Fase operacional

- Quando o satélite é novo no espaço, nas primeiras órbitas, ele opera em modo de validação, no qual a estação terrena envia telecomandos e avalia a recepção de telemetrias enviadas pelo satélite.
- Quando o satélite se encontra em modo nominal, isto é, operação principal da missão, captura de dados e envio e recepção dessa informação no cumprimento da sua missão estabelecida.

#### 8.2.1. Na Fase operação em órbita AOS (Pré-passada)

- Quando o satélite vai entrar na área de cobertura da estação, ver Figura 3, em modo nominal, as antenas movimentam-se três minutos antes na posição inicial de contato.

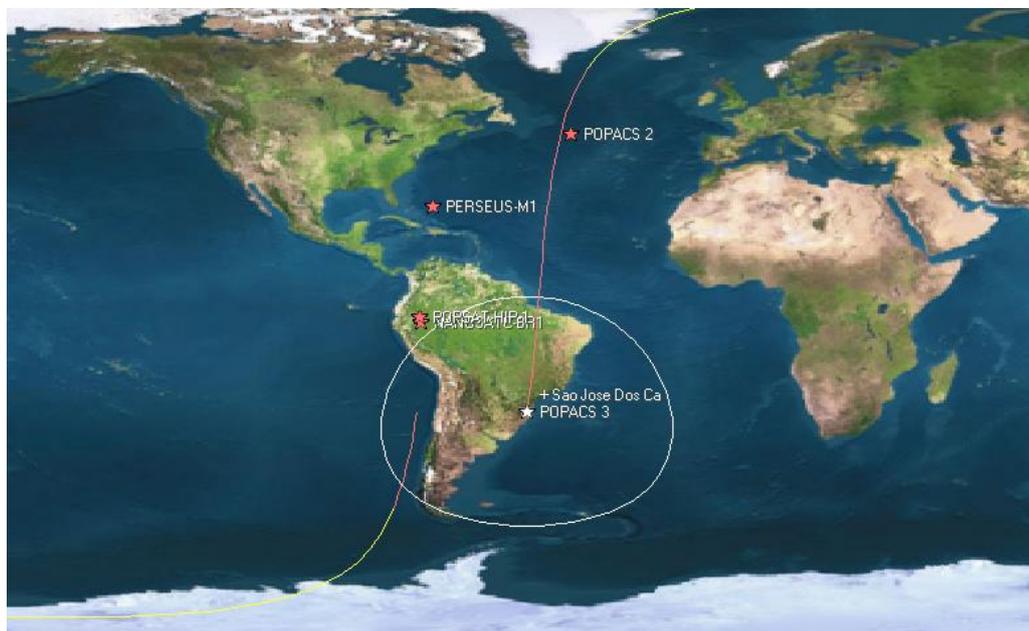


Figura 3 – Área de cobertura da ETB

Fonte: STK

- Na posição de contato a estação deve ajustar todos os parâmetros relacionados com o satélite a rastrear, para, quando o satélite entrar na área de cobertura comece a transmitir informação ao solo.
- Antes da passada a estação ajustara as prioridades de rastreo, isto é, o satélite que precise de mais tempo para descarregar dados, ou missões que precisem um tempo determinado, previamente estabelecidas.

### 8.2.2. Na Fase operação em órbita TCA (Passada)

- Após três minutos de repouso das antenas na posição de contato inicial, a estação começará a seguir o satélite em sua direção, nesta fase a estação é apta para enviar os telecomandos.



- A estação nesta fase deve fazer automaticamente a movimentação das antenas, o ajuste do *Doppler*, e a recepção e salvamento dos dados de telemetria que vem do satélite.
- No caso de vários satélites brasileiros estejam sobre a estação, a prioridade estabelecida previamente ajustará automaticamente as características da estação, porém se a diferença de tempos permite, que, enquanto um satélite de prioridade menor seja possível a aquisição de seus dados, a estação deverá ajustar e estar pronta para atender o tempo necessário o satélite com prioridade menor, e após a entrada do satélite de maior importância, a estação mudará seus parâmetros para poder obter dados desse satélite.

### 8.2.3. Na Fase operação em órbita LOS (Pós-passada)

- Após o seguimento completo da orbita do satélite em uma passada especifica, a estação deverá permanecer três minutos em repouso na última posição de contato, isto para garantir que a maior quantidade de dados seja transmitida.

### 8.3. Na Fase de Descarte do satélite.

- Estes tipos de satélites, em sua maioria são projetados, por seu tipo de órbita, para permanecer dentro de um limite de tempo no espaço, nesse tempo o satélite não operará mais (em torno de dois a seis meses) assim que para o design da estação esta poderá servir para outros projetos diferentes, e não ficar amarrada somente a um projeto.

←----->



## **ANEXO D – REQUISITOS DO SISTEMA**



PROGRAMA PROGRAM	DOCUMENTO/ DOCUMENT NO.	
	LSIS-004	
ETB	PÁGINA / PAGE	VERSÃO / ISSUE
	i	1

TÍTULO / TITLE

**ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA:  
 REQUISITOS DO SISTEMA.**

CÓDIGO / CODE A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

PREPARADO POR / PREPARED BY

APROVADO POR / APPROVED BY

ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE
	Jaime Enrique Orduy Rodriguez	
	Pesquisa e Desenvolvimento	
ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE

ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE
	Geilson Loureiro	
	Tecnologista sênior	
ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE
	Walter Abrahão dos Santos	
	Tecnologista sênior	
ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE
	Douglas Soares dos Santos	
	Gerente técnico	
ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	_____	____/____/____ DATA/DATE



## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA .....	1
3.	TERMOS E DEFINIÇÕES .....	1
3.1.	Abreviaturas .....	2
4.	CENÁRIOS OPERACIONAIS DO SISTEMA .....	3
4.1.	AIT (Montagem, Integração e Testes) .....	3
4.2.	Operação .....	4
4.3.	Manutenção .....	4
4.4.	Atualização .....	5
4.5.	AMBIENTE OPERACIONAL .....	5
5.	CIRCUNSTANCIAS OPERACIONAIS DO SISTEMA .....	7
6.	ANÁLISE DE MODOS E ESTADOS DE OPERAÇÃO .....	7
6.1.	Modos em Estado Operacional .....	7
6.2.	Requisitos Operacionais .....	7
7.	REQUISITOS DE SISTEMA ETB .....	10



## 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta os requisitos do sistema Estação Terrena Brasileira (ETB), sendo apresentados separadamente de acordo com a natureza deles. Os requisitos do documento foram obtidos por meio das necessidades dos usuários, e dos documentos: Análise de Missão, e Arquitetura da Missão.

## 2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA

**DA01** ECSS-E-70 Part 1<sup>a</sup> (25 April 2000): *Ground systems and operations — Part 1: Principles and requirements.*

**DA02** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general requirements.*

**DA03** LSIS-001 Análise de *Stakeholders* e requisitos de missão.

**DA04** LSIS-002 Análise de missão da ETB.

**DA05** LSIS-002 Arquitetura da missão espacial e da ETB.

**DR06** *Diseño de estación terrena para picosatélites e implementación de software para el movimiento autónomo de antenas.* Tunja (Colômbia). 2010.

**DR07** WERTZ, J. R.; EVERETT, D. F.; PUSCHELL, J. J. *Space Mission Engineering: The New SMAD* (Space Technology Library, Vol. 28). Hawthorne, CA: Microcosm Press, 2011.

## 3. TERMOS E DEFINIÇÕES

**Cenário:** Cada caminho por meio das sequências e fluxos de eventos entre o sistema e o meio ambiente são denominados de cenários.

**Circunstância:** conjunto de estados em um ambiente do sistema.

**Contexto:** Conjunto de circunstâncias ou fatos que cercam um determinado evento, troca de material, energia ou informação.

**Estado:** Funcionalidades externas do sistema.

**Modo:** Funcionalidades internas do sistema.

## Abreviaturas

AEB – Agência Espacial Brasileira.

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações.

COTS – *Commercial Off-The-Shelf*.

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

CRC – Centro de Rastreamento e Controle de Satélites.

DA – Documento aplicável.

DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial.

ETE- Engenharia e Tecnologias espaciais.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.

ISIS – *Innovative Solutions In Space*.

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

ITU – *International Telecommunication Union*.

MCTI – Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação.

RS – Requisito de *Stakeholder*.

UHF – *Ultra High Frequency*.

VHF – *Very High Frequency*.

### 3. CENÁRIOS OPERACIONAIS DO SISTEMA

Foram identificados quatro cenários operacionais durante o ciclo de vida do produto (Estação Terrena Brasileira), apresentados na Figura 1. A partir dos cenários, também é possível definir requisitos para a ETB.



Figura 1 – Cenários operacionais do ciclo de vida do produto (ETB)

#### AIT (Montagem, Integração e Testes)

Em este cenário começa o ciclo de vida da estação terrena (ETB). Os componentes são montados no LIT do INPE, e são integrados e testados no local de operação. A estação passa por testes funcionais e operacionais. Estabelecem-se os seguintes requisitos de AIT de configuração do produto:

A organização de desenvolvimento deve garantir que a ETB seja montada, integrada e testada em território nacional.

A organização de desenvolvimento deve garantir que a montagem da ETB seja realizada em duas partes, no prédio LIT os componentes internos da estação, e no local de operação os componentes externos.

A organização de desenvolvimento deve garantir que todos os componentes (Produtos de telecomunicações) da estação estejam devidamente certificados e homologados de acordo com a resolução nº 242, de 30 de novembro de 2000 da ANATEL.



A organização de desenvolvimento deve realizar o tramite de licenciamento da estação terrena por meio da ANATEL, de acordo com a resolução nº 593, de 7 de junho de 2012.

A organização de desenvolvimento deve garantir que a estação terrena tenha uma filosofia modular na integração de seus sistemas e subsistemas.

### Operação

Em este cenário, os satélites estão em órbita, e a estação está pronta para ser usada. Estabelecem-se os seguintes requisitos de operação de configuração do produto:

A organização de desenvolvimento deve garantir que a operação da estação seja feita por estudantes, acompanhados pelo responsável da estação com licença de radioamador classe A.

A organização de desenvolvimento deve garantir que os telecomandos enviados para o satélite sejam os comandos adequados e aceitos pelo controle da missão de cada satélite.

A organização de desenvolvimento deve garantir que os telecomandos a serem enviados para o satélite, estejam na estação com no mínimo duas (2) horas de antecedência para encaminhar ao responsável pelo envio.

A organização de desenvolvimento deve garantir que a estação tenha telecomandos pré-estabelecidos para quando o satélite estiver sobre a estação, porém sem operador, a estação envie comandos perguntando sobre a saúde dos equipamentos de bordo.



## Manutenção

Em este cenário, a estação está ligada, mas sem poder ser usada. Em esse período de tempo, a estação receberá modificações de *software* ou de *hardware*. O cenário atualização contempla também os períodos de manutenção dos componentes moveis da estação. Estabelecem-se os seguintes requisitos de operação de configuração do produto:

A organização de desenvolvimento deve garantir que manutenção Interna seja feita por estudantes, assessorados pelo pessoal do serviço radioamador.

A organização de desenvolvimento deve garantir que manutenção Externa seja feita por pessoal especializado, em companhia de estudantes e com a assessoria do pessoal do serviço radioamador.

A organização de desenvolvimento deve garantir que manutenção da estação, especificamente das partes moveis, seja feita pelo menos uma vez cada ano.

## Atualização

O ciclo de vida da estação terrena, contempla o Descarte não como o fim de sua função, já que esta foi desenvolvida com filosofia modular, poderá ser potenciada e reusada até a degradação de todos seus componentes. Estabelecem-se os seguintes requisitos de operação de configuração do produto:

A organização de desenvolvimento deve garantir que as modificações no sistema no cenário de atualização da ETB sejam devidamente documentadas, até o retiro da mesma.

## AMBIENTE OPERACIONAL

O Cenário operacional é dividido em várias etapas, de forma sequencial: esperar satélites para ser rastreados, localizar o satélite preparando a operação, acompanhar o satélite, enviar telecomandos e receber telemetrias e voltar para repouso.



Figura 2 –Ambiente operacional da ETB

Quando a estação se encontra em operação, pode-se estabelecer o diagrama de contexto, como apresenta a Figura 3, a seguir.

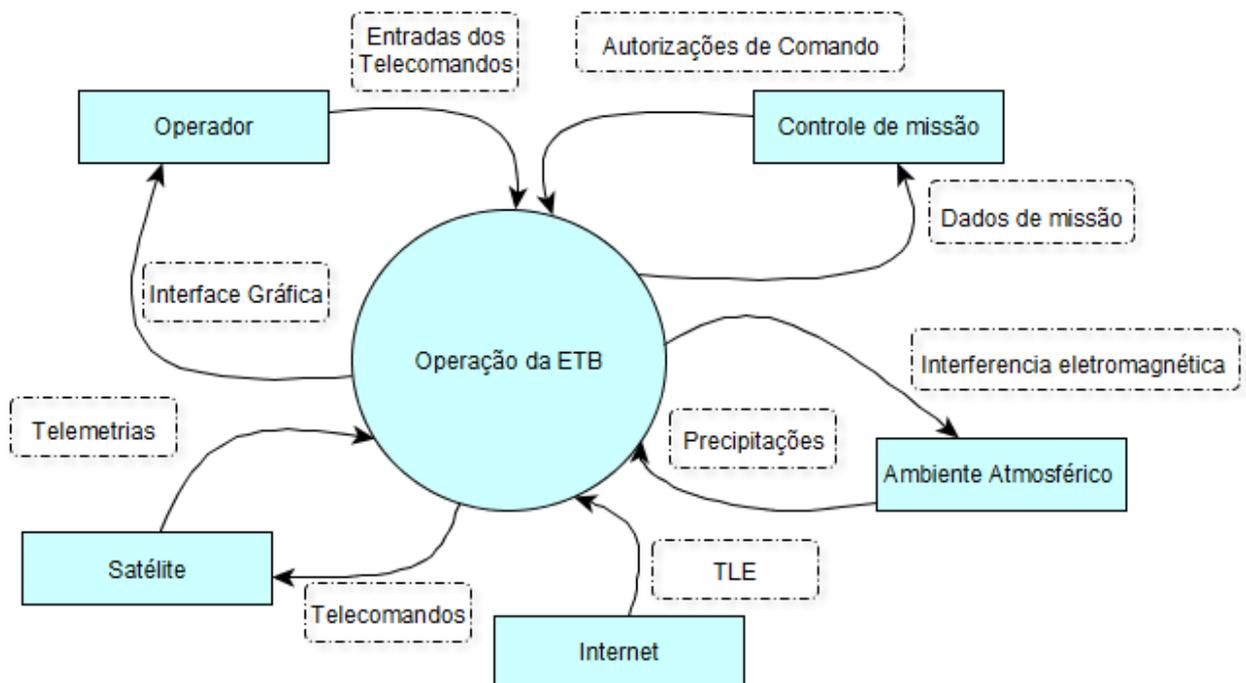


Figura 3 –Diagrama de contexto em operação da ETB



#### 4. CIRCUNSTANCIAS OPERACIONAIS DO SISTEMA

As circunstâncias são estados relevantes do ambiente que afetam o sistema, e devem se resolver em cada cenário. As circunstâncias estabelecem os limites nas condições de operação, e servirão para definir os estados e modos de funcionamento, a continuação, são definidas as seguintes circunstâncias de operação;

Suposições: A estação está ligada na tomada, e à internet.

1. Circunstância A estação está em contato com o satélite, e tem operador.
2. Circunstância 2: A estação está em contato com o satélite, e não tem operador.
3. Circunstância 1: A estação não está em contato com o satélite, e tem operador.
4. Circunstância 2: A estação não está em contato com o satélite, e não tem operador.

Tabela 1 – Análise de circunstâncias da ETB

Modo	Circunstância	
	Satélite em visada	Operador
<b>Modo 2</b>	SIM	SIM
<b>Modo 1</b>	SIM	NÃO
<b>Modo 2</b>	NÃO	SIM
<b>Modo 1</b>	NÃO	NÃO

## 5. ANÁLISE DE MODOS E ESTADOS DE OPERAÇÃO

Foram definidos os estados da ETB da seguinte forma, ver figura:

- 1. Estado repouso:** a estação terrena fica ligada, esperando satélites para rastrear, as antenas permanecem na posição inicial EL: 90° AZ 90° e os equipamentos ajustados com dados da última operação.
- 2. Estado Condicionamento:** já existe um satélite ajustado para rastrear, o gerenciador envia ordem ao controle de antena para se movimentar à posição inicial de contato em um ângulo de EL 15°, com respeito ao horizonte por onde o satélite aparecerá, e manterá essa posição durante três minutos até o satélite entrar na área de cobertura. O rádio e o modem serão ajustados nos parâmetros estabelecidos pelo satélite simultaneamente com a movimentação das antenas.  
  
Após a passada do satélite, a estação permanecerá três minutos na última posição de contato em um ângulo de EL 165° com respeito ao horizonte por onde o satélite perderá contato, a estação manterá o ajuste inicial nessa posição.
- 3. Estado Operacional:** a estação está operando um satélite, enviando telecomandos, recebendo telemetria, e realizando rastreo. A estação processa os dados e salva eles em uma pasta definida para cada satélite. Em este estado são movimentadas as antenas pela trajetória do satélite e, é ajustado o Doppler.
- 4. Estado Degradado:** a estação após a falha de um subsistema envia ao usuário uma mensagem, porém pode-se efetuar seguimento ou controle do satélite em modo nominal, já que o modo de operação automático se interromperá. Nesse estado a estação buscará a falha e tentara corrigi-la, se a estação não consegue corrigir para voltar a repouso a estação desativará todos os subsistemas e passará para estado não operacional.

5. **Estado Não Operacional:** a estação fica ligada, mas para tentar corrigir problemas, não se realiza rastreamento, comando, nem controle do segmento espacial. Neste estado também se efetuará a manutenção da estação energizando unicamente os componentes internos da estação.
6. **Estado Desligada:** a estação tem a capacidade de ser ligada e desligada as vezes que sejam necessárias, quando a energia elétrica falhar, ou a estação terrena permanecer no mínimo 15 minutos operativa, tempo máximo que permanecerá um satélite dentro da área de cobertura da estação, a energia será fornecida pela unidade de controle ininterrupta ligada aos equipamentos da estação.

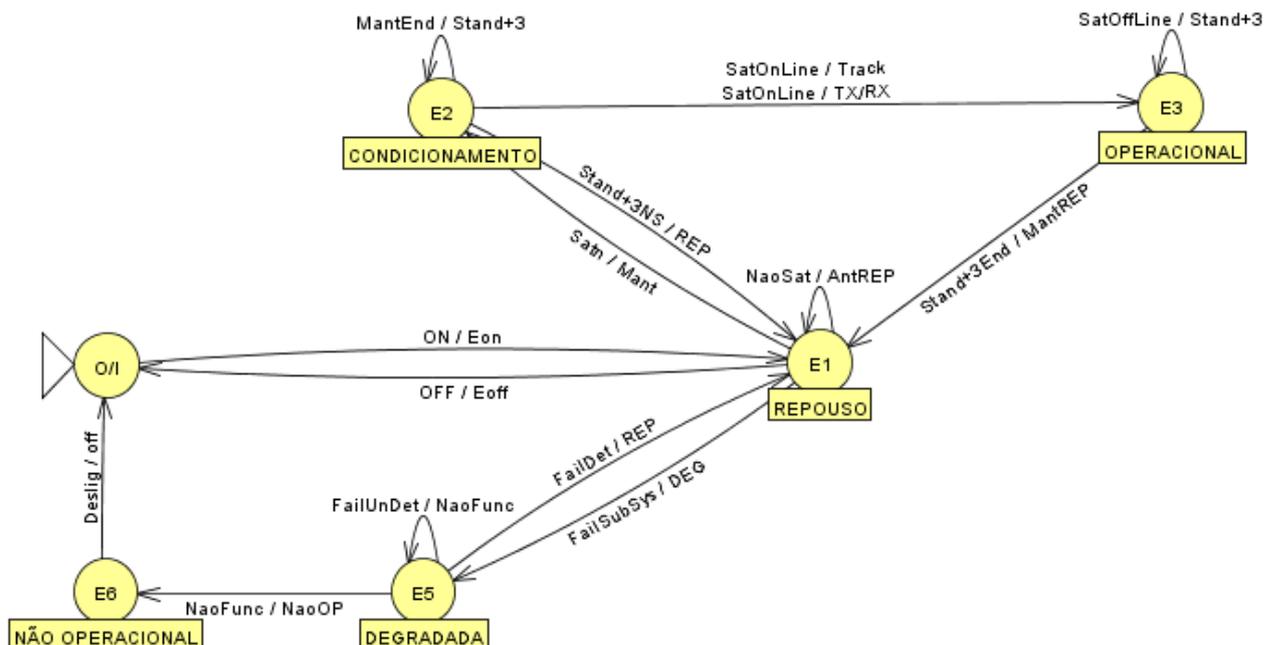


Figura 4 – Máquina de estados finita da ETB



Tabela 2 – Transição de Estados e modos da ETB

Estado	Condição	Próximo Estado	Ação
Repouso	<b>NãoSat:</b> Não há satélite para rastrear	Repouso	Antena Repouso
	<b>Satn:</b> Satélite para rastrear	Condicionamento	Mover antenas
	<b>FailSubSys:</b> Falha de subsistemas	Degradada	Aviso DEG
	<b>OFF:</b> Estação em off	Desligada O/I	Desligar
Condicionamento	<b>Stand+3NS:</b> não contato	Repouso	Mover antenas REP
	<b>SatOnLine:</b> Satélite enlaçado	Operacional	TX/RX
	<b>SatOnLine:</b> Satélite enlaçado	Operacional	Rastrear
Operacional	<b>SatOffline:</b> manter características	Operacional	Manter 3 min POS
	<b>SatOffline+3:</b> após 3 min do enlace	Repouso	Mover antenas REP
Degradada	<b>FailUnDet:</b> Não ID da falha	Degradada	Buscar falha
	<b>NãoFunc:</b> Loop falha	Não operacional	Aviso NÃO OPE
Não operacional	<b>Deslig:</b> Desligar sistema	Desligada O/I	Desligar
Desligada	<b>ON:</b> Estação em On	Ligada I/O	Ligar
	<b>StatusOK:</b> tudo ok na inicialização	Ligada I/O	Aviso Pronto Uso

Modos	Condição	Próximo Estado	Ação
(1) automático	<b>StatusOk:</b> tudo ok na inicialização	Operacional	Track - TX/RX
	<b>InternetOk:</b> acesso à internet	Operacional	Pegar TLE
(2) nominal	<b>OperatorIN:</b> Ingresso de um operador	Operacional	TX/RX
(3) falha	<b>StatusFalha:</b> Falha na inicialização	Degradada	Caça falhas
	<b>InternetFalha:</b> não há acesso à internet	Degradada	Revisar conexões



## Modos em Estado Operacional

- 1. Modo Automático:** a operação da estação é completamente automática, é efetuada quando não tem operador. A estação pega os dados da internet, pré-estabelece comandos de saúde, definidos no cadastro do satélite, ajusta a seleção do satélite, e seus parâmetros, movimenta as antenas, recebe e transmite informação e retorna a repouso.
- 2. Modo Nominal:** a operação da estação é efetuada pelo operador, ajustando os valores de: modulação, frequências, taxa de dados, e protocolo por meio da GUI de rádio; e inserindo o telecomando autorizado pelo controle de missão do satélite a ser rastreado, porém a operação das antenas é automática.
- 3. Modo Falha:** Quando algum subsistema não funciona corretamente a estação entra em modo Falha, porém pode receber telemetrias e dados da missão, capacidade limitada dependendo do subsistema afetado.

## Requisitos Operacionais

Os requisitos operacionais da estação serão gerados a partir da análise da máquina de estados e a adaptação de modos.

A Estação Terrena sempre deverá estar ligada à tomada.

Quando a estação não estiver ligada à tomada, ou cair a energia o sistema deverá ter uma UPS.

A Estação Terrena deve ter um estado 'Repouso'.

Ao mudar do estado 'Repouso' para o estado 'Condicionamento', a Estação Terrena deverá realizar a função mover as antenas a posição inicial de contato com o satélite a rastrear três minutos antes da passada.

Ao mudar do estado 'Repouso', para o estado 'Condicionamento', o Estação Terrena deverá ajustar os parâmetros de frequência, taxa de dados, modulação e protocolo do satélite a ser rastreado.



Quando ocorrer a aparição de um satélite perto da área de cobertura o estado 'Repouso', da Estação Terrena deve mudar para o Estado Condicionamento.

A Estação Terrena deve ter um estado 'Condicionamento'.

Ao mudar do estado 'Condicionamento', para o estado 'Operacional', a Estação Terrena deverá habilitar a transmissão de telecomandos e recepção de telemetrias.

Quando terminar a passada do satélite no estado 'Operacional', a Estação Terrena deve esperar três minutos e imediatamente mudar para o Estado Repouso.

A Estação Terrena deve ter um estado 'Operacional'.

Quando ocorrer a perda de rastreabilidade no estado 'Operacional', A Estação Terrena deve mudar para o estado Repouso e mostrar um aviso de 'conexão perdida'.

Ao mudar do estado 'Operacional', para o estado 'Repouso' a Estação Terrena deverá realizar a função mover as antenas a posição de repouso EL 90° AZ 90°.

A Estação Terrena quando se encontra em estado 'Operacional', deve ter os seguintes modos: modo 'Automático', modo 'Nominal', modo 'Degradado'.

Quando ocorrer que a inicialização da Estação terrena gerar uma avaliação correta de todos seus subsistemas, e estiver ligada à internet, a Estação Terrena estará em modo 'Automático', e somente receberá telemetrias e realizará rastreamento do satélite.

Quando ocorrer que a inicialização da Estação terrena gerar uma avaliação correta de todos seus subsistemas, e estiver ligada à internet, e receber *Login* de um operador cadastrado, a Estação Terrena estará em modo 'Nominal', e poderá realizar rastreamento do satélite, envio de telecomandos e recepção de telemetrias.

Quando ocorrer que a inicialização da Estação terrena gerar uma avaliação de falha de algum de seus subsistemas, e/ou não estiver ligada à internet, a Estação Terrena estará em modo 'Degradado', e somente receberá telemetrias e realizará rastreamento do satélite.

Ao mudar do modo 'Automático', para modo 'Nominal', a Estação Terrena deverá ativar envio de telecomandos.

Ao mudar do modo 'Automático', para modo 'Falha', a Estação Terrena deverá ativar uma verificação dos subsistemas.

Ao mudar do modo 'Nominal' para modo 'Automático', a Estação Terrena deverá desativar envio de telecomandos.



PROGRAMA PROGRAM	DOCUMENTO/ DOCUMENT NO. LSIS-004	
	PÁGINA / PAGE	VERSÃO / ISSUE 1

Ao mudar do modo 'Nominal' para modo 'falha', a Estação Terrena deverá ativar uma verificação dos subsistemas.

Ao mudar do modo 'Falha', para o Modo 'Nominal', a Estação Terrena deverá reportar a falha que achou e perguntar ao operador para continuar seguindo o satélite.

Ao mudar do modo 'Falha', para o Modo 'Automático', a Estação Terrena deverá reportar a falha que achou continuar seguindo o satélite.

Quando ocorrer o desligamento da tomada no modo 'Nominal', a Estação Terrena deve mudar para o Modo 'Falha'.

Quando ocorrer um reset no modo 'Falha', a Estação Terrena deve mudar para o modo 'Automático'.



## 6. REQUISITOS DE SISTEMA ETB

ID	Origem	Nec.	Requisitos do Sistema - Apoio Logístico (Produto)
S.02.001	RM.04.001	RS02	A Estação Terrena Brasileira deve ser montada, integrada e testada em território nacional.
			<b>Requisitos do Sistema - Garantia do Produto (Produto)</b>
S.02.002	RM.03.001	RS09	A Estação Terrena Brasileira deve satisfazer os requisitos da IARU, normas legais para uso das frequências de rádio comunicação.
			<b>Requisitos do Sistema - Design (Produto)</b>
S.02.003	RM.03.002	RS04	A Estação Terrena Brasileira deve empregar componentes COTS e artesanais na maioria de seus componentes.
S.02.004	RM.02.001	RS06	A Estação Terrena Brasileira deve estar projetada para operar satélites em órbita baixa (LEO) entre 350 e 850 km.
			<b>Requisitos do Sistema - Ambientais (Produto)</b>
S.02.005	-	-	A Estação Terrena Brasileira deve suportar as temperaturas externas do local de operação (São José dos Campos).
			<b>Requisitos do Sistema - Configuração (Produto)</b>
S.02.006	RM.01.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve estar projetada com filosofia modular.
S.02.007	-	RS05A	O terraço do prédio onde ficará a Estação Terrena Brasileira deve poder ser penetrado pela estrutura da antena, o local de operação deverá contar com buracos ou canais aptos para incluir as linhas de transmissão.
			<b>Requisitos Funcionais (Produto)</b>
S.02.008	RM.04.002	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve receber automaticamente telemetrias ( <i>housekeeping</i> ) contendo informações de medidas dos sensores e dados dos satélites.
S.02.009	RM.04.002	RS05B	A Estação Terrena Brasileira deve receber do centro de missão os comandos serem enviados.
S.02.010	RM.04.002		A Estação Terrena Brasileira deve verificar e executar os comandos para o controle remoto das funções dos satélites, bem como suas configurações e movimentos.
S.02.011	RM.04.002	RS05C	A Estação Terrena Brasileira deve determinar a posição dos satélites e seguir seus movimentos utilizando Informações das posições angulares (TLE) e respectivas velocidades.
S.02.012	RM.04.002	RS05D	A Estação Terrena Brasileira deve agendar automaticamente as passagens do satélite.
S.02.013	RM.04.002	RS05F	A Estação Terrena Brasileira deve recuperar, formatar e transmitir dados da carga útil.
S.02.014	RM.04.002	RS05G	A Estação Terrena Brasileira deve garantir a confiabilidade nas telecomunicações de serviço entre o segmento solo e o segmento espacial.
S.02.015	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve receber telemetria em UHF.
S.02.016	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve receber telemetria em BANDA S.
S.02.017	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve transmitir telecomando em VHF.
S.02.018	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve transmitir telecomando em UHF.
S.02.019	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve realizar medidas de distância.
S.02.020	RM.02.001	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve realizar medidas de velocidade.



S.02.021	RM.04.002	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve manter o padrão de tempo e frequência.
S.02.022	RM.04.002	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve monitorar os equipamentos da Estação, na inicialização e na operação.
S.02.023	RM.04.002	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve autenticar e validar os operadores em uma sessão.
S.02.024	RM.04.002	RS05A	A Estação Terrena Brasileira deve ajustar o nível de prioridade dos satélites a rastrear. A prioridade deve começar em 1 como mais alta.

ID	Origem	Requisitos operacionais (produto)
S.02.025	RM.01.002	A Estação Terrena Brasileira deve ficar ligada à tomada.
S.02.026	RM.01.002	A Estação Terrena Brasileira deverá possuir uma unidade de potência ininterrupta (UPS) de no mínimo 120 minutos de duração.
S.02.027	RM.01.002	Quando a estação não estiver ligada à tomada, ou cair a energia, a Estação Terrena Brasileira deverá inicializar com a UPS.
S.02.028	RM.03.001	A Estação Terrena Brasileira deve comunicar-se, enviar e receber informação, utilizando radiofrequências destinadas ao radioamadorismo.
S.02.029	RM.02.001	A Estação Terrena Brasileira deve manter a conexão com o satélite independentemente de sua altitude durante seu período de visita.
S.02.030	RM.02.001	Quando ocorrer a aparição de dois ou mais satélites sobre a área de cobertura, a Estação Terrena Brasileira deverá rastrear aquela que tiver o nível mais alto de prioridade.
S.02.031	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve ter um estado 'Repouso'.
S.02.032	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve ter um estado 'Operacional'.
S.02.033	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve ter um estado 'Condicionamento'.
S.02.034	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve ter um estado 'Degradado'.
S.02.035	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve ter um estado 'Não Operacional'.
S.02.036	RM.01.001	Ao mudar do estado 'Repouso' para o estado 'Condicionamento', a Estação Terrena Brasileira deverá realizar a função: mover as antenas a contato.
S.02.037	RM.01.001	Ao mudar do estado 'Repouso', para o estado 'Condicionamento', a Estação Terrena Brasileira deverá realizar a função: ajustar os parâmetros do satélite.
S.02.038	RM.01.001	Quando ocorrer a aparição de um satélite perto da área de cobertura o estado 'Repouso', da Estação Terrena Brasileira deve mudar para o Estado Condicionamento três minutos antes da passada.
S.02.039	RM.01.001	Ao mudar do estado 'Condicionamento', para o estado 'Operacional', a Estação Terrena Brasileira deverá realizar a funções: Habilitar TM/TC e, <i>Tracking</i> .
S.02.040	RM.01.001	Quando terminar a passada do satélite no estado 'Operacional', a Estação Terrena Brasileira deve esperar três minutos e imediatamente mudar para o Estado 'Repouso'.
S.02.041	RM.01.001	Quando ocorrer a perda de rastreabilidade no estado 'Operacional', A Estação Terrena Brasileira mostrar um aviso de 'conexão perdida'.
S.02.042	RM.01.001	Ao mudar do estado 'Operacional', para o estado 'Repouso' a Estação Terrena Brasileira deverá realizar a função: mover as antenas repouso EL 90° AZ 90°.
S.02.043	RM.01.001	A Estação Terrena quando se encontra em estado 'Operacional', deve ter os seguintes modos: modo 'Automático', modo 'Nominal', modo 'Falha'.
S.02.044	RM.01.001	Ao mudar do modo 'Automático', para modo 'Nominal', a Estação Terrena deverá ativar envio de telecomandos.
S.02.045	RM.01.001	Ao mudar do modo 'Automático', para modo 'falha', a Estação Terrena deverá ativar uma verificação dos subsistemas.
S.02.046	RM.01.001	Ao mudar do modo 'Nominal' para modo 'Automático', a Estação Terrena deverá desativar envio de telecomandos.



S.02.047	RM.01.001	Ao mudar do modo 'Nominal' para modo 'Falha', a Estação Terrena deverá ativar uma verificação dos subsistemas.
S.02.048	RM.01.001	Ao mudar do modo 'Falha', para o Modo 'Nominal', a Estação Terrena deverá reportar a falha encontrada e, perguntar ao operador para continuar seguindo o satélite.
S.02.049	RM.01.001	Ao mudar do modo 'falha', para o Modo 'Automático', a Estação Terrena deverá reportar a falha encontrada continuar seguindo o satélite.
S.02.050	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve realizar o arquivamento de dados.
S.02.051	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve calcular tendências estatísticas.
S.02.052	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve realizar verificação automática de anomalias.
S.02.053	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve disparar alarmes via E-mail para uma lista de operadores cadastrados, 30 minutos antes da passada; alarmes sonoros 3 minutos antes da passada; e alarmes visuais 1 minuto antes da passada de um satélite agendado.
S.02.054	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve rastrear o satélite de modo automático.
S.02.055	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve realizar análise pós-passagem.
S.02.056	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve realizar o arquivamento de dados.
S.02.057	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve calcular tendências estatísticas.
S.02.058	RM.01.001	A Estação Terrena Brasileira deve verificação automática de anomalias.
<b>ID</b>	<b>Origem</b>	<b>Requisitos operacionais (Organização)</b>
S.02.059	RM.04.002	A equipe de desenvolvimento deve garantir que as funções da Estação Terrena Brasileira de <i>downlink</i> e <i>uplink</i> estejam em conformidade com a norma ECSS – E50.
S.02.060	RM.04.002	A equipe de desenvolvimento deve garantir que a conexão da Estação Terrena Brasileira com cada centro de missão dos projetos esteja em conformidade com a norma ECSS – E50.
S.02.061	RM.04.002	A equipe de desenvolvimento deve garantir que o projeto, construção, testes, manutenção e, a documentação dos elementos de <i>software</i> da Estação Terrena Brasileira esteja em conformidade com norma ECSS – E40.
S.02.062	RM.01.001	A equipe de desenvolvimento deve garantir que o projeto da Estação Terrena Brasileira efetue validação e verificação conforme com a norma ECSS E10-02/03.
S.02.063	RM.01.001	A equipe de desenvolvimento deve garantir que a manutenção da Estação Terrena Brasileira não afete a capacidade operacional do sistema.
S.02.064	RM.02.001	A equipe de desenvolvimento deve garantir que a Estação Terrena Brasileira controle a configuração do <i>software</i> e dos equipamentos.
S.02.065	RM.04.001	A equipe de desenvolvimento deve interconectar os componentes da Estação Terrena Brasileira.
S.02.066	RM.04.001	A equipe de desenvolvimento da Estação Terrena Brasileira deve realizar a manutenção do sistema.
S.02.067	RM.04.001	A equipe de desenvolvimento da Estação Terrena Brasileira deve gerar a programação de passagens dos satélites.
S.02.068	RM.04.001	A equipe de desenvolvimento da Estação Terrena Brasileira deve possuir um banco de dados com informações das pessoas cadastradas para poder operar a estação.



## **ANEXO E – DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA DA ETB**



PROGRAM PROGRA M ETB	DOCUMENTO/ DOCUMENT NO. LSIS-005	
	PÁGINA / PAGE i	VERSÃO / ISSUE 1

TÍTULO /  
TITLE

## ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA: DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA DA ETB

CÓDIGO / CODE  
A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON

PREPARADO POR / PREPARED BY

APROVADO POR / APPROVED BY

ASS./SIG \_\_\_\_\_  
NOME/NAME \_\_\_\_\_ /DATA/DATE

ASS./SIG \_\_\_\_\_  
NOME/NAME \_\_\_\_\_ /DATA/DATE

ASS./SIG Jaime Enrique Orduy Rodriguez  
NOME/NAME Pesquisa e Desenvolvimento /DATA/DATE

ASS./SIG Geilson Loureiro  
NOME/NAME Tecnologista sênior /DATA/DATE

ASS./SIG \_\_\_\_\_  
NOME/NAME \_\_\_\_\_ /DATA/DATE

ASS./SIG Walter Abrahão dos Santos  
NOME/NAME Tecnologista sênior /DATA/DATE

ASS./SIG \_\_\_\_\_  
NOME/NAME \_\_\_\_\_ /DATA/DATE

ASS./SIG Douglas Soares dos Santos  
NOME/NAME Gerente técnico /DATA/DATE

ASS./SIG \_\_\_\_\_  
NOME/NAME \_\_\_\_\_ /DATA/DATE



## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA .....	1
3.	TERMOS E DEFINIÇÕES .....	1
4.	ABREVIATURAS .....	1
5.	VISÃO GERAL DA ARQUITETURA .....	2
6.	ELEMENTOS DA ARQUITETURA.....	3
6.1.	Subsistema Irradiante.....	3
6.2.	Subsistema de Controle de Antena .....	3
6.3.	Subsistema de Comunicação.....	3
6.4.	Subsistema de Modulação.....	4
6.5.	Subsistema de Software.....	4
6.6.	Subsistema Estrutural.....	7
7.	INTERFACES ENTRE SUBSISTEMAS .....	7
7.1.	Requisitos de interface.....	10
7.1.1.	Interface com o Subsistema Estrutural.....	10
7.1.2.	Interface com o Subsistema Irradiante.....	10
7.1.3.	Interface com o Subsistema de Controle de Antena.....	10
7.1.4.	Interface com o Subsistema de Comunicações.....	10
7.1.5.	Interface com o Subsistema de Modulação.....	11
7.1.6.	Interface com o Subsistema de Software.....	11
7.1.7.	Matriz de requisitos de Interface da ETB.....	12
8.	DEFINIÇÃO PRELIMINAR DOS REQUISITOS DOS SUBSISTEMAS.....	13
8.1.	Funções dos subsistemas.....	15
8.2.	Requisitos dos subsistemas.....	18
8.3.	Atendimento de requisitos.....	21



## 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta a arquitetura da Estação Terrena Brasileira, arquitetura que satisfaz os requisitos do sistema apresentados no documento LSIS-004 [DA07]. Apresenta-se a descrição dos elementos da arquitetura, e suas interfaces.

## 2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA

**DA01** ECSS-E-70 Part 1<sup>a</sup> (25 April 2000): *Ground systems and operations — Part 1: Principles and requirements.*

**DA02** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general requirements.*

**DA03** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general.*

**DA04** LSIS-001: Estação Terrena Brasileira-Análise de *Stakeholders* de missão.

**DA05** LSIS-002: Estação Terrena Brasileira: Análise de missão.

**DA06** LSIS-003: Estação Terrena Brasileira: Descrição da arquitetura operacional da missão espacial - Arquitetura da ETB.

**DA07** LSIS-004: Estação Terrena Brasileira: Requisitos do sistema.

**DA08** *Diseño de estación terrena para Picosatélites e implementación de software para el movimiento autónomo de antenas.* Tunja (Colômbia). 2010.

**DA09** WERTZ, J. R.; EVERETT, D. F.; PUSCHELL, J. J. *Space Mission Engineering: The New SMAD* (Space Technology Library, Vol. 28). Hawthorne, CA: Microcosm Press, 2011.

## 3. TERMOS E DEFINIÇÕES

**Modular:** Modificar alguma característica das ondas eléctricas (de frequência, amplitude, fase) para obter a melhor transmissão de sinal.

**Encryptar:** Converter ou transmitir dados em código.

## 4. ABREVIATURAS

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.

ISIS – *Innovative Solutions In Space.*

UHF – *Ultra High Frequency.*

VHF – *Very High Frequency.*

TLE – *Two Line Elements.*

## 5. VISÃO GERAL DA ARQUITETURA

A arquitetura da estação se compõe pelos seguintes sistemas descritos a seguir:

7. Subsistema Irradiante: Antenas.
8. Subsistema de Controle de Antena: Controlador da antena, rotores, interfaces digitais.
9. Subsistema de Comunicação: transceptor (Receptor/Transmissor)
10. Subsistema de Modulação: Modems
11. Subsistema de Software: Software Gerenciador/ Usuário/ Missão;
12. Subsistema Estrutural: rack, suporte das antenas e o rotor.

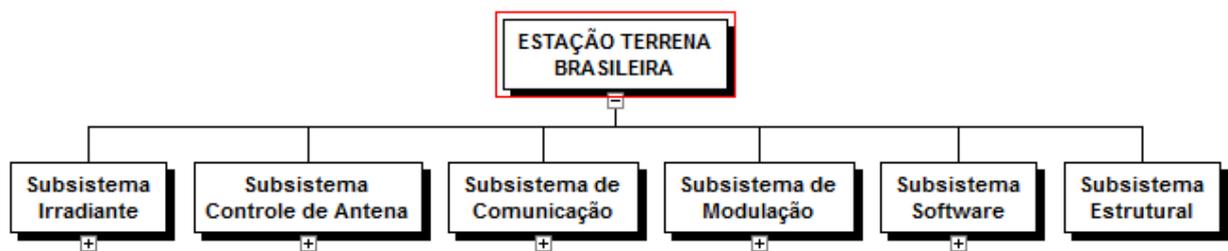


Figura 1. Árvore do produto

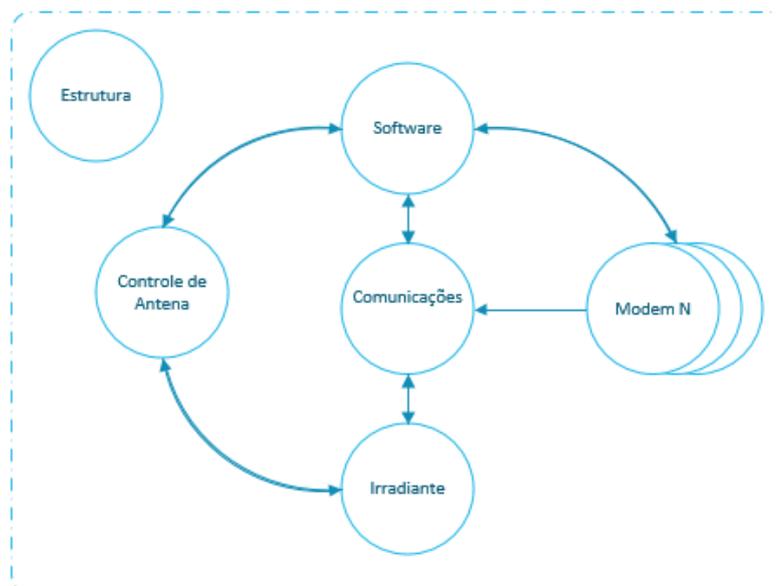


Figura 2. Arquitetura operacional da ETB



## 6. ELEMENTOS DA ARQUITETURA

### 6.1. Subsistema Irradiante

Este subsistema é o encarregado de irradiar a informação para o satélite. A estação compõe-se de duas antenas principais *Yagi Uda* nas bandas UHF, VHF, e uma antena parabólica de 1 m de diâmetro para banda S.

### 6.2. Subsistema de Controle de Antena

Este subsistema é o encarregado movimentar o subsistema irradiante: a estação compõe-se de dois rotores com movimentação simultânea de Azimute e Elevação, um deles para as antenas tipo *Eggbeater*, outro rotor para a antena banda S.

Além dos rotores, o sistema integra a proteção contra raios, e os sensores que determinam as condições climáticas do ambiente.

### 6.3. Subsistema de Comunicação

Este subsistema é encarregado de receber telemetrias e enviar telecomandos da estação terrena. Por padrão operará nas frequências destinadas para radioamadorismo de 435 MHz em UHF e de 2.4 GHz em banda S, para *Downlink*, e em 137 MHz em VHF para *Uplink*.

A estação deve ter chaves de interconexão para permitir modificar o padrão e enviar quando necessitar telecomandos em outras frequências.

O subsistema de comunicação terá uma parte em hardware e outra em software, ele contará com uma interface ao computador da estação recebendo os dados das antenas para enviá-los ao computador.

No computador a parte em *software* comandara o sinal e apresentara os dados na interface gráfica de cliente.



#### 6.4. Subsistema de Modulação

Este subsistema é o encarregado de modular o sinal e empacotar os dados no protocolo indicado. Este subsistema deverá poder codificar e decodificar a informação e dos satélites nos protocolos AX.25, FX.25, e CSP, e modular o sinal por meio de DSP em BPSK, FSK, MFSK e GFSK. Quando a estação receber um telecomando deve encaminhá-lo ao computador da estação para o software gerenciador. O subsistema de Modulação terá uma parte em *software*, a placa de som do computador, e seu desenvolvimento será em *software*.

#### 6.5. Subsistema de Software

Este subsistema é o encarregado de controlar a estação, ele roda no computador principal da estação (referência comercial comum-sistema operativo *Linux* e *Windows*). Compõe-se por vários *softwares*, sendo:

**Software 'Gerenciador'**; início de sessão de cliente, acople e orquestração dos outros *softwares*, processamento de todos os dados da estação.

**Software 'Rastreamento'**; cálculo da posição angular do satélite tomando como referência os elementos Keplerianos TLE, dados que serão obtidos da CELESTRACK.

**Software 'Radio'**; Administrador do rádio definido por *software*.

**Software 'Modem'**; Administrador dos modems e predefinição das modulações, taxas de dados e protocolos de comunicação.

**Software 'Controlador do rotor'**; movimentação do rotor por meio dos dados geridos pelo *software* de rastreamento.

**Software 'Missão'**: Aplicável para cada satélite, é o encarregado de enviar telemetrias e receber telecomandos e decodificar a informação para poder usá-la.

**Software administrador 'SatNET'**. Início de sessão de cliente da rede de CalPoly/Vigo/INPE

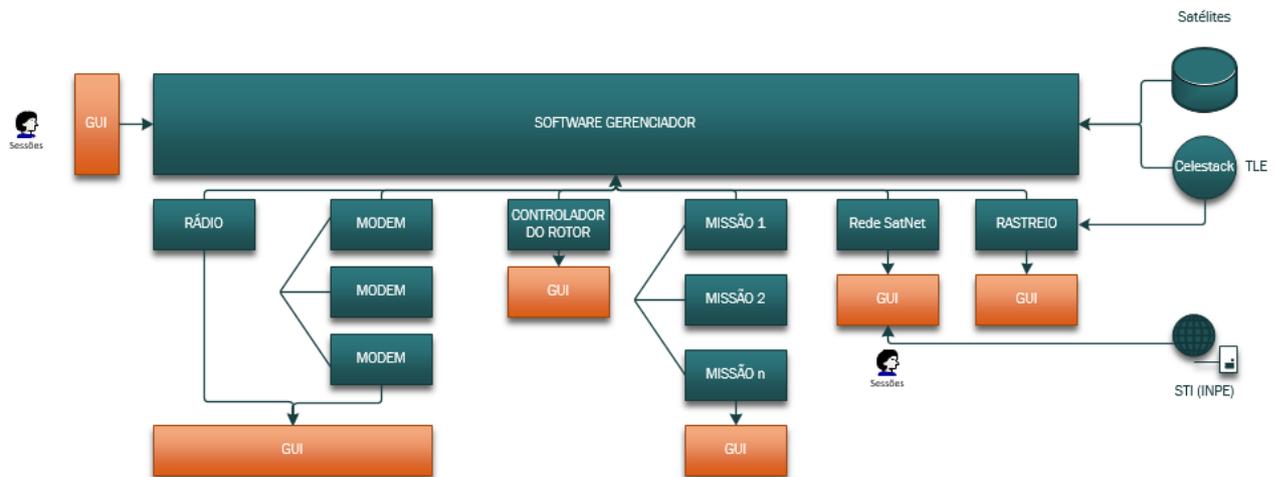


Figura 3. Arquitetura do software da ETB

## 6.6. Subsistema Estrutural

Serão desenvolvidos dois mecanismos estruturais: Um mecanismo exterior penetrável ao terraço do local de operação, que suportará as antenas da estação (Mastro de antena), o rotor, o para raios, e os elementos que farão medição das condições climáticas. Um outro mecanismo interior que acomodará os outros subsistemas da estação dentro do local de operação, denominado *rack*.

O *rack* da estação será desenvolvido em módulos, cada modulo será um espaço para cada subsistema.

O *rack* contará com módulos livres para acomodar outros sistemas que se adicionem para realizar a atualização do sistema.

## 7. INTERFACES ENTRE SUBSISTEMAS

Uma interface é uma zona de comunicação ou ação de um sistema em sobre outro sistema, esta seção apresenta essas ações que interligam os subsistemas da Estação Terrena Brasileira:

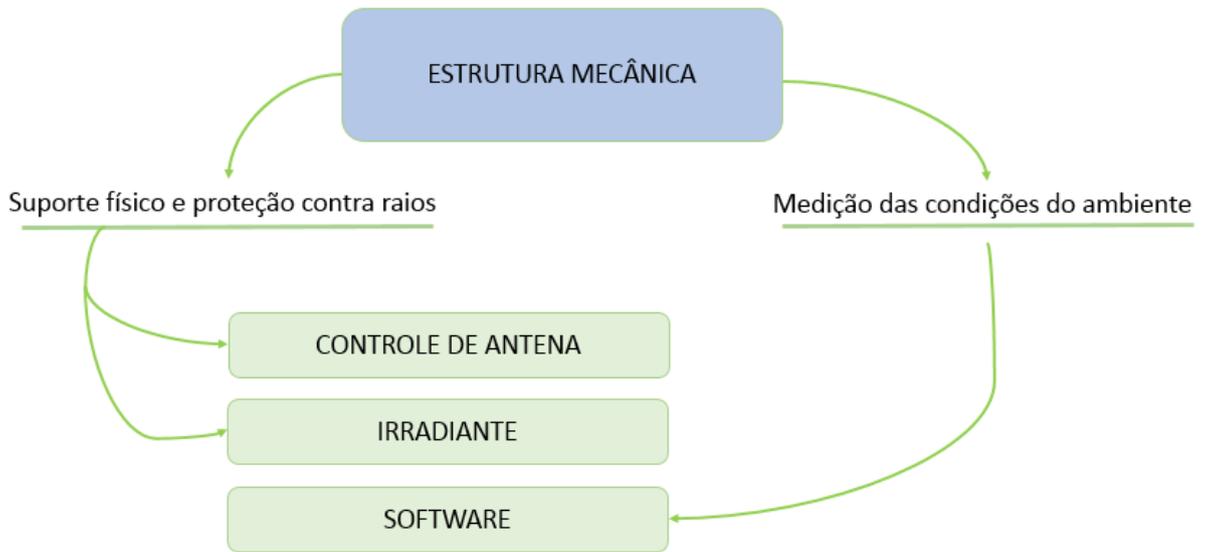


Figura 4. Diagrama de interface do subsistema estrutural

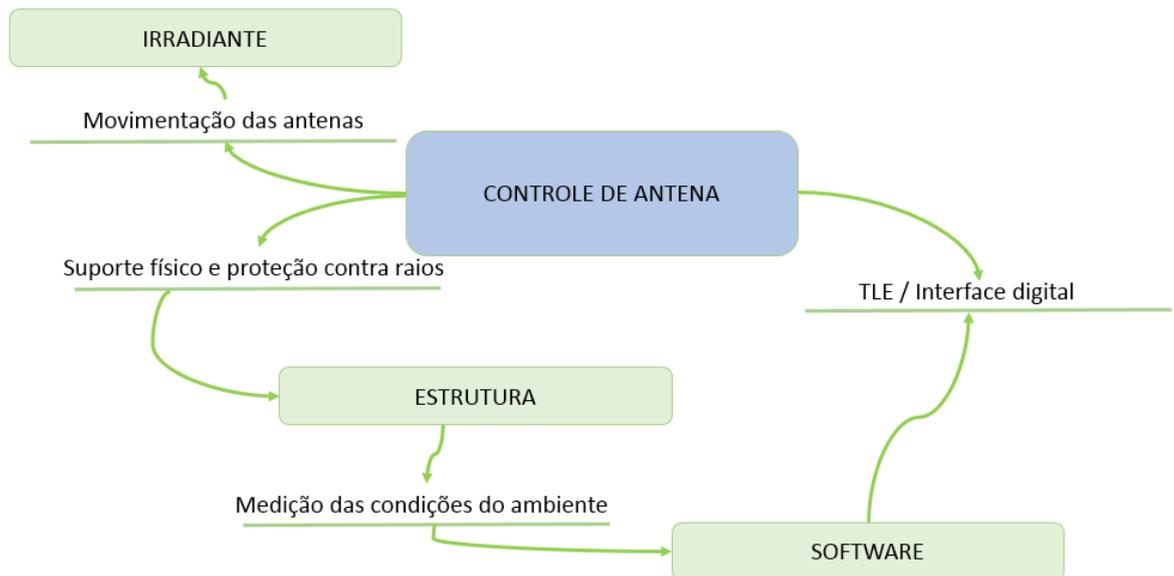


Figura 5. Diagrama de interface do subsistema de controle de antena

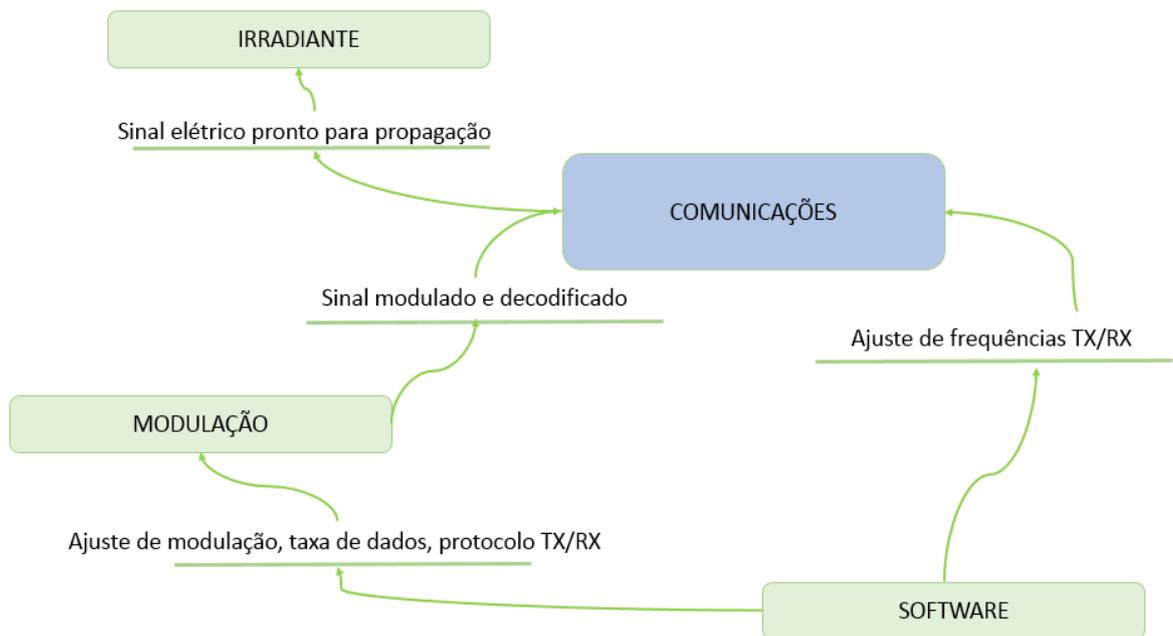


Figura 6. Diagrama de interface do subsistema de comunicações

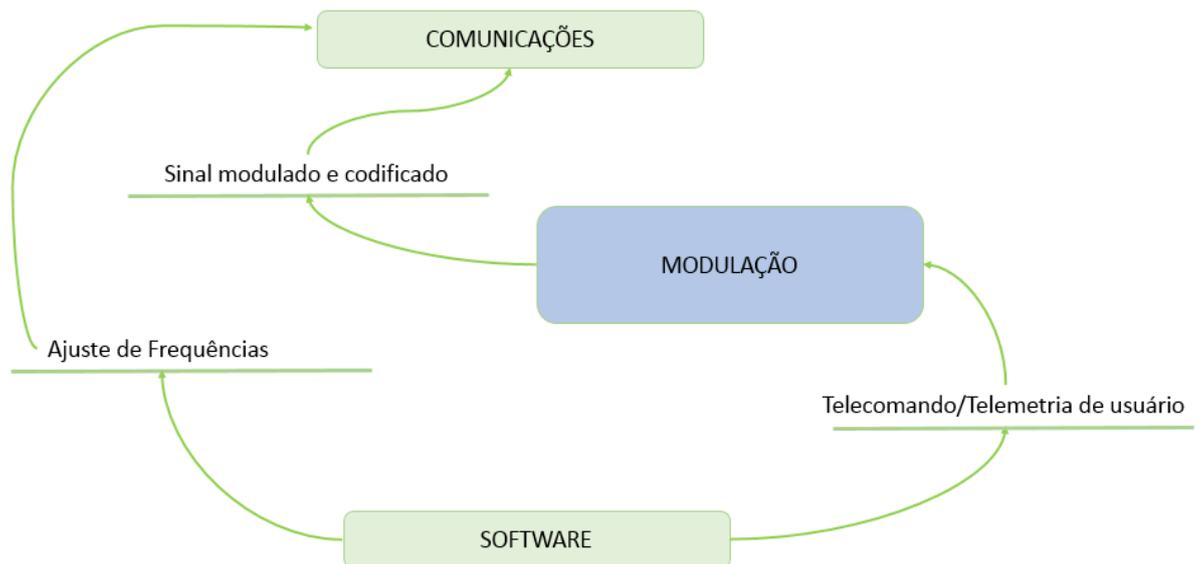


Figura 7. Diagrama de interface do subsistema de modulação

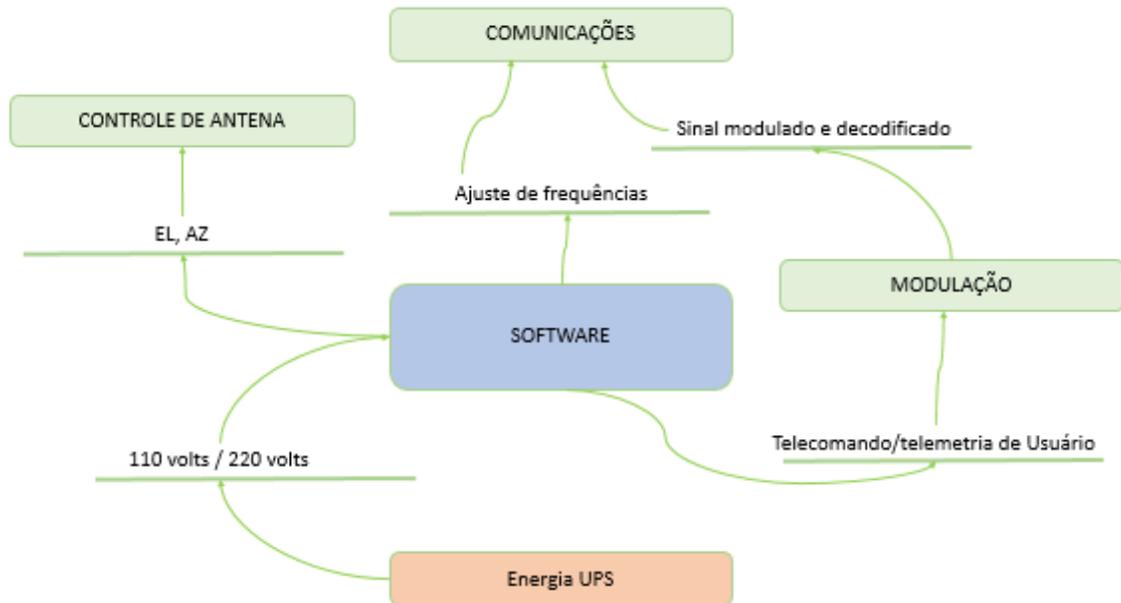


Figura 8. Diagrama de interface do subsistema de *Software*

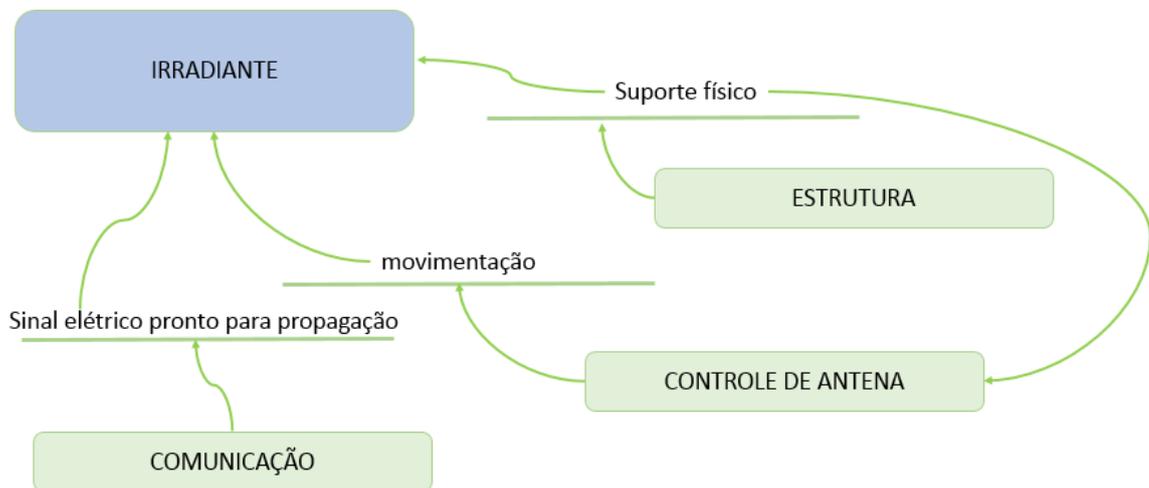


Figura 9. Diagrama de interface do subsistema irradiante



## 7.1. Requisitos de interface

### 7.1.1. Interface com o Subsistema Estrutural

ID	Origem	Requisitos de interface (Produto)
SI.01.001	S.02.006	O Subsistema Estrutural – exterior deve fornecer suporte mecânico para os subsistemas: Controle de antena, Irradiante.
SI.01.002	S.02.006	O Subsistema Estrutural – exterior deve fornecer dados dos sensores acoplados na estrutura para o subsistema de Software.
SI.01.003	S.02.007	O Subsistema Estrutural – exterior deve penetrar o terraço do local de operação.
SI.01.004	S.02.006	O Subsistema Estrutural – Interior deve fornecer suporte mecânico para os subsistemas: Comunicações, Modulação, Software.

### 7.1.2. Interface com o Subsistema Irradiante

ID	Origem	Requisitos de interface (Produto)
SI.02.001	S.02.008	O Subsistema Irradiante deve receber suporte mecânico do subsistema estrutural.
SI.02.002	S.02.008	O Subsistema Irradiante deve receber o sinal elétrico pronto para ser propagado do subsistema de comunicações.
SI.02.003	S.02.008	O Subsistema Irradiante deve receber movimentação em azimute e elevação por parte do subsistema de controle de antena.
SI.02.004	S.02.008	O Subsistema Irradiante deve fornecer o sinal eletromagnético recebido pelo satélite para o subsistema de Comunicações.

### 7.1.3. Interface com o Subsistema de Controle de Antena

ID	Origem	Requisitos de interface (Produto)
SI.03.001	S.02.011	O Subsistema de Controle de antena deve fornecer suporte e movimentação para o subsistema Irradiante.
SI.03.002	S.02.011	O Subsistema de Controle de antena deve fornecer uma interface digital para o para o subsistema Software.
SI.03.003	S.02.011	O Subsistema de Controle de antena deve receber os dados de azimute, elevação e velocidade a partir dos TLE do subsistema Software / Software rastreamento.
SI.03.004	S.02.011	O Subsistema de Controle de antena deve receber suporte mecânico do subsistema Estrutural.

### 7.1.4. Interface com o Subsistema de Comunicações

ID	Origem	Requisitos de interface (Produto)
SI.04.001	S.02.014	O Subsistema de comunicações deve fornecer o sinal elétrico pronto para propagação para o subsistema Irradiante.
SI.04.002	S.02.014	O Subsistema de comunicações deve receber o sinal elétrico adquirido pelo subsistema Irradiante.
SI.04.003	S.02.014	O Subsistema de comunicações deve fornecer o sinal elétrico adquirido pelo subsistema Irradiante, para o subsistema de Modulação.
SI.04.004	S.02.014	O Subsistema de comunicações deve receber o ajuste das frequências de <i>Uplink</i> e <i>Downlink</i> do subsistema Software.
SI.04.005	S.02.014	O Subsistema de comunicações deve receber o sinal modulado e codificado pelo subsistema de Modulação.
SI.04.006	S.02.014	O Subsistema de comunicações deve receber suporte mecânico. do Subsistema Estrutural.

### 7.1.5. Interface com o Subsistema de Modulação

ID	Origem	Requisitos de interface (Produto)
SI.05.001	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve fornecer o sinal modulado e codificado no protocolo do satélite para o subsistema de comunicações.
SI.05.002	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve receber o telecomando do usuário modulá-lo e codificá-lo nos parâmetros do satélite.
SI.05.003	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve receber a telemetria do subsistema de Comunicações demodulá-lo e decodificá-lo nos para entrega-lo ao subsistema de <i>Software</i> .
SI.05.004	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve receber o sinal modulado e codificado no protocolo do satélite do subsistema de comunicações.
SI.05.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve receber suporte mecânico do Subsistema Estrutural.

### 7.1.6. Interface com o Subsistema de Software

ID	Origem	Requisitos de interface (Produto)
SI.06.001	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve rodar no computador principal da estação.
SI.06.002	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve fornecer para o subsistema de Modulação o telecomando inserido pelo usuário.
SI.06.003	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve receber do subsistema de Modulação a telemetria demodulada e decodificada.
SI.06.004	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve fornecer o ajuste de frequências dos satélites a serem rastreados para o subsistema de Comunicações.
SI.06.005	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve fornecer dados de azimute elevação e velocidade do satélite rastreado para o subsistema de Controle de Antena.
SI.06.006	S.02.022	O computador do Subsistema de <i>Software</i> deve receber suporte mecânico do Subsistema Estrutural.

### 7.1.7. Matriz de requisitos de Interface da ETB

Subsistemas	Estrutura	Irradiante	Controle A.	Comunicações	Modulação	Software
<b>Estrutura</b>	Estrutura	SI.01.001	SI.01.001	SI.01.004	SI.01.004	SI.01.002 SI.01.004
<b>Irradiante</b>	SI.02.001	Irradiante	SI.02.003	SI.02.002 SI.02.004		
<b>Controle Ant.</b>	SI.03.004	SI.03.001	Controle A.			SI.03.002
<b>Comunicações</b>	SI.04.006	SI.04.001 SI.04.002		Comunicações	SI.04.003 SI.04.005	SI.04.004
<b>Modulação</b>	SI.05.005			SI.05.001 SI.05.004	Modulação	SI.05.003
<b>Software</b>	SI.06.006		SI.06.005	SI.06.004	SI.06.002 SI.06.003	Software

## 8. DEFINIÇÃO PRELIMINAR DOS REQUISITOS DOS SUBSISTEMAS

Esta seção apresenta uma lista de requisitos para cada subsistema. A Figura 10 apresenta o diagrama descritivo da estação terrena com seus subsistemas e a alocação funcional a esses Subsistemas.

As estações terrenas para este tipo de satélites estão, pelo design do segmento espacial, ligadas aos subsistemas do satélite, são utilizadas as frequências alocadas ao serviço radioamador, portanto, os subsistemas de uma estação terrena, em 2016, são desenvolvidos por um 'padrão', a diferença está na porcentagem de desenvolvimento *Software/Hardware*.

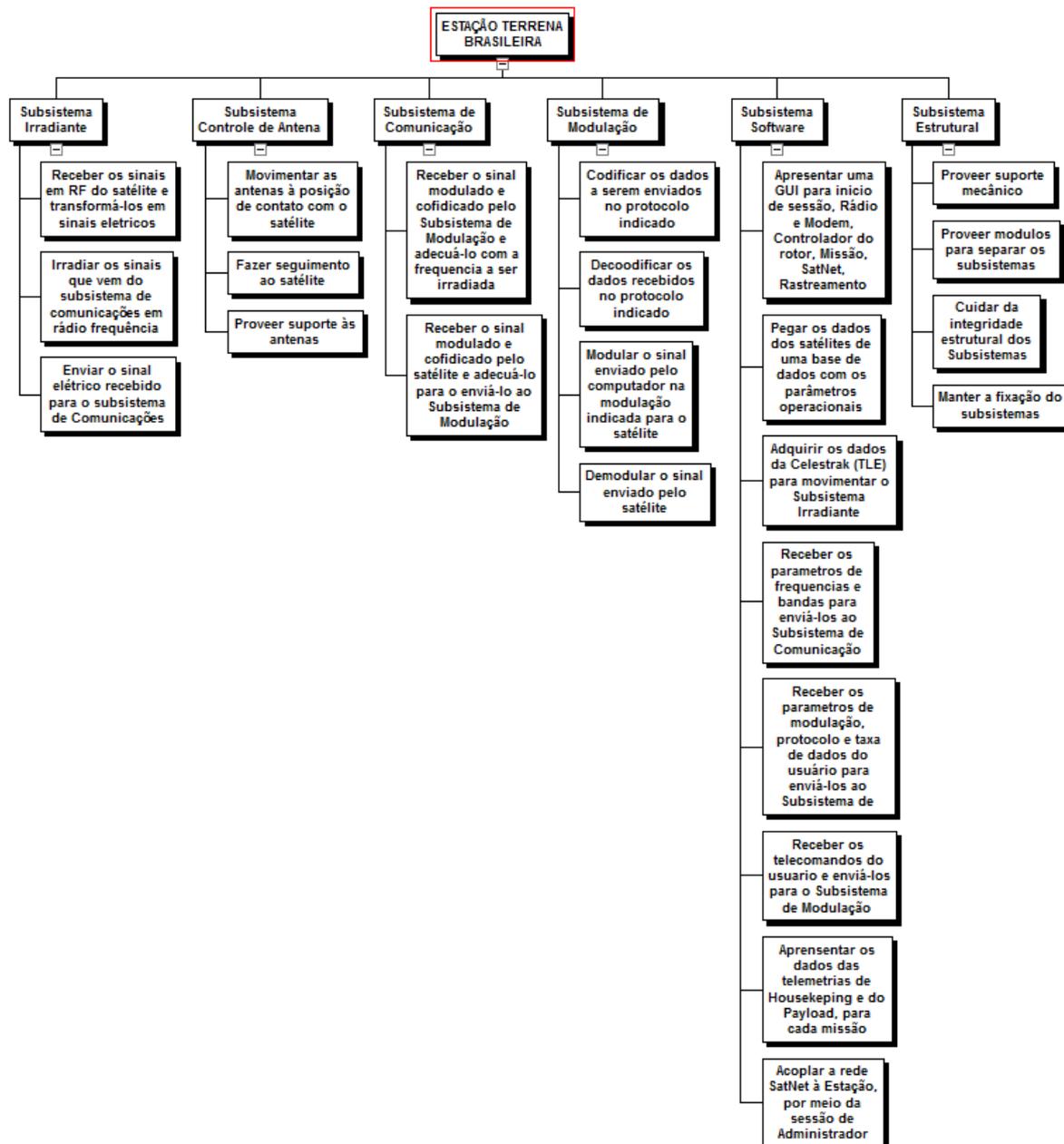


Figura 10. PBS da ETB

### 8.1. Funções dos subsistemas

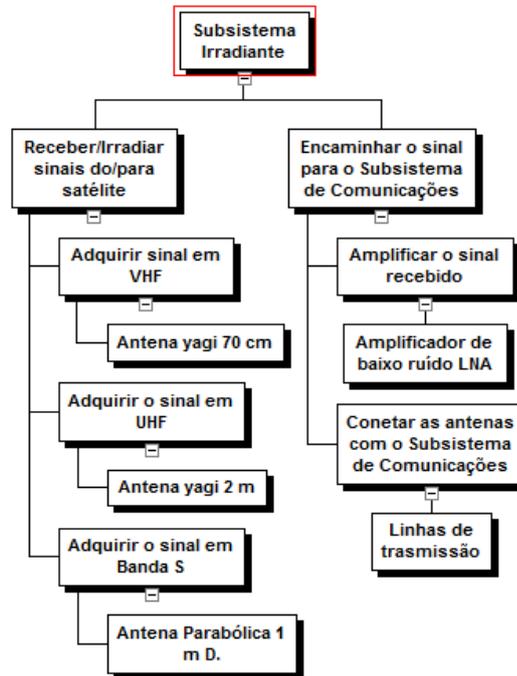


Figura 11. SBS das funções do Subsistema Irradiante

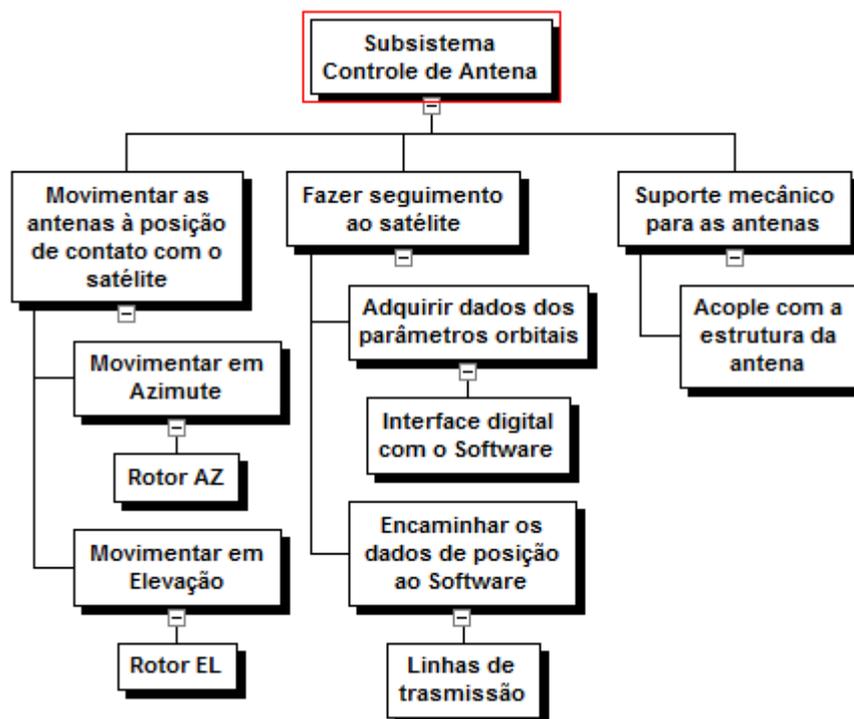


Figura 12. SBS das funções do Subsistema de Controle de Antena

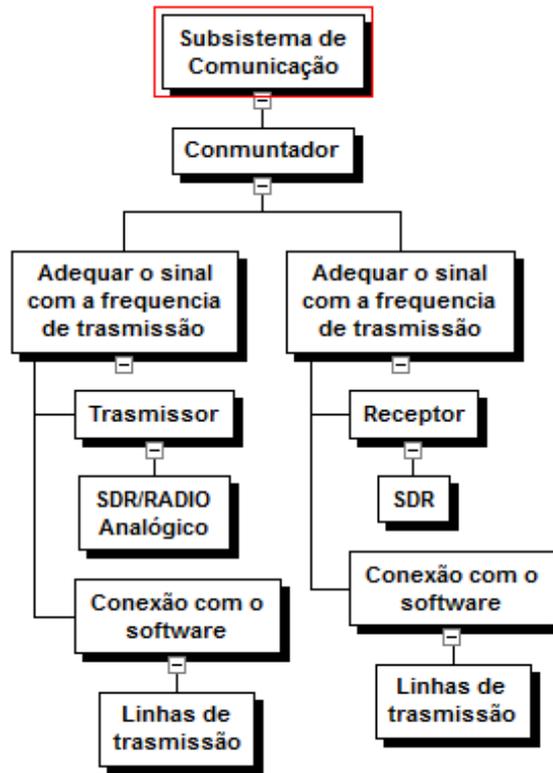


Figura 13. SBS das funções do Subsistema de Comunicação

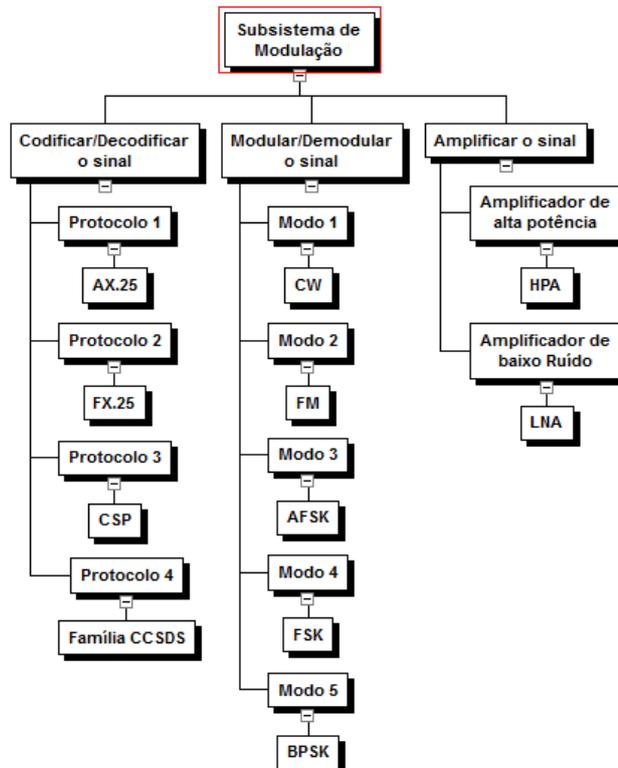


Figura 14. SBS das funções do Subsistema de modulação

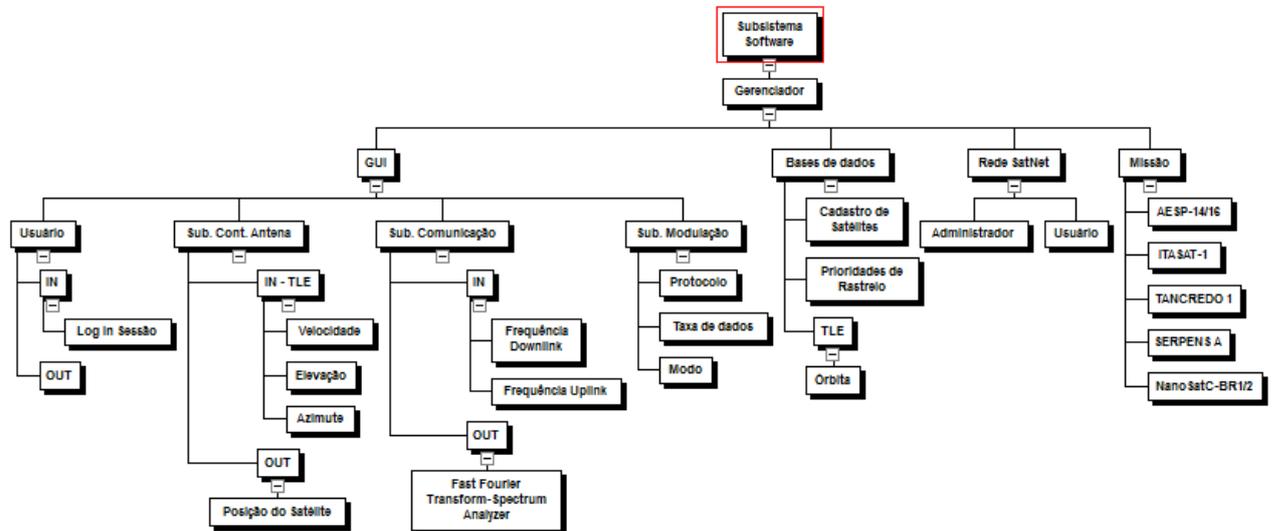


Figura 15. SBS das funções do Subsistema de Software

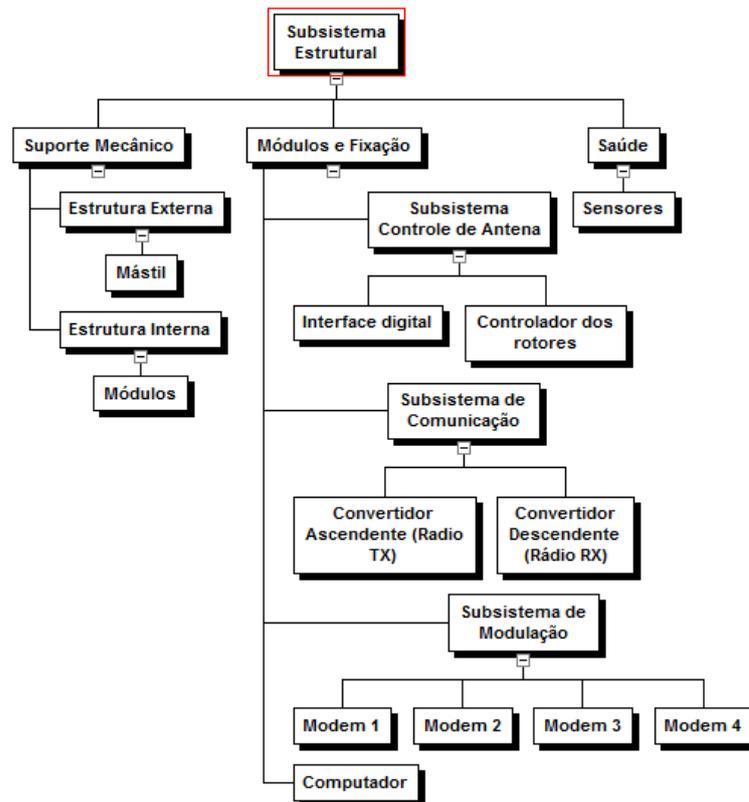


Figura 16. SBS das funções do Subsistema Estrutural

## 8.2. Requisitos dos subsistemas

ID	Origem	Requisitos de Subistema Irradiante
SU.IR.001	S.02.008	O Subistema irradiante deve acompanhar de forma automática a movimentação do Satélite, por meio do subistema de Controle de antena.
SU.IR.002	S.02.008	O Subistema irradiante deve irradiar sinal de <i>Uplink</i> .
SU.IR.003	S.02.008	O Subistema irradiante deve receber sinal de <i>Downlink</i>
SU.IR.004	S.02.015	O Subistema irradiante deve utilizar frequência de recepção (telemetria) em UHF (432-440 MHz).
SU.IR.005	S.02.015	O tamanho da antena em UHF do Subistema irradiante deve ser de $2 \pm 0,1$ metros comprimento.
SU.IR.006	S.02.015	O ganho da antena em UHF do Subistema irradiante deve ser de 15,5 dBi com tolerância de 0,005 dBi.
SU.IR.007	S.02.016	O Subistema irradiante deve utilizar frequência de recepção (telemetria) em Banda S (2000-2040 MHz).
SU.IR.008	S.02.016	O tamanho da antena em Banda S do Subistema irradiante deve ser de $1.0 \pm 0,1$ metros de diâmetro.
SU.IR.009	S.02.016	O ganho da antena em Banda S do Subistema irradiante deve ser de 44.5 dBi com tolerância de 0,005 dBi.
SU.IR.010	S.02.017	O Subistema irradiante deve utilizar frequência de transmissão (telecomando) em VHF (143-148 MHz).
SU.IR.011	S.02.017	O tamanho da antena em VHF do Subistema irradiante deve ser de $70 \pm 0,5$ centímetros comprimento.
SU.IR.012	S.02.017	O ganho da antena em VHF do Subistema irradiante deve ser de 12,3 dBi com tolerância de 0,004 dBi.
SU.IR.013	S.02.006	O Subistema irradiante deve ter velocidade máxima de elevação de $5^\circ \pm 0,3^\circ$ por segundo.
SU.IR.014	S.02.004	O Subistema irradiante deve começar o rastreo com elevação de $15^\circ \pm 0,3^\circ$ .
SU.IR.015	S.02.008	O Subistema irradiante deve realizar simultaneamente <i>Downlink</i> e <i>Uplink</i> .
SU.IR.016	S.02.003	O Subistema irradiante deve ser adquirido (COTS).

ID	Origem	Requisitos de Controle de Antena
SU.SA.001	S.02.011	O Subistema de Controle de antena deve fornecer suporte para o subistema Irradiante.
SU.SA.002	S.02.011	O Subistema de Controle de antena deve fornecer e movimentação em Azimute para o sistema Irradiante.
SU.SA.003	S.02.011	O Subistema de Controle de antena deve fornecer e movimentação em Elevação para o sistema Irradiante.
SU.SA.004	S.02.011	O Subistema de Controle de antena deve fornecer uma interface digital para o para o subistema <i>Software</i> .
SU.SA.005	S.02.011	O Subistema de Controle de antena deve receber os dados de azimute, elevação e velocidade a partir dos TLE do subistema <i>Software / Software</i> rastreamento.
SU.SA.006	S.02.011	O Subistema de Controle de antena deve receber suporte mecânico do subistema Estrutural.
SU.SA.007	S.02.003	O Subistema de Controle de antena deve ser adquirido (COTS).

ID	Origem	Requisitos de Subistema Estrutural
SU.SE.001	S.02.006	O Subistema Estrutural interno deve proteger todos os componentes.
SU.SE.002	S.02.007	O Subistema Estrutural externo deve dar suporte e fixação a todos os elementos que se encontrem no exterior do local de operação.
SU.SE.003	S.02.007	O Subistema Estrutural deve fornecer dispositivos de balanço das antenas.
SU.SE.004	S.02.006	O Subistema Estrutural deve ser configurado por seções, sendo uma seção um espaço disponível para elementos de um subistema.
SU.SE.005	S.02.003	O Subistema irradiante deve ser projetado usando COTS.



ID	Origem	Requisitos de Subsistema de Comunicações
SU.SC.001	S.02.010	O Subsistema irradiante deve ter EIRP de 62 dBw com tolerância de 0,025 dBw.
SU.SC.002	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve receber a portadora de <i>Downlink</i> do subsistema Irradiante.
SU.SC.003	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve converter a portadora de <i>Downlink</i> para FI.
SU.SC.004	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve transmitir a portadora de <i>Uplink</i> subsistema Irradiante.
SU.SC.005	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve prover redundância com o objetivo de evitar que pontos únicos de falha impeçam a comunicação com o satélite.
SU.SC.006	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve enviar os telecomandos ao Satélite
SU.SC.007	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve operar em frequências de radioamador para envio dos telecomandos
SU.SC.008	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve operar em frequências de radioamador para recepção das telemetrias.
SU.SC.009	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve transmitir telecomandos em máxima potência no começo do contato com o satélite.
SU.SC.010	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve cumprir com as regulações de compatibilidade eletromagnética da ANATEL.
SU.SC.011	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve possuir interface com o sistema irradiante.
SU.SC.012	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve ser projetado para ter uma configuração modular
SU.SC.013	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve ser desenvolvido ou adquirido como COTS.
SU.SC.014	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve dificultar o envio inadvertido de comandos.
SU.SC.015	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve demonstrar a precisão na medida da posição e velocidade do satélite.
SU.SC.016	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve distribuir a telemetria recebida e os sinais de rastreamento.
SU.SC.017	S.02.010	O Subsistema de comunicações deve formatar eletricamente, autenticar comandos de transmissão de tempo e sinais de rastreamento.
SU.SC.018	S.02.003	O Subsistema de Comunicações deve ser desenvolvido em software, e sua interface em <i>hardware</i> deve usar o mínimo de componentes COTS.
SU.SC.019	S.02.010	O Subsistema de Comunicações deve desempenhar um chaveamento das antenas para as para transmissão e recepção.

ID	Origem	Requisitos de Subsistema de Modulação
SU.SM.003	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve demodular o sinal entregue pelo Subsistema de Comunicações.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve modular o sinal para <i>Uplink</i> .
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve formatar os telecomandos para transmissão.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve autenticar os telecomandos para transmissão.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve temporizar os telecomandos para transmissão.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve receber dados de telemetria em uma única sequência de dados.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve codificar e encriptar os dados de telecomando.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve decodificar e descriptar dados recebidos do Satélite.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve formatar informações no display do console do centro de controle para acompanhamento em tempo real.
SU.SM.005	S.02.013	O Subsistema de Modulação deve ser desenvolvido em software, e sua interface em <i>hardware</i> deve usar o mínimo de componentes COTS.



ID	Origem	Requisitos de Subsistema Software
SU.SS.001	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve formatar informações no display do console do centro de controle para acompanhamento em tempo real – GUI Usuário.
SU.SS.002	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve organizar os dados de acordo com o subsistema a que se referem.
SU.SS.003	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve realizar a conversão para unidades de engenharia dos dados que obteve do subsistema de modulação.
SU.SS.004	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve receber as configurações do centro de missão e distribuir para os sistemas da estação.
SU.SS.005	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve conectar o equipamento de processamento de dados da missão
SU.SS.006	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve receber as configurações do centro de missão e distribuir para os sistemas da estação.
SU.SS.007	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve gerenciar e planejar o uso da estação.
SU.SS.008	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve gerenciar e planejar o uso da rede.
SU.SS.009	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve interligar os componentes da estação.
SU.SS.010	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve realizar o arquivamento de dados.
SU.SS.011	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve calcular tendências estatísticas.
SU.SS.012	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve realizar verificação automática de anomalias.
SU.SS.013	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve disparar alarmes para os operadores.
SU.SS.014	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve gerar a programação de passagens dos satélites.
SU.SS.015	S.02.022	O Subsistema de <i>Software</i> deve rastrear o satélite de modo automático.
SU.SS.016	S.02.003	O Subsistema de <i>Software</i> deve desenvolver os programas que não estejam disponíveis na internet (que sejam livres).

## 9. ATENDIMENTO DE REQUISITOS

O seguinte esquema pode satisfazer os requisitos estabelecidos nas etapas anteriores.

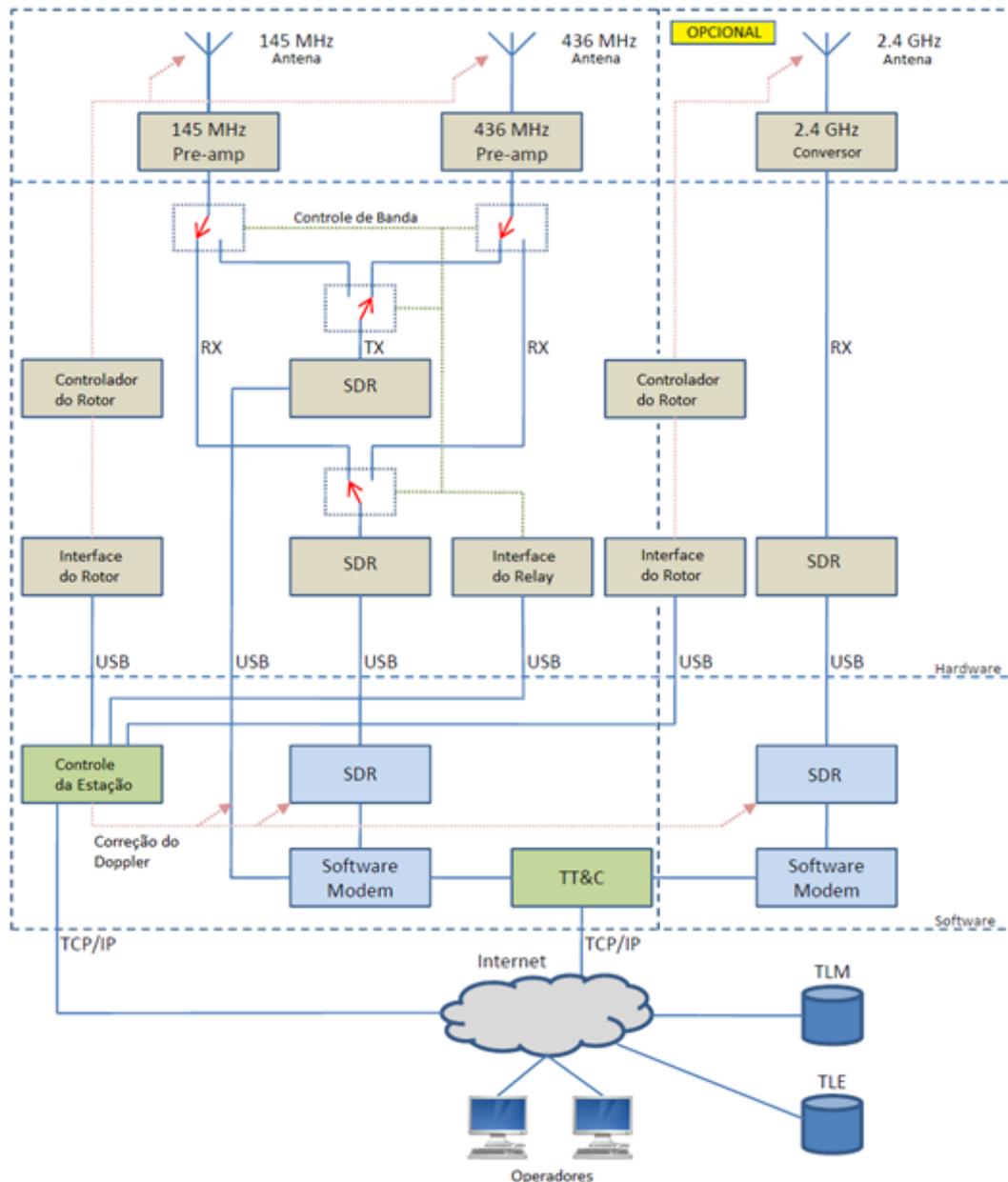


Figura 17. Arquitetura da estação terrena Brasileira, colaboração AMSAT-BR (PEREIRA, 2015).



## 9.1. Componentes da ETB

A solução adotada pela equipe de desenvolvimento foi a de adquirir equipamentos prontos COTS, porém as interfaces entre esses equipamentos serão função do software de gerenciamento que será desenvolvimento próprio. Sendo que, os equipamentos vão funcionar de acordo como o software de gerenciamento ordene.

Componente	Especificação	Fabricante	Custo USD
Estrutura			500
Antena UHF/VHF	SATPACK #1 EB144/EB432/CROSSBOOM	M2 ANTENNAS SYSTEMS	489.99
Amplificador VHF	MSP144VDG-160	Ar2 Communications Products	239
Amplificador UHF	MSP432VDG-160	Ar2 Communications Products	229,95
Antena 3	MESH DISH KIT 1.9 METER	RF HAMDESIGN	361,86
Down Converter	UEK 3000-2 Converter 2400/144 MHz	SSB	506
Rotor e Interface 1	GS-5500	Yaesu	750
Rotor e Interface 2	GS-5500	Yaesu	750
SDR Tranceiver	USRP B200	Ettus Research	893
SDR Receiver	AIRSPY R2 SDR	AIRSPY	199
Interface do Relay	CX-230	TOYO TSUSHO CO LTD	79,00
Software Gerenciador	Plan 73	PY2SDR	0
Software de rádio	SDR SHARP	AIRSPY	0
Software de Modem 1	-	Proprietário	0
Software de Modem 2	-	Proprietário	0
Software de missão	-	Cada Satélite	0
Vários	Conectores, linhas de transmissão.		400
Total		<b>19,400 BRL</b>	<b>4907</b>

←----->

## **ANEXO F – PLANO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS**



PROGRAMA PROGRAM	DOCUMENTO/ DOCUMENT NO.	
	LSIS-SEP-01	
	PÁGINA / PAGE	VERSÃO / ISSUE
ETB	i	1

TÍTULO / TITLE

## ESTAÇÃO TERRENA BRASILEIRA: PLANO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS

CÓDIGO / CODE A.P.

ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAMPOUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.

PREPARADO POR / PREPARED BY

APROVADO POR / APPROVED BY

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Jaime Enrique Orduy Rodriguez  
Pesquisa e Desenvolvimento DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Geilson Loureiro  
Tecnologista sênior DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Walter Abrahão dos Santos  
Tecnologista sênior DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME Douglas Soares dos Santos  
Gerente técnico DATA/DATE \_\_\_\_\_

ASS./SIGN \_\_\_\_\_  
NOME/NAME DATA/DATE \_\_\_\_\_



## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA .....	1
3.	ABREVIATURAS .....	1
4.	VISÃO GERAL DO PROJETO ETB .....	2
4.1.	Objetivos e restrições.....	2
4.2.	Revisão de desenvolvimentos similares.....	2
4.3.	Organização de Desenvolvimento.....	2
4.4.	Locais de desenvolvimento.....	3
4.5.	Estratégias de desenvolvimento.....	3
5.	Fases de desenvolvimento do projeto .....	4
5.1.	Fase 0: Análise de Missão – Identificação de Necessidades.....	4
5.2.	Fase A: Viabilidade.....	4
5.3.	Fase B: Definição Preliminar (produto) .....	4
5.4.	Fase C: Definição Detalhada do produto (Não contemplado).....	4
5.5.	Fase D: Produção / Testes de Qualificação em solo (AIT) (Não contemplado).....	4
5.6.	Fase E: Operação (Não contemplado) .....	4
5.7.	Fase F: Descarte (Não contemplado) .....	4
6.	Identificação os documentos a serem entregues.....	5
6.1.	Abordagem de Engenharia de Sistemas.....	6
6.2.	Programação do trabalho técnico.....	8



## 1. INTRODUÇÃO

Este documento apresenta o plano de Engenharia de Sistemas adaptado ao projeto ETB, o documento define a metodologia usada para realizar as atividades em cada fase do desenvolvimento. Apresenta-se o SEP para definição do Segmento Solo (Estação Terrena) de pico e Nanossatélites, sendo este o sistema de interesse (SOI), no qual se descreve o processo customizado do LSIS para este tipo de sistemas.

## 2. DOCUMENTOS APLICÁVEIS E DE REFERÊNCIA

**DA01** ECSS-E-70 Part 1<sup>a</sup> (25 April 2000): *Ground systems and operations — Part 1: Principles and requirements.*

**DA02** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general requirements.*

**DA03** ECSS-E-ST-10C (6 March 2009): *System engineering general.*

**DA04** ECSS-M-ST-10C (6 March 2009): *Space project management.*

**DA05** *Diseño de estación terrena para Picosatélites e implementación de software para el movimiento autónomo de antenas.* Tunja (Colômbia). 2010.

**DA06** WERTZ, J. R.; EVERETT, D. F.; PUSCHELL, J. J. *Space Mission Engineering: The New SMAD (Space Technology Library, Vol. 28).* Hawthorne, CA: Microcosm Press, 2011.

## 3. ABREVIATURAS

AEB – Agência Espacial Brasileira.

AMSAT – *Amateur Satellite.*

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações.

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

CEA – Centro de Estudos Atmosféricos.

COTS – *Commercial Off-The-Shelf.*



CM – Restrição de missão.  
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.  
CRC – Centro de Rastreo e Controle de Satélites.  
DA – Documento aplicável.  
DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial.  
EMBRACE – Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial  
ETE- Engenharia e Tecnologias espaciais.  
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos.  
IARU – *International Amateur Radio Union*.  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.  
ISIS – *Innovative Solutions In Space*.  
INFELCOM – Informática Eletrônica e Comunicações.  
ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.  
ITU – *International Telecommunication Union*.  
LABRE – Liga de Amadores Brasileiros de Rádio Emissão.  
NE – Necessidade.  
MCTI – Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação.  
OB – Objetivo de missão.  
PAR – Pardinho.  
RS – Requisito de Stakeholder.  
UPTC- *Universidad Pedagogica y tecnológica de Colombia*.  
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria.  
UHF – *Ultra High Frequency*.  
VHF – *Very High Frequency*.



#### 4. VISÃO GERAL DO PROJETO ETB

O objetivo do projeto ETB é conceber, projetar, implementar e operar uma estação terrena para Pico e Nanossatélites, desenvolvida por alunos de pós-graduação do curso de Engenharia e Tecnologia Espacial do INPE, sob a orientação de professores e técnicos especialistas no segmento solo de missões espaciais.

Este projeto permitirá atender a atual necessidade de possuir um segmento solo próprio, modificável e compatível com as missões espaciais brasileiras desse porte.

O projeto ETB consiste em uma pesquisa da área espacial, focada no segmento solo de Pico e Nanossatélites, para o desenvolvimento de uma estação terrena gerando inclusão de mão de obra nacional, e flexibilizando as operações e o custo dos componentes.

##### Objetivos e restrições

O objetivo principal do projeto ETB é proporcionar a partir de um desenvolvimento nacional, uma estação terrena moderna de baixo custo, compatível com vários Pico e Nanossatélites satélites brasileiros. O projeto ETB é desenvolvido com o fim de replicá-la em projetos de desenvolvimento do segmento espacial no Brasil e na América Latina.

Especificamente a ETB tem como objetivo enviar telecomandos e receber telemetrias dos satélites de orbita baixa (LEO) especificamente dos Pico e Nanossatélites brasileiros que se encontram em órbitas na faixa de 350km e 850 km.

O foco da ETB é o desenvolvimento da arquitetura da estação terrena e de todos os elementos de suporte ao ciclo de vida deste. O ciclo de vida do projeto é mostrado na Figura 1, O desenvolvimento da estação contempla unicamente as fases 0, A e B, deixando as outras fases para trabalhos posteriores.

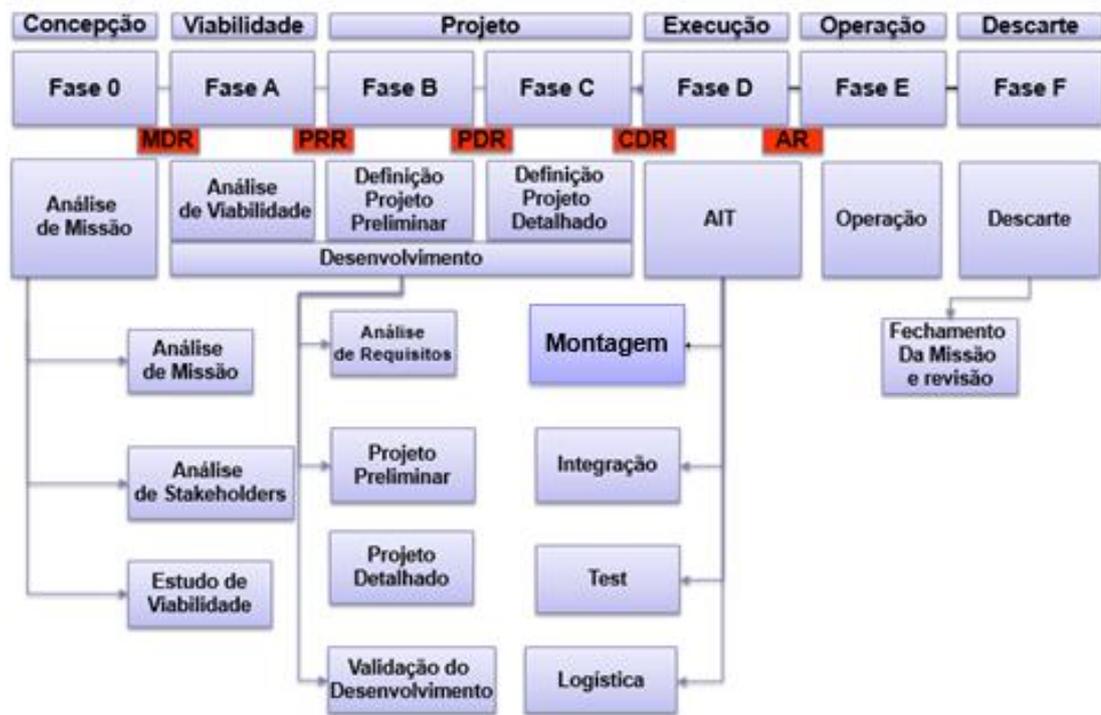


Figura 1 – Ciclo de vida do Sistema do projeto espacial

A responsabilidade de desenvolvimento do grupo da ETB será o centro de Rastreo e controle, como ilustra a Figura 2.

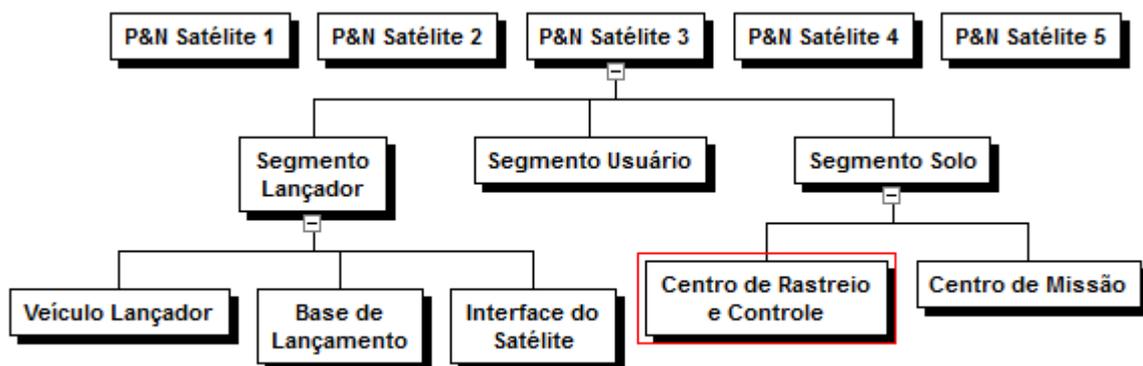


Figura 2 – Sistema de interesse (Centro de Rastreo e controle)

## Revisão de desenvolvimentos similares

O desenvolvimento do sistema será feito por meio do balanço de soluções de estações terrenas encontradas na literatura, estas estações além de servir de referência de design, servirão como referência para a aquisição de componentes principalmente COTS. A Figura 3 apresenta 12 estações que serviram como referências de sistema, subsistema partes e componentes tanto de *hardware* quanto de *software*.



Figura 3 – Revisão de Desenvolvimentos Similares

## Organização de Desenvolvimento

O grupo de pesquisa do LSIS é a organização de desenvolvimento que executara as atividades da ETB, atualmente este grupo se compõe de 5 pessoas com graus de envolvimento variados, além dos 6 integrantes o grupo reúne 6 pesquisadores e tecnólogos do INPE, a mais para fortalecer o conhecimento.



- 1.) Alunos do INPE: 2 alunos de Mestrado e 2 de doutorado estão envolvidos nas atividades de Engenharia de sistemas, cumprindo funções de participação e colaboração.
- 2.) Jaime Enrique Orduy: Desenvolvimento de Engenharia de Sistemas da Estação Terrena.
- 3.) Gabriel Coronel: Colaborador em todas as atividades técnicas da missão da Estação Terrena.
- 4.) Jorge Espindola: Colaborador em todas as atividades da Engenharia de Sistemas.
- 5.) Eduardo Escobar: Planejamento da integração e testes da estação terrena.
- 6.) Geilson Loureiro: Gerente do Projeto
- 7.) Walter Abrahão: Desenvolvimento de Software da Estação terrena.
- 8.) Douglas Soares: Gerente Técnico da Estação Terrena.

### **Locais de desenvolvimento**

Serão utilizados três locais de desenvolvimento das atividades de engenharia, sendo o LIT (Laboratório de Integração e testes) no INPE, a infraestrutura de disponível de fabricação do INPE, e o Laboratório de Antenas e sistemas de Comunicação do grupo de pesquisa do Professor Douglas Soares no ITA.

### **Estratégias de desenvolvimento**

Além do projeto estar de acordo com as regulações de telecomunicações em nível mundial e nacional, com ênfase no serviço radioamador, também deve estar de acordo com as especificações de compatibilidade dos satélites brasileiros, os quais guiarão o desenvolvimento do sistema. Nesse caso as necessidades dos projetistas das missões espaciais de Pico e Nanossatélites serão os dados de entrada ao sistema, esses dados fornecerão o ponto inicial para definir interfaces, desempenho, restrições e principalmente para definir o escopo da missão. O atendimento destas necessidades será feito por meio da redação de requisitos de sistema e de subsistemas, a partir do cumprimento destes, alcança-se o desenvolvimento detalhado da estação.

A captura e coleta de dados dos stakeholders será feita a través do acompanhamento das reuniões de revisões do projeto, elaboradas em principio com cada parte interessada e depois com o grupo de desenvolvimento.

## 5. Fases de desenvolvimento do projeto

### Fase 0: Análise de Missão – Identificação de Necessidades

- Identificação das necessidades dos Stakeholders;
- Entrevistas com os Stakeholders
- Definição dos conceitos do sistema proposto;
- Revisão da definição da missão 'MDR' (*Mission Definition Review*).

### Fase A: Viabilidade

- Análise das necessidades identificadas na Fase 0;
- Propor soluções (identificação de situações críticas e Riscos) para atender as necessidades percebidas;
- Revisão dos requisitos de projeto 'PRR' (*Project Requirements Review*).

### Fase B: Definição Preliminar (produto)

- Definição preliminar do sistema;
- Demonstração de satisfação da solução, por meio do cronograma, orçamento, custo-alvo e os requisitos de organização;
- Revisão SRR (*System Requirements Review*) e PDR (*Preliminary Design Review*).

### Fase C: Definição Detalhada do produto (Não contemplado)

- Estabelecer a definição detalhada do sistema;
- Demonstrar a capacidade (cumprimento dos requisitos técnicos do sistema na especificação de requisitos);
- Revisão crítica do projeto 'CDR' (*Critical Design Review*).

### Fase D: Produção / Testes de Qualificação em solo (AIT) (Não contemplado)

- Finalizar o desenvolvimento do sistema com a aceitação da qualificação;
- Finalizar a preparação para operação e utilização.
- Revisão da Qualificação QR (*Qualificação Review*) e Revisão de aceitação AR (*Acceptance Review*)

### Fase E: Operação (Não contemplado)

- Apoiar a entidade encarregada das operações e utilização seguindo os termos de um acordo comercial.

### Fase F: Descarte (Não contemplado)

- Revisão de Fechamento de Missão 'MCR' – *Mission closed out review*



## 6. Identificação os documentos a serem entregues

- **Plano de engenharia de sistemas**

O documento Plano de Engenharia de Sistemas (SEP) detalha a execução, gestão e controle dos aspectos técnicos do programa de aquisição do sistema, desde a concepção até a eliminação. O SEP descreve como o processo do LSIS de Engenharia de Sistemas é aplicado e adaptado para atender os objetivos de cada fase de aquisição da ETB.

- **Análise de Stakeholders e Requisitos de missão**

Este documento apresenta as análises de *stakeholders* do projeto, a declaração da necessidade, os principais *Stakeholders e suas necessidades*, os requisitos, metas e objetivos de missão.

- **Análise de missão**

Este documento apresenta o processo de análise de missão para definir o projeto. No conteúdo encontram-se as características da missão, fundamentado a necessidade de sua realização.

- **Descrição da arquitetura operacional da missão**

Este documento apresenta o contexto da ETB dentro da arquitetura da missão espacial, descrevendo suas interfaces. Detalha-se o funcionamento dos elementos em cada fase da missão.

- **Requisitos do sistema**

Este documento apresenta os requisitos do sistema Estação Terrena Brasileira (ETB), sendo apresentados separadamente de acordo com a natureza deles. Os

requisitos do documento foram obtidos por meio das necessidades dos usuários, e dos documentos: Análise de Missão, e Arquitetura da Missão.

- **Arquitetura de sistema e subsistemas**

Este documento apresenta a arquitetura da Estação Terrena Brasileira, arquitetura que satisfaz os requisitos do sistema apresentados no documento de requisitos de sistema. Apresenta-se a descrição dos elementos da arquitetura, e suas interfaces.

### Abordagem de Engenharia de Sistemas

O método de Engenharia de Sistemas adotado para desenvolvimento do projeto ETB é baseado no método de desenvolvimento de sistemas complexos do Laboratório de engenharia simultânea de sistemas, este método, desenvolvido por Dr. Geilson Loureiro, foi aplicado pela equipe do LSIS, quem desenvolveu o segmento espacial de uma missão com Pico e Nanossatélites, o AESP 14.

O método abrange produto e organização, porém neste caso somente foi abordado o produto. Assim, é apresentado parte do método customizado para este documento

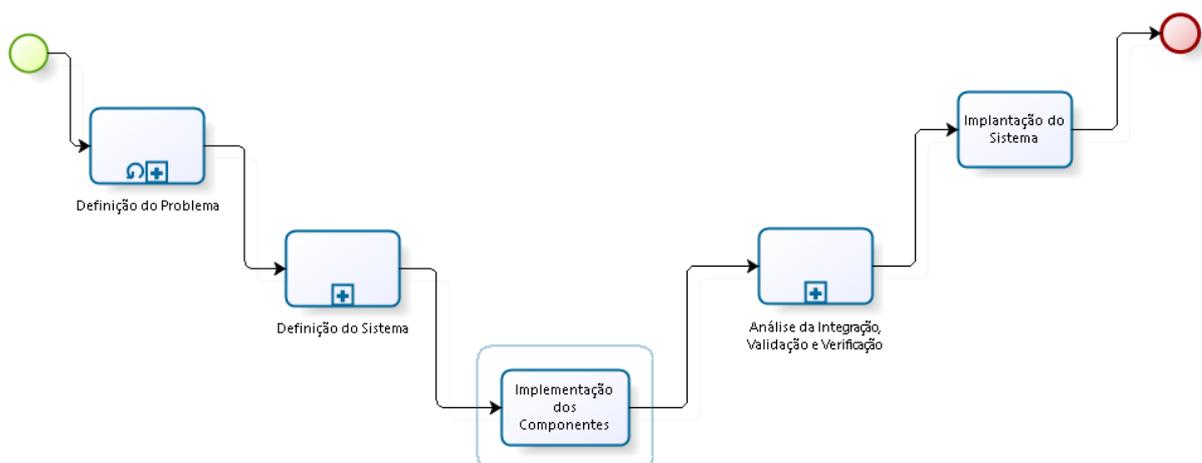


Figura 4 – Processo do LSIS

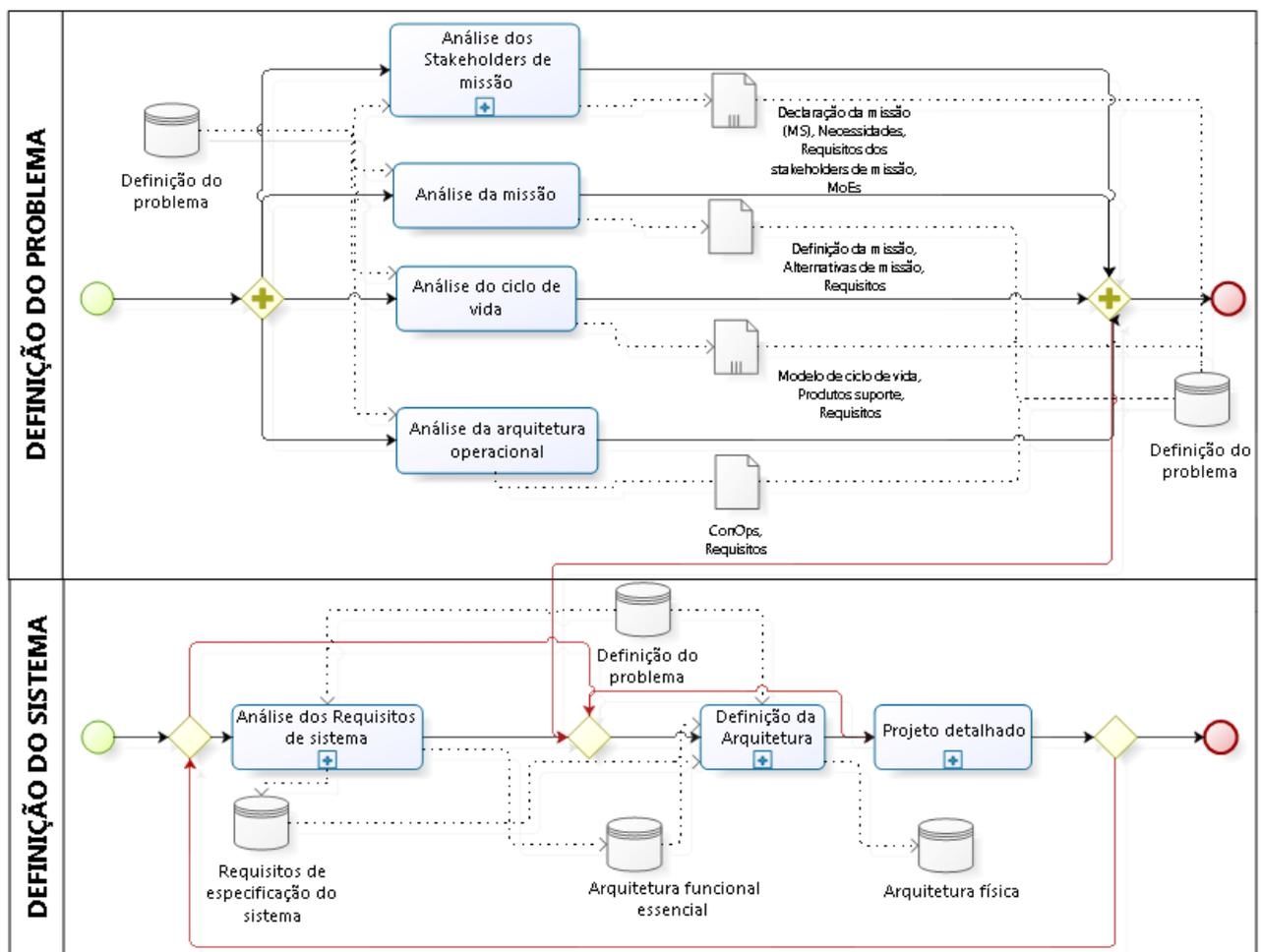


Figura 4 – Processo detalhado do LSIS

As principais atividades a serem realizadas ao longo deste projeto são:

## DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

- Análise de Stakeholders de Missão:
- Análise de Missão:
- Análise do Ciclo de Vida:
- Análise Arquitetura Operacional:

## DEFINIÇÃO DO SISTEMA

- Análise de Requisitos de Sistema:
- Definir Arquitetura:
- Projeto Detalhado:

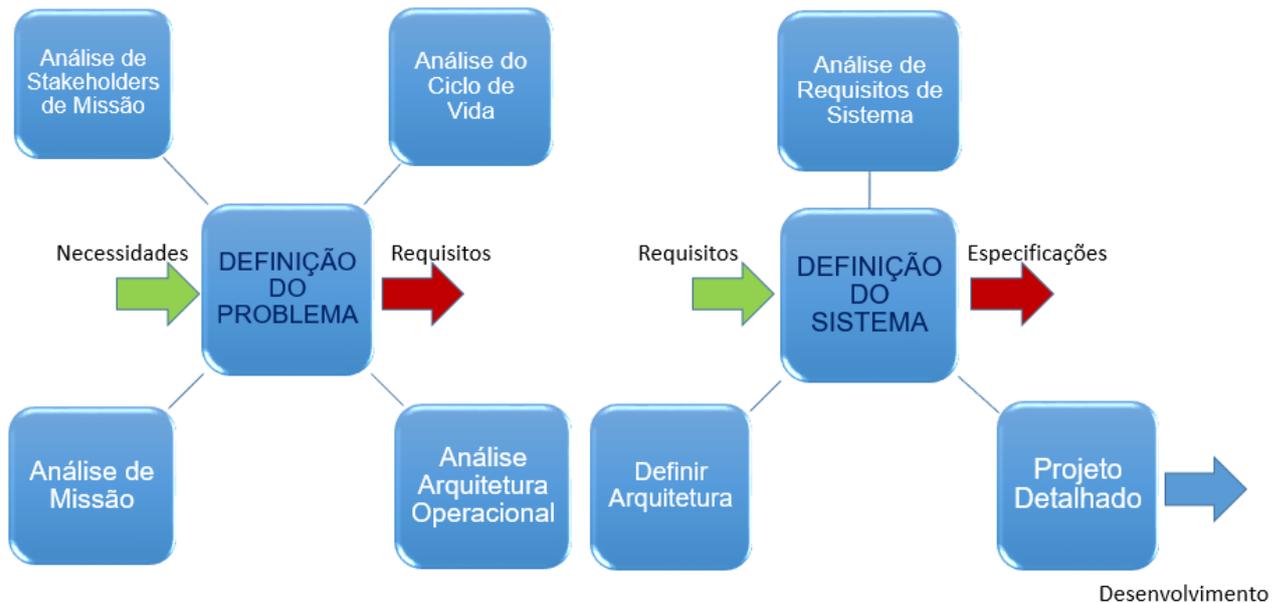


Figura 5 – Processo Simplificado ETB

## Programação do trabalho técnico

A Programação do trabalho técnico se elaborou com respeito a quantidade de pessoas envolvidas no desenvolvimento, neste caso serão 11 pessoas. O dia útil de trabalho de cada pessoa envolvida compõe-se de 8 horas, e toma-se de referência somente 5 dias uteis por semana. A Definição do Problema, vide Figura 6, leva em torno de 7 meses (150 dias), tempo no qual os parâmetros do segmento espacial também devem definidos.

	Nome	Duração	Início	Fim
2	<b>1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>150 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>19/10/15 17:00</b>
3	<b>1.1 Análise de Stakeholders de Missão</b>	<b>150 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>19/10/15 17:00</b>
4	1.1.1 Identificar Stakeholder de Missão	50 dias	24/03/15 08:00	01/08/15 17:00
5	1.1.2 Elicitar Necessidades de Stakeholders	50 dias	02/06/15 08:00	10/08/15 17:00
6	1.1.3 Obter Documentos Existentes	50 dias	02/06/15 08:00	10/08/15 17:00
7	<b>1.1.4 Analisar de Necessidades de Stakeholders</b>	<b>50 dias</b>	<b>11/08/15 08:00</b>	<b>19/10/15 17:00</b>
8	1.1.5 Analisar de Medidas de Efetividade	50 dias	11/08/15 08:00	19/10/15 17:00
9	<b>1.2 Análise de Missão</b>	<b>50 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>01/06/15 17:00</b>
10	1.2.1 Identificar Necessidades de Usuário	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
11	1.2.2 Definir da Missão	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
12	1.2.3 Identificar as Necessidades de Missão	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
13	1.2.4 Identificar Stakeholders	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
14	1.2.5 Definir Níveis de Sucesso da Missão	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
15	1.2.6 Executar Análise Primário da Missão	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
16	1.2.7 Identificar Conceitos da Missão	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
17	1.2.8 Executar Análise Preliminar de Viabilidade	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
18	1.2.9 Definir Plano Preliminar de Gestão	50 dias	24/03/15 08:00	01/06/15 17:00
19	<b>1.3 Análise do Ciclo de Vida</b>	<b>50 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>01/06/15 17:00</b>
20	<b>1.4 Análise da Arquitetura Operacional</b>	<b>50 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>01/06/15 17:00</b>
21	<b>1.5 Planejamento</b>	<b>115 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>31/08/15 17:00</b>
22	<b>1.5.1 Desenvolver o Plano de Gestão de Atividades</b>	<b>30 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>04/05/15 17:00</b>
23	<b>1.5.2 Escopo do Projeto</b>	<b>30 dias</b>	<b>24/03/15 08:00</b>	<b>04/05/15 17:00</b>
24	1.5.2.1 Planejar a Gestão do Escopo	10 dias	24/03/15 08:00	06/04/15 17:00
25	1.5.2.2 Coletar Requisitos	10 dias	24/03/15 08:00	06/04/15 17:00
26	1.5.2.3 Definir o Escopo	10 dias	24/03/15 08:00	06/04/15 17:00
27	<b>1.5.3 Gestão do Cronograma</b>	<b>20 dias</b>	<b>07/04/15 08:00</b>	<b>04/05/15 17:00</b>
28	1.5.3.1 Planejar o Cronograma	20 dias	07/04/15 08:00	04/05/15 17:00
29	1.5.3.2 Definir Atividades	20 dias	07/04/15 08:00	04/05/15 17:00
30	1.5.3.3 Definir Sequência de Atividades	20 dias	07/04/15 08:00	04/05/15 17:00
31	1.5.3.4 Estimar Recursos das Atividades	20 dias	07/04/15 08:00	04/05/15 17:00
32	1.5.3.5 Estimar o Tempo das Atividades	20 dias	07/04/15 08:00	04/05/15 17:00
33	1.5.3.6 Desenvolver uma Linha do Tempo	20 dias	07/04/15 08:00	04/05/15 17:00
34	<b>1.5.4 Gestão de Custos</b>	<b>60 dias</b>	<b>05/05/15 08:00</b>	<b>27/07/15 17:00</b>

Figura 6 – Programação da sequência de atividades

A Definição do Sistema, vide Figura 7, leva em torno de 17 meses (340 dias), tempo no qual o segmento espacial também estará pronto para ser lançado.

	Nome	Duração	Início	Fim
35	1.5.4.1 Planejamento da Gestão de Custos	60 dias	05/05/15 08:00	27/07/15 17:00
36	1.5.4.2 Estimar os Custos	60 dias	05/05/15 08:00	27/07/15 17:00
37	1.5.4.3 Determinar o Orçamento	60 dias	05/05/15 08:00	27/07/15 17:00
38	<b>1.5.5 Gestão do Risco</b>	<b>25 dias</b>	<b>28/07/15 08:00</b>	<b>31/08/15 17:00</b>
39	1.5.5.1 Planejar a Gestão do Risco	25 dias	28/07/15 08:00	31/08/15 17:00
40	1.5.5.2 Identificar Riscos	25 dias	28/07/15 08:00	31/08/15 17:00
41	1.5.5.3 Realizar Análise Qualitativa de Risco	25 dias	28/07/15 08:00	31/08/15 17:00
42	1.5.5.3 Realizar Análise Quantitativa de Risco	25 dias	28/07/15 08:00	31/08/15 17:00
43	1.5.5.5 Encontrar Respostas do Planejamento do Risco	25 dias	28/07/15 08:00	31/08/15 17:00
44	1.5.6 Consolidação do Plano de Gestão do Projeto	40 dias	24/03/15 08:00	18/05/15 17:00
45	<b>2. DEFINIÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>340 dias</b>	<b>20/10/15 08:00</b>	<b>06/02/17 17:00</b>
46	<b>2.1 Análise de Requisitos de Sistema</b>	<b>240 dias</b>	<b>20/10/15 08:00</b>	<b>19/09/16 17:00</b>
47	<b>2.1.1 Análise de Stakeholder de Sistema</b>	<b>25 dias</b>	<b>20/10/15 08:00</b>	<b>23/11/15 17:00</b>
48	2.1.1.1 Identificar Stakeholders do Sistema	25 dias	20/10/15 08:00	23/11/15 17:00
49	2.1.1.2 Elicitar Necessidades de Stakeholder	25 dias	20/10/15 08:00	23/11/15 17:00
50	2.1.1.3 Obter Documentação Existente	25 dias	20/10/15 08:00	23/11/15 17:00
51	2.1.1.4 Analisar de Necessidades de Stakeholder	25 dias	20/10/15 08:00	23/11/15 17:00
52	<b>2.1.2 Análise de Contexto</b>	<b>60 dias</b>	<b>20/10/15 08:00</b>	<b>11/01/16 17:00</b>
53	2.1.2.1 Realizar Análise Funcional	60 dias	20/10/15 08:00	11/01/16 17:00
54	2.1.2.2 Realizar Análise de Estados e Modos	60 dias	20/10/15 08:00	11/01/16 17:00
55	2.1.3 Analisar Funções Essenciais	60 dias	12/01/16 08:00	04/04/16 17:00
56	2.1.4 Desenvolver os Requisitos Não Funcionais	60 dias	05/04/16 08:00	27/08/16 17:00
57	2.1.5 Especificar Requisitos funcionais e de Desempenho	60 dias	05/04/16 08:00	27/08/16 17:00
58	2.1.6 Desenvolver Requisitos de Verificação	60 dias	28/08/16 08:00	19/09/16 17:00
59	2.1.7 Analisar Out-of-Range	60 dias	28/08/16 08:00	19/09/16 17:00
60	2.1.8 Analisar a Avaliação Técnica	60 dias	28/08/16 08:00	19/09/16 17:00
61	<b>2.2 Definição da Arquitetura</b>	<b>100 dias</b>	<b>20/09/16 08:00</b>	<b>06/02/17 17:00</b>
62	2.2.1 Definir os Conceitos da Arquitetura Inicial	20 dias	20/09/16 08:00	17/10/16 17:00
63	2.2.2 Estender a Arquitetura Funcional	20 dias	18/10/16 08:00	14/11/16 17:00
64	2.2.3 Desenvolver a Arquitetura Física	20 dias	15/11/16 08:00	12/12/16 17:00
65	2.2.4 Analisar e Avaliação Técnica	20 dias	13/12/16 08:00	09/01/17 17:00
66	2.2.5 Selecionar a Arquitetura Física	20 dias	10/01/17 08:00	08/02/17 17:00
67	<b>2.3 Protejo Detalhado</b>	<b>45 dias</b>	<b>20/10/15 08:00</b>	<b>21/12/15 17:00</b>
68	2.3.1 Levantar Componentes desde a Arquitetura	15 dias	20/10/15 08:00	09/11/15 17:00
70	2.3.2 Especificar Componentes para Reuso	15 dias	10/11/15 08:00	30/11/15 17:00
71	2.3.4 Especificar Componentes para Desenvolvimento	15 dias	10/11/15 08:00	30/11/15 17:00
72	2.3.2 Especificar Componentes COTS	15 dias	10/11/15 08:00	30/11/15 17:00
73	2.3.6 Especificar Componentes para Aquisição ou Desenvolvimento	15 dias	10/11/15 08:00	30/11/15 17:00
74	2.3.7 Especificar Interfaces	15 dias	10/11/15 08:00	30/11/15 17:00
75	2.3.8 Desenvolver Definição do Sistema Físico Detalhado	15 dias	01/12/15 08:00	21/12/15 17:00
76	<b>3. IMPLEMENTAÇÃO DE COMPONENTES</b>	<b>50 dias</b>	<b>01/12/15 08:00</b>	<b>08/02/16 17:00</b>
77	<b>4. VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO</b>	<b>50 dias</b>	<b>09/02/16 08:00</b>	<b>18/04/16 17:00</b>
78	<b>5. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>50 dias</b>	<b>19/04/16 08:00</b>	<b>27/06/16 17:00</b>

Figura 7 – Programação da sequência de atividades

