



Ministério da  
**Ciência e Tecnologia**



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.22.14.29-TDI

## UMA ABORDAGEM PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DE REQUISITOS BASEADA EM MODELOS DE ESTADOS

Marcelo Henrique Essado de Moraes

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais / Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pela Dra. Ana Maria Ambrosio, aprovada em 25 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3986UP5>>

INPE  
São José dos Campos  
2011

## **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@sid.inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**

### **Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

### **Membros:**

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr<sup>a</sup> Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Vivéca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência e Tecnologia**



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.22.14.29-TDI

## UMA ABORDAGEM PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DE REQUISITOS BASEADA EM MODELOS DE ESTADOS

Marcelo Henrique Essado de Moraes

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia  
Espaciais / Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pela Dra. Ana Maria  
Ambrosio, aprovada em 25 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3986UP5>>

INPE  
São José dos Campos  
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Morais, Marcelo Henrique Essado de.

M791a Uma abordagem para a melhoria da qualidade de requisitos baseada em modelos de estados / Marcelo Henrique Essado de Moraes. – São José dos Campos : INPE, 2011.

xxii+172 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.22.14.29-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais / Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

Orientadora : Dra. Ana Maria Ambrosio.

1. Verificação e validação. 2. Máquinas de estados finitos.  
3. Modelos de estados. 4. Operação de satélites. 5. Itasat. I.Título.

CDU 004.415.5

---

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza



---

Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Eliane Martins



---

Convidado(a) / UNICAMP / Campinas - SP

Dr. Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira



---

Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Ana Maria Ambrosio



---

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

Aluno (a): Marcelo Henrique Essado Morais

São José dos Campos, 25 de fevereiro de 2011



*“Solidários, seremos união. Separados uns dos outros seremos pontos de vista. Juntos, alcançaremos a realização de nossos propósitos.”*

*Adolfo Bezerra de Menezes Cavalcanti (1831-1900)*





## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente cooperaram para que eu chegasse nesse momento da minha existência. Os nomes aqui citados pertencem aos que estão diretamente relacionados a esta dissertação, no entanto, não são menos importantes aqueles que partilharam de minha vivência.

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus - amor e justiça. A meus pais, Leon Denis Ambrósio de Moraes e Célia Essado Garcia de Moraes por me conduzirem sabiamente pelos caminhos da vida. A meu irmão, Márcio Augusto Essado de Moraes, pelo fato de o ser, a sua carinhosa esposa Ana Luiza Salomão e seus lindos filhos João Paulo Salomão Brito e Luís Felipe Salomão Essado de Moraes. A minha companheira, Érica Alves Fiod e sua indescritível filha, Maria Eduarda Alves Fiod. A toda minha família pelas sábias palavras de apoio nos mais variados momentos. Tenho muita gratidão a meus tios, Moraes e Consolação, por me receberem tão bem quando vim morar em São José dos Campos, incluindo meus primos, Alexandre Magalhães Ambrósio e Fernando Magalhães Ambrósio e suas esposas Maria Olívia e Paula, respectivamente, e a seus lindos filhos, Matheus, Thomas e Tiago.

Gratidão, em especial e eternamente, a minha orientadora Dra. Ana Maria Ambrosio, pela extrema competência e sabedoria ao guiar-me pelos amplos caminhos da ciência humana.

Agradeço aos meus professores, verdadeiros mestres, por me mostrarem os caminhos da educação e cito-os em ordem cronológica: Edilson Carlos Caritá, Priscila Andrade e José Roberto Martins, Professores de minha graduação na reconhecida Universidade de Franca (UNIFRAN). José Benedito dos Santos Novaes, Dr. Lamartine N. F. Guimarães, Dr. José Demísio Simões da Silva, Dr. José Ernesto de Araujo Filho, PhD. Marcelo Lopes de Oliveira Souza, PhD. Geilson Loreiro, Dr. L. A. N. Nogueira, Dr. Elbert E. N. Macau, Dr. Maurício Ferreira, Dr. Leonel F. Perondi, Dra. Maria do Carmo Andrade Nono, e Carolina Aparecida Andrade e Wilson Yamaguti , todos estes vinculados ao INPE. À Dra. Emília Villani, Dr. David Fernantes e Aguinaldo Prandini Ricieri e seu Curso de Matemática Aplicada À Vida, todos vinculados ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica. À Dra. Eliane Martins do Instituto de Computação da UNICAMP.

Agradeço à Biblioteca do INPE e a todo o pessoal do SID, em especial às Yolanda e Viveca pela paciência prestada.

Agradeço aos colegas do Grupo de Engenharia de Sistemas do Programa de Satélites Tecnológicos de Pequeno Porte, Missão ITASAT-1 e à Agência Espacial Brasileira (AEB) pelo apoio financeiro.

Agradeço ainda aos amigos da Sala 42 do prédio Satélite e àqueles com os quais dividi o mesmo teto e fabulosas experiências nestes últimos anos, cito em ordem alfabética, Cristiano Strider, Daniela França, Gisieli Kramer, Guilherme S. Welter, Helaine Cristina morais Furtado, Leandro C. Cosis, Leonardo Marini, Lucía Iracema Chipponelli Pinto, Luciano Rigelo Azevedo, Márcia M. N. Costa, Marcos Yoshida, Mariângela Costa, Paulo Ricardo Jauer, Rodolfo Maduro Almeida, Rudinei Martins, Tatiane Felinto, Thiago Duarte Pereira, Wanderson Gomes de Almeida e Wivaldo Junior.

Aos colegas do INPE, LinconIn, Mônica Rocha, Paulo Vêras, Renata Ruiz, Rodrigo Pastl, Suely Gondo, Inaldo Soares de Albuquerque e Yasou, MsC Leandro Toss Hoffman, Dra. Primavera Botelho, Paulo Eduardo Cardoso, Luciana Cardoso, Joaquim Barreto e Mariângela Costa.

Por fim, desejo que o Brasil ocupe seu espaço científico, intelectual e moral no cenário mundial graças à capacitação dessa comunidade de cientistas e com uma política de validação da mesma.

## **RESUMO**

Esta dissertação apresenta uma abordagem para melhoria da qualidade de requisitos baseada em modelos de estados. Estende o contexto do trabalho com informações relevantes da área em estudo, discute e compara soluções apresentadas por diferentes pesquisas. Esta proposta tem como origem a necessidade de melhoria dos requisitos nas fases iniciais de um projeto na área espacial. Apresenta a abordagem com um exemplo didático e a aplica em um estudo de caso dos requisitos de missão do satélite ITASAT-1, o primeiro satélite universitário tecnológico brasileiro. O caso de estudo descrito mostra detalhes sobre os modos de operação e os requisitos de missão do satélite que deram embasamento para a abordagem desenvolvida, chamada COFI-ref. Esta abordagem procura mitigar problemas de requisitos incompletos definindo uma sistemática para garantir a consistência no refinamento dos requisitos.



# **A STATE-BASED APPROACH TO QUALITY IMPROVEMENT OF REQUIREMENTS**

## **ABSTRACT**

This thesis presents a state-based approach to quality improvement of requirements. Extends this concept through discussions about this area including comparisons with several solutions. This proposal has initiated by the needs of the improvement conditions of quality requirements in the early phases of a space project. Describes the approach with a simple example and apply it for quality improvement of requirements of the Itasat-1 satellite as a case study. The first technological university satellite in Brazil. The case study describes details about the modes of operation and mission requirements of the satellite that gave foundations to the developed approach, named COFI-ref. This approach seeks to mitigate problems of incomplete requirements defining a systematic way to ensuring consistency on the refinement of requirements.



## LISTA DE FIGURAS

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| Figura 1.1 – Ciclo de elaboração de requisitos. ....  | 4           |
| Figura 3.1 - Principais passos para o refinamento de requisitos da abordagem COFI-ref. ....   | 25          |
| Figura 3.2 - Passo 1: Aquisição dos Requisitos .....  | 27          |
| Figura 3.3 - Passo 2, Identificação. ....   | 28          |
| Figura 3.4 - Passo 3: Modelagem Baseada em Estados. ....  | 29          |
| Figura 3.5 - Passo 4: Refinamento dos Requisitos. ....  | 30          |
| Figura 3.6 - Máquina de Estado Finito para o Serviço 1 – Modo de Operação Normal.....   | 38          |
| Figura 3.7 - S1_Ex145, Máquina de Estados Finitos para as exceções especificadas 1, 4 e 5.....  | 40          |
| Figura 3.8- S1_CF1, Máquina de Estados Finitos representando os Caminhos Furtivos do sistema. ....  | 42          |
| Figura 3.9 - S1_TF1, Máquina de Estados finitos para falhas de hardware. ....   | 43          |
| Figura 4.1 - A Missão ITASAT e sua relação com a coleta de dados. ....  | 57          |
| Figura 4.2 - Ciclo de vida de um Projeto Genérico na área Espacial. Fonte ECSS-M-ST-10C (2009). ....  | 58          |
| Figura 4.3 - Equipes envolvidas no processo de refinamento de requisitos pela metodologia COFI-ref.....                                       | 59          |
| Figura 4.4 - Modos de operação do satélite ITASAT-1. ....   | 62          |
| Tabela 4.1 - Modos de operação versus subsistemas .....   | 65          |
| Figura 4.5 - Máquina de Estados Finitos do Comportamento Normal do Serviço Mudança de Modos de Operação do ITASAT-1.....                      | 71          |
| Figura 4.6 - Máquina de Estados Finitos do Comportamento de Exceções Especificadas do Serviço Mudança dos Modos de Operação do ITASAT-1....   | 72          |
| Figura 4.7 - Máquina de Estados Finitos do comportamento de Caminhos Furtivos _1 do Serviço de Mudança de Modos de Operação do ITASAT-1. .... | 73          |
| Figura 4.8 - Máquina de Estados Finitos do comportamento Caminhos Furtivos 2 do Serviço Mudança dos Modos de Operação ITASAT-1.....           | 74          |
| Figura 4.9 - Máquina de Estados Finitos do Comportamento de Tolerância a Falhas do Serviço Mudança dos Modos de Operação do ITASAT-1. ....    | 75          |
| Tabela 4.4 - Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados. ....   | 77          |
| Figura 5.1 - Procedimento realizado para aplicação da métrica de avaliação de requisitos antes e após a metodologia COFI-ref. ....            | 99          |
| Figura B.1 - Diagrama conceitual básico de um sistema de controle.....  | 158         |

Figura B.2 - Diagrama conceitual básico do sistema de controle da máquina de café. .... 159



## LISTA DE TABELAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Tabela 2.2 - Trecho do <i>NASA Mishap Reports</i> . .....  | 22          |
| Fonte: Adaptada de Duren (2006). .....   | 22          |
| Tabela 3.1 - Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados. ....  | 31          |
| Tabela 3.2 - Mapeamento entre os modelos de estados e as questões<br>elaboradas. ....  | 33          |
| Tabela 3.3 - Falhas de hardware do sistema - Segundo passo da COFI-ref,<br>Identificação dos Serviços. ....  | 36          |
| Tabela 3.4 - Eventos de entrada para o Sistema em Especificação - Passo<br><i>Identificação de Serviços</i> da metodologia COFI-ref. ....              | 37          |
| Tabela 3.5 - Lista de saídas e ações observáveis do Sistema Em Especificação<br>- Passo <i>Identificação de Serviços</i> da metodologia COFI-ref. .... | 37          |
| Tabela 3.6 - Exceções especificadas no Documento de Especificação de<br>Requisitos .....   | 39          |
| Tabela 3.7 - Tabela de transição de estados - Terceiro passo da metodologia<br>COFI-ref .....  | 41          |
| Tabela 3.8 - Mapeamento entre requisitos e modelos. ....   | 45          |
| Continuação da Tabela 3.8 - Mapeamento entre requisitos e modelos. ....  | 46          |
| Tabela 3.9 - Questões elaboradas para a Máquina de Café e os Modelos de<br>Estados. ....   | 47          |
| Tabela 3.10 – Justificativas às questões elaboradas a partir das MEFs. ....  | 48          |
| Tabela 3.11 - Identificação dos requisitos originais que atendem às questões<br>elaboradas. ....   | 50          |
| Tabela 3.12 - Modificação dos Requisitos a partir das questões elaboradas... ..  | 51          |
| Tabela 4.2 - Falhas de hardware do sistema. ....   | 66          |
| Tabela 4.3 - Eventos e ações do Sistema Em Especificação. ....   | 66          |
| Tabela 4.5 - Questões e justificativas elaboradas a partir das MEFs e dos<br>Requisitos .....  | 81          |
| Tabela 4.6 - Identificação dos requisitos que atendem às questões elaboradas.<br>.....   | 83          |
| Tabela 4.7 - Modificação dos requisitos a partir das questões elaboradas. ....   | 86          |
| Tabela 5.1 - Qualidade Individual do Requisito 1 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....   | 101         |
| Tabela 5.2- Qualidade Individual do Requisito 2 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....  | 101         |
| Tabela 5.3 - Qualidade Individual do Requisito 3 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....   | 102         |
| Tabela 5.4 - Qualidade Individual do Requisito 4 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....   | 103         |
| Tabela 5.5 - Qualidade Individual do Requisito 5 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....   | 104         |
| Tabela 5.6 - Qualidade Individual do Requisito 6 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....   | 105         |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 5.7 - Qualidade Individual do Requisito 7 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....                  | 106 |
| Tabela 5.8 - Qualidade Individual do Requisito 8 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....                  | 107 |
| Tabela 5.9 - Qualidade Individual do Requisito 9 antes da abordagem COFI-ref.<br>.....                  | 108 |
| Tabela 5.10 - Qualidade Individual do Requisito 10 antes da abordagem COFI-<br>ref.....                 | 109 |
| Tabela 5.11 - Qualidade Individual do Requisito 11 antes da abordagem COFI-<br>ref.....                 | 110 |
| Tabela 5.12 - Qualidade Individual do Requisito 12 antes da abordagem COFI-<br>ref.....                 | 111 |
| Tabela 5.13 - Qualidade Individual do Requisito 13 antes da abordagem COFI-<br>ref.....                 | 112 |
| Tabela 5.15 - Qualidade Individual do Requisito 15 antes da abordagem COFI-<br>ref.....                 | 114 |
| Tabela 5.16 – Resultado da métrica do conjunto de requisitos antes da<br>aplicação da COFI-ref. ....    | 115 |
| Tabela 5.17 - Valores típicos obtidos para classificação dos requisitos. Fonte:<br>Halligan (1993)..... | 116 |
| Tabela 5.18 - Qualidade Individual do Requisito 5 A após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 117 |
| Tabela 5.19 - Qualidade Individual do Requisito 5 B após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 118 |
| Tabela 5.20 - Qualidade Individual do Requisito 5 C após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 119 |
| Tabela 5.21 - Qualidade Individual do Requisito 5 D após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 120 |
| Tabela 5.21 - Qualidade Individual do Requisito 5 E após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 121 |
| Tabela 5.23 - Qualidade Individual do Requisito 5 E.1 após aplicação da COFI-<br>ref.....               | 122 |
| Tabela 5.24 - Qualidade Individual do Requisito 7 A após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 123 |
| Tabela 5.25 - Qualidade Individual do Requisito 7 B após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 124 |
| Tabela 5.26 - Qualidade Individual do Requisito 7 C após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 125 |
| Tabela 5.27 - Qualidade Individual do Requisito 9 A após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 126 |
| Tabela 5.28 - Qualidade Individual do Requisito 9 B após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 127 |
| Tabela 5.29 - Qualidade Individual do Requisito 9 C após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 128 |
| Tabela 5.30 - Qualidade Individual do Requisito 9 D após aplicação da COFI-<br>ref.....                 | 129 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 5.31 - Qualidade Individual do Requisito 10 A após aplicação da COFI-ref.....           | 130 |
| Tabela 5.32 - Qualidade Individual do Requisito 10 B após aplicação da COFI-ref.....           | 131 |
| Tabela 5.33 - Qualidade Individual do Requisito 10 B.1 após aplicação da COFI-ref.....         | 132 |
| Tabela 5.34 - Qualidade Individual do Requisito 10 C após aplicação da COFI-ref.....           | 133 |
| Tabela 5.35 - Qualidade Individual do Requisito 10 D após aplicação da COFI-ref.....           | 134 |
| Tabela 5.36 - Qualidade Individual do Requisito 10 E após aplicação da COFI-ref.....           | 135 |
| Tabela 5.37 - Qualidade Individual do Requisito RMD.Q5.A após aplicação da COFI-ref.....       | 136 |
| Tabela 5.38 – Resultado da métrica do conjunto de requisitos após a aplicação da COFI-ref..... | 137 |
| Tabela 5.39 - Comparação entre as medidas de QIR antes e após a COFI-ref.....                  | 138 |
| Tabela B.1 - Opções do usuário.....  | 157 |
| Tabela B.2 - Possíveis saídas da máquina para o usuário.....                                   | 160 |



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|          |  |
|----------|--|
| COFI     | Conformance and Fault Injection                            |
| COFI-ref | Conformance and Fault Injection for Requirement Refinement |
| ECSS     | European Cooperation for Space Standardization             |
| ETE      | Engenharia e Tecnologia Espaciais                          |
| INPE     | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais                  |
| MEF      | Máquina de Estados Finitos                                 |
| SID      | Serviço de Informação e Documentação                       |
| SPG      | Serviço de Pós-Graduação                                   |
| SPG      | Serviço de Pós-Graduação                                   |
| TDI      | Teses e Dissertações Internas                              |
| V&V      | Verificação e Validação                                    |



## SUMÁRIO

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>1</b>    |
| 1.1. Fundamentos de Requisitos de Software.....   | 2           |
| 1.2. Objetivo e Visão Geral da Dissertação.....   | 6           |
| <b>2. CONTEXTO DO TRABALHO</b> .....  | <b>9</b>    |
| 2.1. Considerações Iniciais.....  | 9           |
| 2.2. Conceitos e definições de requisitos de software.....  | 9           |
| 2.3. Trabalhos Relacionados com Especificação de Requisitos e Problemas<br>Associados.....  | 15          |
| <br>  |             |
| <b>3. DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM COFI-ref {XE “DESCRIÇÃO DA<br/>ABORDAGEM COFI-ref”}</b> .....  | <b>23</b>   |
| 3.1. Considerações Iniciais.....  | 23          |
| 3.2. Descrição da Abordagem COFI-ref.....   | 23          |
| 3.3. Exemplo da aplicação da abordagem COFI-ref em um sistema dinâmico<br>didático.....   | 34          |
| <br>  |             |
| <b>4. VALIDAÇÃO DOS MODOS DE OPERAÇÃO DO SATÉLITE ITASAT-1<br/>COM USO DA COFI-ref</b> .....  | <b>55</b>   |
| 4.1. Considerações Iniciais.....  | 55          |
| 4.1.1. Visão Geral do Programa ITASAT.....  | 55          |
| 4.2. Refinamento dos Requisitos de Operação do satélite ITASAT-1 com a<br>aplicação da metodologia COFI-ref.....                                | 57          |
| 4.2.1. Contexto da aplicação da COFI-ref no desenvolvimento do satélite<br>ITASAT-1.....  | 57          |
| 4.2.2. Requisitos dos modos de operação do satélite ITASAT-1.....   | 59          |
| 4.2.3. Aplicando a abordagem COFI-ref.....  | 66          |
| 4.3. Análise dos Modelos de Estados.....  | 76          |
| <br>  |             |
| <b>5. MÉTRICA PARA AVALIAÇÃO DE REQUISITOS</b> .....  | <b>93</b>   |
| 5.1. Considerações Iniciais.....  | 93          |
| 5.2. O Modelo Estrutural de Requisitos.....   | 93          |
| 5.3. Avaliação da Qualidade Individual do Requisito (QIR).....  | 95          |
| 5.4. Cálculo da Métrica de Qualidade do Conjunto de Requisitos.....   | 96          |
| 5.5. Aplicação da Métrica Modelo Estrutural de Requisitos.....  | 98          |
| 5.5.1. Aplicação da Métrica de Qualidade de Requisitos antes da COFI-ref ..   | 99          |
| 5.5.2. Aplicação da Métrica de Qualidade de Requisitos após a Abordagem<br>COFI-ref.....  | 116         |
| 5.6. Comparação entre os resultados obtidos da aplicação da métrica de<br>qualidade de requisitos antes e após o uso da abordagem COFI-ref..... | 137         |

|   |            |
|---|------------|
| <b>6. CONCLUSÃO .....</b>   | <b>143</b> |
| 6.1. Histórico.....   | 143        |
| 6.2. Contribuições.....   | 144        |
| 6.3. Limitações .....   | 146        |
| 6.4. Trabalhos Futuros .....  | 146        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>147</b> |
| <b>APÊNDICE A - Descrição da Metodologia CoFi simplificada .....</b>  | <b>153</b> |
| <b>APÊNDICE B - Especificação de Requisitos de uma Máquina de Café... 157</b>   | <b>157</b> |
| B.1 Introdução.....   | 157        |
| B.2 Descrição Física .....  | 157        |
| B.2.1 Dispositivos de Comando .....   | 159        |
| B.2.2 Dispositivos de Monitoração .....   | 159        |
| B.3 Dispositivos de Atuação.....  | 160        |
| B.4 Dispositivos de Detecção.....   | 160        |
| B.5 Eventos e Ações .....   | 160        |
| B.6 Requisitos .....  | 161        |
| B.7 Referências.....  | 163        |
| <b>ANEXO A - Documento de Especificação de Requisitos dos Ciclos de<br/>Missão e Modos de Operação do ITASAT-1.....</b> | <b>165</b> |
| <b>ÌNDICE POR ASSUNTO .....</b>   | <b>171</b> |



## 1. INTRODUÇÃO

Aplicações espaciais dependem cada vez mais de sistemas computacionais para aumentar a autonomia de operações que envolvem satélites, balões meteorológicos, espaçonaves, foguetes e clima terrestre. Novos algoritmos e recursos computacionais estão sendo utilizados a fim de realizar os mais diversos tipos de controle destas operações (LARSON; WERTZ 1999). Sistemas de controle automático são encontrados em abundância em setores da indústria, tais como controle de qualidade e fabricação de produtos, linha de montagem automática, sistemas de transporte, sistemas de potência, robôs, sistemas bélicos, tecnologias espaciais incluindo monitoramento do clima terrestre e muitos outros (OGATA ,1970; YONEYAMA, et al., 2000; ROBINSON 2007).

O Brasil, como um país tropical de aproximadamente 4,8 milhões de quilômetros quadrados de florestas, representa em torno de 10% do total mundial com a segunda maior área florestal do mundo. Com tais qualidades, desempenha uma função estratégica na regulação do clima regional e global, sendo que o setor florestal representa cerca de 4% do PIB brasileiro (PMNC, 2008). O país tem buscado, através de ações concretas no âmbito governamental estabelecer um completo zoneamento agroecológico nacional, assim, possibilitando a classificação de regiões agrícolas que são apropriadas para produção de biocombustível, alimentos, preservação ambiental entre outros. Para tanto, este zoneamento depende do acompanhamento dos dados meteorológicos de todo o território nacional. Acompanhamento, este, que está inserido na missão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O INPE, um dos principais órgãos federais responsável por projetar, desenvolver e operar satélites tem como missão produzir ciência e tecnologia nas áreas espacial e do ambiente terrestre e oferecer produtos e serviços singulares em benefício do Brasil (WINTER et al., 2007). Com uma demanda

crescente relacionada ao INPE e às necessidades do país é necessário que cada vez mais um programa de âmbito nacional conhecido como Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) seja mantido. De acordo com Yamaguti et al. (2009), o SBCDA opera com mais de 800 Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) espalhadas por todo o território nacional e também outros países da América do Sul. O interesse da comunidade usuária tem se mostrado crescente e a qualidade dos serviços prestados são fatores que justificam o investimento realizado por parte destes usuários na aquisição e instalação de PCDs pelo INPE. O SBCDA será descrito com maior detalhe no Capítulo 4, incluindo sua relação com o objeto de estudo deste trabalho, o satélite ITASAT-1.

O próximo item abordará tópicos relacionados à engenharia de aplicações espaciais com ênfase no tema desta dissertação que é verificação e validação de requisitos de software.

### **1.1. Fundamentos de Requisitos de Software**

Requisitos são o meio de comunicação entre os interessados, os arquitetos ou engenheiros de sistemas e os desenvolvedores (IBM CORPORATION, 2008). Eles estão intimamente ligados ao custo e ao cronograma do projeto, uma vez que os recursos necessários para sua correção crescem em um fator de 20 a 1000 vezes acima do esforço despendido durante o ciclo de vida de um sistema (HALLIGAN, 1993; BOEHM et al., 2001).

De acordo com Schimdt et al. (2004), os requisitos descrevem os serviços e as restrições operacionais de um sistema. Trata-se de um processo que visa encontrar uma solução analisando, documentando e verificando os serviços e restrições previamente definidos.

De acordo com o padrão ECSS-E-10 Part 1B (2004) a Engenharia de Requisitos é a área responsável por: (i) Interpretar as necessidades dos interessados; (ii) Gerar, controlar e manter de forma coerente e apropriada as especificações de alto e baixo nível de um sistema; e (iii) Garantir a completa rastreabilidade dos requisitos iniciada na especificação citada no item (ii), até o término (*close-out*) da verificação.

No contexto da Engenharia de Software, Sommerville (2007) define a Engenharia de Requisitos como responsável por: (i) Estabelecer o que o sistema deve fazer, isto é, sua intenção e propriedades essenciais; e (ii) identificar as restrições de operação do sistema e do processo de desenvolvimento de software.

A disciplina de Engenharia de Requisitos engloba cinco grandes etapas. A primeira, de Eliciação, está relacionada com o processo de aquisição de requisitos. A segunda, de Especificação, está focada na documentação das relações entre as funções, o desempenho e as restrições do sistema. A terceira, de Modelagem, está relacionada com o mapeamento dos requisitos e a transformação destes em modelos visuais que representem o domínio do problema. A quarta, de Validação, está associada com o processo de garantir que todos os requisitos sejam identificados de modo que não haja inconsistências entre o projeto de um produto e/ou de um serviço e de suas especificações. Por fim, a quinta etapa está relacionada com a Gestão dos requisitos, cujo principal objetivo é garantir que estes sejam rastreáveis, controláveis e identificáveis do seu nível mais alto ao nível mais baixo do sistema (PRESSMAN, 2001). Na Figura 1.1 ilustram-se as atividades desenvolvidas em cada etapa da engenharia de requisitos.

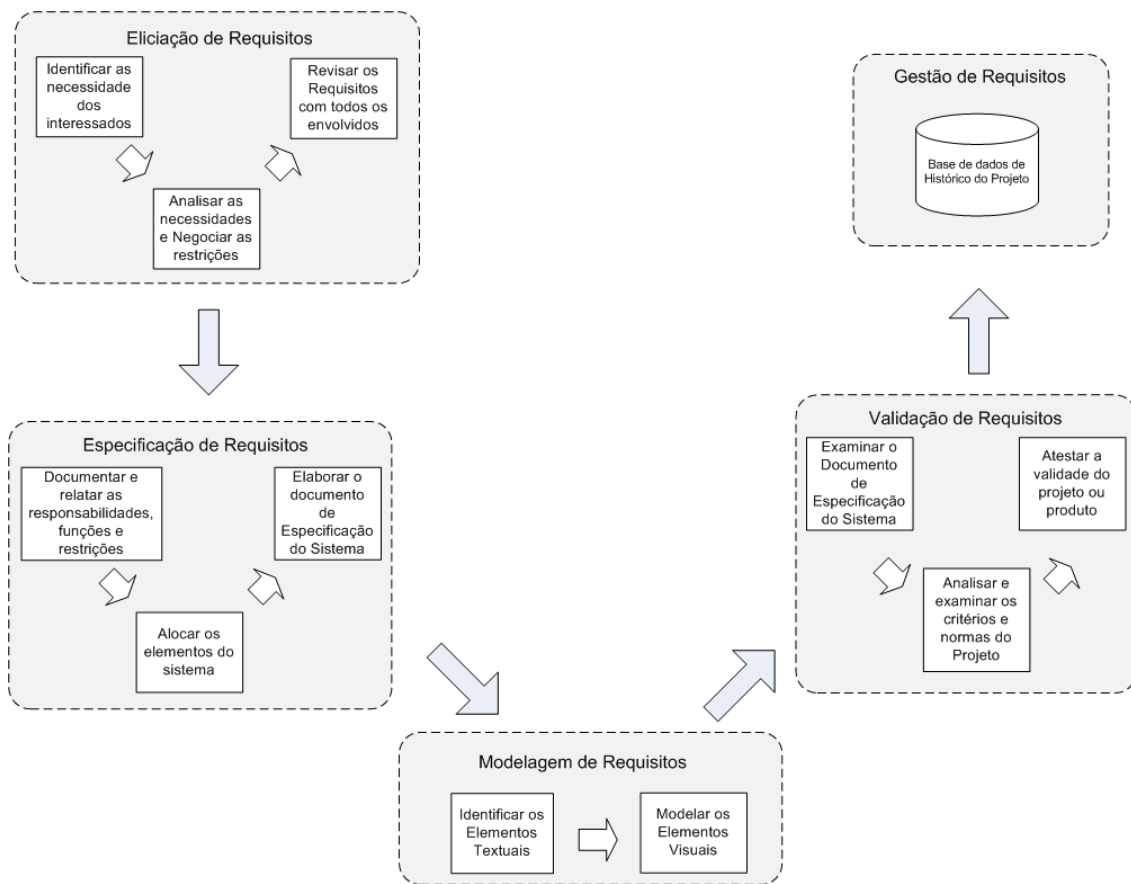


Figura 1.1 – Ciclo de elaboração de requisitos.

### Eliciação de Requisitos

Através de discussões, os usuários, clientes e outros interessados devem definir exatamente o que se espera, qual o objetivo do sistema e/ou do produto. Adicionalmente, deve ser definido como o sistema (projeto) se satisfaz às necessidades do negócio e qual será seu uso no dia-a-dia.

### Especificação de Requisitos

A especificação do sistema é a etapa final produzida pelo engenheiro de requisitos. O artefato produzido nesta atividade relaciona-se com os fundamentos da engenharia de hardware, de software, de base de dados e de recursos humanos. Descreve as funções e desempenho do sistema (projeto) e as restrições que irão orientar seu desenvolvimento. Define ainda os limites e

aloca todos os elementos de sistema descrevendo e relacionando todas as suas entradas e saídas.

### **Modelagem de Requisitos**

A fim de especificar exatamente o que deve ser construído, muitas vezes é necessária a descrição não somente textual, mas também visual do sistema.

### **Validação de Requisitos**

A validação dos requisitos consta de uma análise minuciosa da especificação em termos do sistema ou produto a ser desenvolvido a fim de que seja garantido que todos os requisitos foram atendidos e de que não houve inconsistências, omissões ou outros erros que não tenham sido corrigidos. Esta atividade é conduzida de acordo com as conformidades estabelecidas no início do projeto.

### **Gestão de Requisitos**

Esta atividade está relacionada aos procedimentos definidos para garantir que todos os requisitos sejam devidamente identificados, classificados, justificados e possam ser rastreados. Para tanto, softwares específicos são utilizados para gerir esta atividade.

Os requisitos podem ser definidos e classificados em três níveis, para os diferentes estágios do ciclo de desenvolvimento de um sistema. O primeiro nível são os dos interessados ou usuários, o segundo, dos arquitetos ou engenheiros de sistemas e o terceiro correspondem aos desenvolvedores (IBM CORPORATION, 2008). Ao longo do ciclo de vida de um sistema, seja este computacional ou não, as necessidades destes diferentes níveis devem ser identificadas e atendidas em uma abordagem holística.

Hoje em dia há muita pesquisa na área de Engenharia de Requisitos (IBM CORPORATION, 2008; INCOSE, 2009; SOMMERVILLE, 2007; PRESSMAN,

2005). Sendo esta uma atividade complexa, devido ao seu alto grau de abstração, consome muito tempo e está propensa a erros. De acordo com Cybulski (2002), mais de 56% de todos os defeitos de software provêm de erros introduzidos na especificação de requisitos. Com relação ao tempo gasto o mesmo autor estima que cerca de 80% do tempo consumido na fase de desenvolvimento está relacionada às atividades de ajuste nos requisitos.

O próximo item apresentará uma visão geral deste trabalho em termos da metodologia proposta e de sua aplicação no refinamento de requisitos.

## **1.2. Objetivo e Visão Geral da Dissertação**

O objetivo desta dissertação é definir uma sistemática baseada em modelos de estados para apoiar o refinamento de requisitos de sistemas aeroespaciais como uma técnica de verificação e validação a ser aplicada no desenvolvimento de missões espaciais. A proposta consta da definição de uma abordagem, denominada COFI-ref para apoiar a atividade de validação dos Requisitos. A abordagem proposta é uma variação da metodologia *Conformance and Fault Injection* (COFI) (AMBROSIO et al., 2004) e visa complementar as atividades do ciclo de elaboração dos requisitos de sistemas (computacionais ou não) a fim de melhorar não apenas a validação mas a eliciação, a especificação e a modelagem dos requisitos.

A COFI inclui uma metodologia para geração automática de casos de testes e um processo de teste que agrega a técnica de injeção de falhas e os conceitos de teste de conformidade para validação de software. A metodologia COFI orienta o projeto de casos de teste e de casos de falhas de forma sistemática obedecendo a um critério que permite quantificar e projetar os casos de testes com antecedência no ciclo de desenvolvimento do software. Além disso, aplicando-se a COFI e seguindo-se os passos recomendados a dependência da experiência e percepção da pessoa responsável pelos testes na qualidade

do conjunto de casos de teste é reduzida. No entanto, sem impedir a valiosa contribuição intelectual do ser humano. A metodologia COFI desfruta dos resultados positivos da geração automática de teste baseada em métodos formais detalhados em Ambrosio et al, (2004).

Visando dar subsídios para a realização desta dissertação, dois estudos foram realizados com a aplicação da metodologia de teste COFI. No primeiro (MORAIS, et al., 2009), a metodologia foi aplicada para geração de Casos de Testes para uma aplicação didática. No segundo (PONTES et al. 2009), após a geração e execução dos casos de testes gerados pela metodologia COFI, foi realizada uma análise quanto à origem dos problemas encontrados no produto final. A constatação foi que os problemas encontrados apontavam para falhas graves que tiveram origem no Documento de Especificação de Requisitos. Este resultado corroborou os trabalhos que se seguiram na definição da abordagem COFI-ref e que são disponibilizados nos anexos desta dissertação.

Essa dissertação está organizada da seguinte maneira:

O Capítulo 2, Contexto do Trabalho, relaciona estudos, propostas e soluções para com problemas relacionados com a especificação de requisitos.

O Capítulo 3, Descrição da Abordagem COFI-ref, descreve em detalhes e exemplifica a abordagem proposta.

O Capítulo 4, Validação dos Modos de Operação do Satélite ITASAT-1 com o uso da COFI-ref, apresenta o estudo de caso desta dissertação, em que a abordagem é aplicada no Documento de Especificação de Requisitos de uma missão espacial.

O Capítulo 5, Métrica para Avaliação de Requisitos, descreve a aplicação de uma métrica para quantificar os resultados obtidos com o uso da COFI-ref no documento de especificação do estudo de caso.

O Capítulo 6, Conclusão, discute as contribuições, limitações e trabalhos futuros da COFI-ref.





## **2. CONTEXTO DO TRABALHO**

### **2.1. Considerações Iniciais**

Este Capítulo apresenta conceitos que fundamentam este trabalho. Os assuntos principalmente focados são: definições de requisitos e trabalhos recentes em especificação de requisitos e problemas associados.

### **2.2. Conceitos e definições de requisitos de software**

Na engenharia de software os requisitos definem um produto ou processo a ser realizado. Pode-se afirmar que o sucesso de qualquer programa de computador está diretamente relacionado com a adequação às definições e a comunicações de requisitos. Para Halligan (1993), a qualidade de requisitos está associada à satisfação do usuário, para o qual se dá o nome de fatores de qualidades. Este conceito será discutido e ilustrado no Capítulo 5 desta dissertação.

Sabe-se que os requisitos são expressos, muitas vezes, em linguagem natural com declarações textuais, embora representações gráficas e métodos formais matemáticos sejam amplamente utilizados. Nesse contexto, a Engenharia de Requisitos define que o processo de elaboração de requisitos deve ser feito eliciando, modelando e analisando as informações obtidas nos diferentes níveis de interação com os usuários. De acordo com Cavalcanti et al. (2001), o produto desse processo é um modelo de documento chamado Requisitos.

Para Xexéo (2004), um requisito pode ser obtido a partir de três diferentes pontos de vista, são eles:

- a) Requisitos do usuário: comportamento ou característica que o usuário deseja do software ou do sistema como um todo.

- b) Requisitos do sistema: comportamento ou característica exigida do sistema como um todo, incluindo hardware e software.
- c) Requisito do software: comportamento ou característica que é exigida do software propriamente dito.

No entanto, os requisitos são comumente tratados juntos, sem maiores denominações ou classificações, simplesmente, pelo fato de ferramentas e métodos utilizados para identificá-los, modelá-los e desenvolvê-los serem similares.

O primeiro passo para se estabelecer um requisito é a comunicação formal, ou não, dos usuários e arquitetos de sistemas ou analistas de negócios. Assim, identifica-se de imediato que a relação humana é um fator decisivo para elaborar um bom documento de requisitos. Alguns fatores podem ser relacionados para se criar bons requisitos, são eles:

- a) Descobrir o que o usuário pretende, seus desejos e necessidades;
- b) Ajudar a organizar suas necessidades elaborando-as e estruturando-as em documentos padronizados;
- c) Preencher as estruturas de maneira ordenada e hierarquicamente;
- d) Verificar e validar todas as informações com os usuários; e
- e) Garantir que a solução esteja nos requisitos desenvolvidos.

De acordo com a IBM Corporation, (2008), bons requisitos devem seguir certos critérios e definições. De maneira didática propõe que para cada requisito as seguintes questões sejam praticadas para que se alcance um resultado de requisitos concisos, não ambíguos e completos:

- a) Está correto? (se é possível, se é legal);

- b) Está completo? (se a oração está completa);
- c) Está claro? (se não é ambíguo ou confuso);
- d) É consistente? (se não há conflito com outros requisitos);
- e) É verificável? (se é possível determinar que o requisito atinja o proposto pelo sistema);
- f) É rastreável? (se é único); e
- g) É viável? (se acompanha o custo e cronograma).

Autores como Halligan (1993) e IBM Corporation (2008) destacam a importância da gramática da língua ao estruturar um requisito.

Para Yourdon (1990) a especificação de requisitos pertence a um subconjunto da língua natural com algumas restrições quanto ao tipo de sentenças que podem ser utilizadas e à maneira como estas sentenças podem ser reunidas. O autor utiliza o termo, Linguagem Estruturada, para definir o propósito de se obter um razoável equilíbrio entre a precisão de uma linguagem de programação formal e a casual informalidade e legibilidade da língua que se utiliza. Indica que devem ser construídas orações com verbos de ação e que de 40 a 50 verbos são suficientes para descrever qualquer política em qualquer especificação. Os objetos (tema de sentenças imperativas simples) devem ser compostos apenas por elementos de dados que tenham sido definidos no dicionário de dados. O autor faz ainda algumas correlações entre estruturas de comandos IF-THEN-ELSE, DO-WHILE e CASE com a linguagem natural para formatação do requisito propriamente dito.

Em Pressman (2005), o autor afirma que entender os problemas que envolvem os processos de eliciação de requisitos é uma das tarefas mais difíceis da

Engenharia de Software, principalmente porque o cliente não sabe o que é um requisito. Para tanto, faz-se necessário que as atividades de Engenharia de Requisitos sejam como tantas outras, mais uma etapa adaptada às necessidades do processo, projeto e pessoas envolvidas. Assim, em uma perspectiva de software, a Engenharia de Requisitos é uma ação da Engenharia de Software que se inicia durante a atividade de comunicação e continua durante a modelagem do sistema.

As atividades relacionadas à Engenharia de Requisitos obedecem a certos mecanismos para que o analista responsável possa entender as necessidades do cliente e vice-versa. Pressman (2005) descreve essas atividades e cita que estão relacionadas à:

- a) Analisar as necessidades;
- b) Avaliar as viabilidades;
- c) Negociar uma solução;
- d) Validar a especificação; e
- e) Gerenciar os requisitos até que se transformem no sistema operacional.

Sommerville (2007) descreve que requisitos representam a descrição de serviços e de suas restrições operacionais. Em outras palavras, os requisitos refletem as necessidades dos clientes perante uma problemática. Por exemplo, o controle de uma planta industrial ou de um dispositivo. O processo de busca, análise, documentação, validação destes serviços e restrições são definidos por Sommerville (2007) como Engenharia de Requisitos. Trata ainda os requisitos em dois diferentes níveis. O primeiro, de maior abstração, é definido como requisitos de usuário e o segundo de requisitos de sistema e são descritos como:

- a) Requisitos de usuários: são declarações em língua natural ou visual (diagramas, etc) do que os serviços do sistema provêm e sob quais restrições devem operar; e
- b) Requisitos de sistema: são o conjunto de funções, serviços e restrições operacionais do sistema. O documento que compõe os requisitos de sistema deve ser preciso e definido exatamente como deve ser implementado.

Sommerville (2007) classifica ainda os requisitos em:

- a) Requisitos funcionais: são as declarações de serviços que o sistema deve prover;
- b) Requisitos não-funcionais: são as restrições sobre os serviços ou funções que o sistema provê; e
- c) Requisitos de domínio: são os que vêm da aplicação do sistema e refletem nas características e restrições de seu domínio. Podem ser ainda agrupados como funcionais ou não-funcionais.

Para o autor, Sommerville (2007), cada uma destas classes podem ser subdivididas para que os requisitos fiquem melhores dispostos, tanto para os desenvolvedores quanto para os usuários.

De acordo com o *European Cooperation for Space Standardization (ECSS)*, os requisitos são partes de um processo bem definido para planejamento, gerenciamento, integração, verificação e validação de qualquer sistema, seja este de software ou não.

As atividades da Engenharia de Requisitos abordadas em ECSS-E-10 Part 1B, (2004) são:

- a) Especificar técnica e funcionalmente o sistema;

- b) Consolidar os requisitos obtidos, principalmente, a partir das revisões de projeto;
- c) Analisar os requisitos, pela identificação de seus elementos e impactos no projeto incluindo a atividade de análise de risco;
- d) Refinar os métodos de verificação de requisitos;
- e) Alocar os requisitos, isto é, para cada nível do sistema deve-se identificar o requisito correto para o item correspondente;
- f) Analisar a consistência dos requisitos, isto é, analisar os requisitos de sistema e níveis inferiores de maneira individual e global, verificando sua consistência e eliminar redundâncias;
- g) Validar os requisitos, parte da aceitação final juntamente com o usuário do sistema;
- h) Planejar a manutenção dos requisitos, isto é, garantir que estejam sempre atualizados durante todas as fases do ciclo de vida; e
- i) Construir um padrão oficial básico (*baseline*) de documentos gerados a partir dos requisitos do sistema.

De acordo com ECSS-E-10-C Draft 1, (2007) decisões de engenharia são tomadas para dar suporte ao planejamento dos requisitos que devem incluir:

- a) Geração, controle e manutenção do conjunto de requisitos que compõem o sistema e seus níveis;
- b) Consistência entre os requisitos em seus diferentes níveis: níveis de sistema, subsistema, componentes e equipamentos;
- c) Conformidade de cada requisito com características previamente especificadas e definidas;

d) Existência de uma justificativa para cada requisito.

Finalizando, a especificação de requisitos resulta de um processo interativo entre os interessados e o arquiteto de sistemas. Deste processo, ambos vão, progressivamente, aprimorando seus conhecimentos sobre o Sistema Em Desenvolvimento.

### **2.3. Trabalhos Relacionados com Especificação de Requisitos e Problemas Associados**

Nos últimos anos tem havido muitas pesquisas na área de Engenharia de Requisitos (LARSON; WERTZ 1999; PRESSMAN, 2005; SOMMERVILLE, 2007; IBM CORPORATION, 2008; GARCIA-DUQUE et al., 2009). O levantamento de requisitos é uma atividade complexa. Devido ao seu grau de abstração, consome muito tempo e está propensa a erros.

Os principais trabalhos acadêmicos estudados durante o desenvolvimento desta dissertação foram: Vérias et al., (2010); Garcia-Duque et al (2009); Lin et al. (2008); Letier et al. (2004); Liu (2002); Cybulski (2002); De Jong et al. (2000); Gunter et al. (2000), Darimont e Van Lamsweerde (1996); e Halligan (1993). Uma comparação, quanto ao principal problema focado pelo autor e a sua proposta de solução, foi realizada. Adicionalmente, foram avaliadas as vantagens e as limitações de cada proposta apresentada nos artigos citados.

Na Tabela 2.2 resumiram-se os principais aspectos levantados nos artigos científicos identificados na literatura, os quais contribuem com o aprimoramento das atividades da Engenharia de Requisitos. A primeira coluna apresenta os autores; a segunda identifica o problema, enquanto a terceira apresenta a solução proposta; e na quarta e quinta colunas são expostas, respectivamente, as limitações e vantagens discutidas pelos autores

Tabela 2.1 - Comparações de trabalhos em análise e modelagem de requisitos.

| Autores                   | Problema citado  | Solução  | Limitação  | Vantagem   |
|---------------------------|--|--|--|--|
| Véras et al (2010)        | Erros em documentos de especificação de requisitos de software em aplicações espaciais | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entender e classificar os requisitos por tipos de acordo com o domínio de aplicação utilizando-se da taxonomia.</li> <li>2. Propor um conjunto de operadores para definir um modo de injeção de falhas na especificação dos requisitos.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Todo o processo é realizado de forma manual.</li> <li>2. Foram utilizados exemplos didáticos para realização do trabalho.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usa um conjunto de operadores para dar suporte à injeção de falhas em requisitos de software e identificação de tipos frequentes de erros em requisitos.</li> <li>2. Utiliza cenários para aplicação de operadores de falhas. Define um benchmark para documentos de especificação de requisitos.</li> </ol> |
| Garcia-Duque et al (2009) | Não há identificação do conhecimento armazenado em cada revisão de projeto;            | Formulação de duas metodologias para conduzir as atividades de análise e revisão de requisitos de forma automatizada.  | Não avalia inconsistência e conflitos entre requisitos.  | Integra duas técnicas de modelagem formais.  |



Tabela 2.1 - Continuação

| Autores              | Problema citado  | Solução   | Limitação  | Vantagem  |
|----------------------|--|---|--|---|
| Lin et al (2008)     | Mudança de requisitos durante e após a fase de desenvolvimento leva a erros de correção e de controle de mudanças. | Propõe um conjunto de algoritmos para gerenciar todas as possibilidades atômicas de mudança de requisitos.                                | Não é implementada uma maneira de tratar o gerenciamento do requisito em seu mais alto nível até sua codificação. O que garante a especificação é a modelagem e o gerenciamento do requisito.                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementa uma ferramenta que automatiza o re-trabalho ao manter e alterar requisitos, diminuindo a interação humana</li> <li>2. Usa Máquinas de Estados para modelar e gerenciar as mudanças de requisitos, levando a evidências de que o requisito é correto e completo.</li> </ol> |
| Letier et al. (2004) | Faltam rigor e medidas das formulações baseadas em objetivos e regras levando-se a conclusões limitadas.           | Técnica para especificar graus parciais de satisfação de objetivos e para quantificar o impacto para alternativas de projetos é proposta. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Validação de modelos probabilísticos;</li> <li>2. Equações complexas de refinamento tornam-se inviáveis;</li> <li>3. Incertezas na estimação de parâmetros.</li> </ol> | Baseado em técnica probabilística, pode ser agregada a outras técnicas de tomada-de-decisão.  |

Tabela 2.1 - Continuação

| Autores         | Problema citado   | Solução  | Limitação   | Vantagem   |
|-----------------|---|--|---|--|
| Liu (2002)      | <p>1. Falta identificação qualitativa do quanto os métodos formais ajudam o usuário a buscar, identificar e elucidar requisitos.</p> <p>2. Falta superar o não-determinismo de requisitos funcionais.</p> | <p>Refinar os requisitos sucessivamente nos níveis formal (técnicas de especificação formais), informal (representação de linguagem natural) e semiformal (técnicas de notações gráficas como DFD, UML).</p> | <p>Não funcional para operações em larga escala. As operações de refinamento e representação devem ser realizadas em um programa de computador.</p> | <p>Usa técnicas formais para refinamento como um meio de capturar determinismos de requisitos e corrigi-los.</p>   |
| Cybulski (2002) | <p>1. Falta maximizar reuso nas atividades de Engenharia de Requisitos. 2. Ausência de estatísticas de desempenho de testes de software por especialistas com diferentes graus de conhecimento.</p>       | <p>Framework para reutilização e refinamento de requisitos com foco em técnicas de recuperação de informação para reuso de projetos.</p>   | <p>Quanto maior e mais completo o domínio do problema, maior e mais complexo será o modelo utilizado pelo framework.</p>                            | <p>Define um Framework, um método e uma ferramenta, para descrever e classificar artefatos, sendo possível a calibração de medidas de qualidade no refinamento de requisitos</p> |

Tabela 2.1 - Continuação

| Autores                          | Problema citado   | Solução   | Limitação  | Vantagem  |
|----------------------------------|---|---|--|---|
| De Jong et al. (2000)            | Ausência de requisitos não consolidados nas fases iniciais do ciclo de vida do sistema.               | Método formal implementado em um ambiente interativo para análise e especificação de requisitos formais.  | Para sistemas complexos a decomposição física da especificação de requisitos e da análise não é executada.                                   | 1. Reduz o não-determinismo e a instanciação de símbolos desconhecidos.<br>2. Escreve o requisito através do rigor matemático, de forma que a especificação do sistema não fique ambígua. |
| Gunter et al. (2000)             | Ausência de soluções para inconsistência entre a especificação técnica e a implementação de software. | Framework que identifica artefatos, atributos e relacionamentos em todos os níveis de um requisito de sistema de forma que é possível analisar suas propriedades. | Não analisa as propriedades existentes entre os requisitos e o seu processo de implementação.  | Mostra que sua técnica é mais eficaz que o método "Functional Documentation Model".   |
| Darimont e Van Lamsweerde (1996) | Requisitos mal escritos.  | Reuso de padrões genéricos de refinamento de projetos anteriores.   | 1. Refinar os próprios padrões da biblioteca; 2. A biblioteca pode se tornar muito grande influenciando no tempo de resposta do refinamento. | Oculta formalismo matemático e provê que o refinamento seja consistente e completo.   |

Tabela 2.1 - Conclusão

| Autores         | Problema citado   | Solução   | Limitação   | Vantagem  |
|-----------------|---|---|---|---|
| Halligan (1993) | <p>1. Faltam métricas que possam ser atribuídas ao produto (requisitos), ou ao processo (engenharia de requisitos) ou a ambos.</p> <p>2. Como métricas de requisitos podem ajudar a equipe de projetos a satisfazer os critérios de sucesso do projeto.</p> | <p>1. Definição das métricas; 2. Definição de elementos de um analisador sintático;</p> | <p>Não se sabe ao certo o custo de implementação destas métricas. No entanto, espera-se que somam somente 2% do custo total do esforço de engenharia de requisitos.</p> | <p>1. As métricas seguem padrões ISO e MIL.</p> <p>2. Mostra que a técnica proposta é viável para sistemas complexos.</p> |

Adicionalmente aos estudos acima citados, o trabalho de Duren (2006), para Validação de Missões Espaciais, contribuiu para a motivação da proposta desta dissertação.

No estudo conduzido por Duren (2006), para Validação de Missões Espaciais, o autor apresenta as dificuldades associadas às atividades do ciclo de elaboração de requisitos (ver Figura 1.1). Relaciona custo e cronograma da missão desde os requisitos até as fases finais de operação e de manutenção. Na Tabela 2.2 apresentam-se os resultados do trabalho de Duren (2006). A primeira coluna mostra a missão e seu respectivo ano, a segunda descreve o problema encontrado e a terceira os fatores relacionados à validação que contribuíram para o fracasso da missão.

A relação entre o problema e os fatores que contribuíram para a ocorrência dos problemas citados mostra a importância que há nos estudos que tratam da melhoria nas várias atividades de verificação e validação no âmbito das aplicações espaciais.

Esta dissertação contribui com a definição de uma sistemática a ser aplicada nas atividades da Engenharia de Requisitos, como uma atividade de V&V para aplicações espaciais. Sabe-se que a especificação de requisitos resulta de um processo iterativo que, progressivamente, aprimora os conhecimentos sobre o sistema em desenvolvimento.

Tabela 2.2 - Trecho do NASA Mishap Reports.

| <b>Missão / Ano</b>                      | <b>Problema Encontrado</b>   | <b>Fatores de contribuição relacionados à Validação</b>  |
|--|--|--|
| Genesis/2004                             | G-switch instalado erroneamente<br>-> para-quedas não implementado -> pouso forçado  | Testes em níveis secundários de sistema não foram conduzidos (subsistemas, componentes, etc)   |
| Columbia/2003                            | Lixo espacial provoca dano em camada térmica -> perda da tripulação e do veículo   | Ferramentas e modelos atuais são inadequados; configurações de voo foram validadas utilizando dados de testes extrapolados.  |
| Comet Nucleus Tour(CONTOU)/2002          | Aquecimento do veículo espacial pelo motor plume do foguete sólido -> perda do veículo   | Confiabilidade do projeto realizada por similaridade mostrou ser uma técnica inadequada neste projeto.   |
| Wide-field infraRed Explorer (WIRE)/1999 | Inicialização eletrônica transitória<br>-> cobertura de jato antecipadamente -> perda da câmara de criogênico -> missão científica perdida | Falha na identificação da fonte do sinal causada pelo simulador de <i>Electro Explosive Device</i> durante teste de integração da espaçonave.  |
| Mars Polar Lander (MPL)/1998             | Falha de software -> motor de descida desligou-se muito cedo -> perda de veículo   | Método de análise foi conduzido para testes de verificação e validação de desempenho do sistema; testes aplicados para validar os modelos constituintes não eram fiéis ao utilizado. |

Fonte: Adaptada de Duren (2006).

### **3.DESCRICÃO DA ABORDAGEM COFI-ref {XE “DESCRICÃO DA ABORDAGEM COFI-ref”}**

#### **3.1.Considerações Iniciais**

Este capítulo apresenta uma descrição da COFI-ref. Para descrever a abordagem *Conformance and Fault Injection for Requirement Refinement* (COFI-ref), um sistema reativo, de caráter didático, representando uma máquina de café, é utilizado. Este sistema foi definido em um trabalho anterior (MORAIS, et al, 2009), no qual a metodologia COFI foi usada com o objetivo de geração automática de casos de teste. Neste capítulo, este mesmo exemplo, incluindo os requisitos inicialmente especificados para a máquina de café é utilizado para ilustrar os passos da abordagem COFI-ref.

As seções deste capítulo são divididas de forma a apresentar a abordagem COFI-ref passo a passo. Inicialmente a COFI-ref é descrita em detalhes para, logo em seguida, ser aplicada ao exemplo didático da máquina de café. A aplicação da COFI-ref em um estudo de caso real é apresentada no Capítulo 4, em que são utilizados os requisitos dos modos de operação do satélite ITASAT-1.

#### **3.2. Descrição da Abordagem COFI-ref**

A abordagem COFI-ref apresenta-se como uma sistemática para melhoria da qualidade de requisitos; baseada em modelos de estados ela contribui para o refinamento de requisitos. Esta sistemática foi orientada à verificação e validação de requisitos em missões espaciais e difere da aplicação de refinamento formal de dados e de refinamento estrutural de requisitos que, de acordo com Freeman (1991), lida com o cálculo de refinamento e pode ser tratada como um procedimento para construção de um programa executável, ou não, o qual passa por um processo de transformações sucessivas de variáveis.

A COFI-ref consta de uma variação da metodologia de teste, *Conformance and Fault Injection* (COFI) (AMBROSIO, 2005), uma vez que é aplicada durante o ciclo de elaboração de requisitos (ver Figura 1.1) como um meio de apoiar a identificação de requisitos mal escritos, incompletos ou ausentes visando evitar futuros problemas decorrentes dessa atividade. A abordagem COFI, proposta como uma metodologia para geração automática de casos de testes agrega a técnica de injeção de falhas e os conceitos de teste de conformidade para validação de software (AMBROSIO et al. 2004).

Ao contrário da metodologia COFI, cujo objetivo é produzir casos de teste, a COFI-ref é para ser utilizada durante as atividades de especificação de requisitos, na fase inicial do desenvolvimento de um sistema ou de um software. A abordagem COFI-ref, ilustrada na Figura 3.1, compreende quatro passos principais para sistematização do refinamento de requisitos: (i) Aquisição dos Requisitos, (ii) Identificação, (iii) Modelagem baseada em estados e (iv) Refinamento dos Requisitos. O passo 1 é próprio de qualquer abordagem para eliciação de requisitos. Os passos 2 e 3, Identificação e Modelagem baseada em estados, respectivamente, são herdados da metodologia COFI. O quarto passo encerra a abordagem.

Após o quarto passo da COFI-ref, Refinamento dos Requisitos, uma nova versão do Documento de Especificação de Requisitos é gerada. Esta nova versão é então encaminhada à Revisão ou então aplica-se, novamente a COFI-ref. Para uma nova aplicação da abordagem basta que as equipes envolvidas no processo estejam de acordo.

A Figura 3.1 mostra também que a condição necessária para aplicação dos passos do refinamento é que o Documento de Especificação de Requisitos esteja disponível.



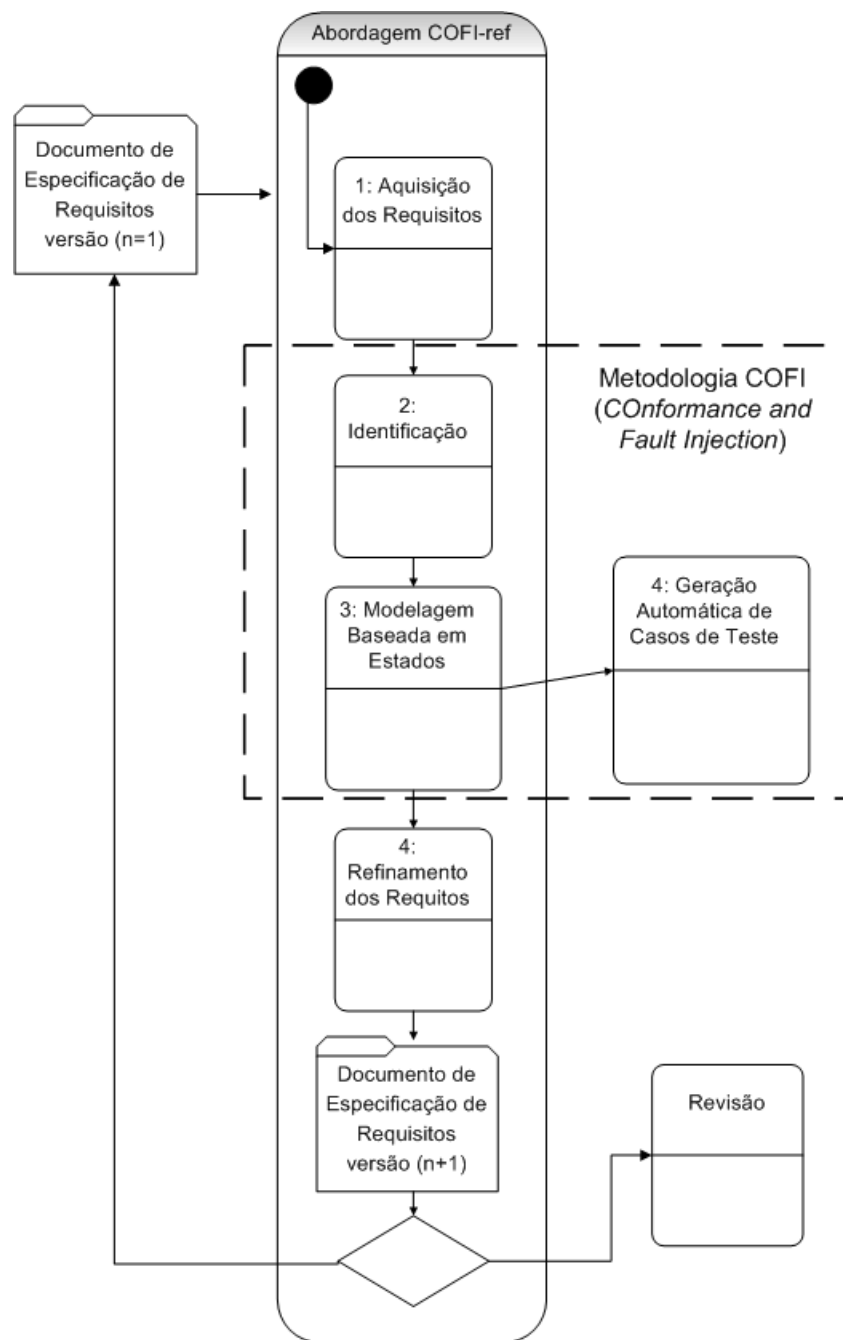


Figura 3.1 - Principais passos para o refinamento de requisitos da abordagem COFI-ref.

Uma condição, não obrigatória, mas muito desejável é que haja duas equipes distintas participantes, a saber:

- a) a responsável por elaborar o documento de especificação de requisitos; e

b) a responsável pela aplicação da COFI-ref.

O passo 1, Aquisição dos Requisitos, é estabelecido com a entrega do documento de especificação de requisitos à equipe que aplicará a COFI-ref.

Os passos 2 (Identificação) e 3 (Modelagem baseada em estados) foram incorporados da metodologia COFI. Nestes passos, o texto do documento entregue é analisado para identificação dos serviços e os modelos de estados são elaborados para cada serviço. Uma descrição simplificada da metodologia COFI é apresentada no Apêndice A.

O último passo da metodologia COFI-ref, Refinamento dos Requisitos, é subdividido em etapas de modo que o foco passa a ser a re-escrita dos requisitos no sentido de torná-los completos e consistentes.

Os itens a seguir apresentam uma visão detalhada de cada um dos passos da abordagem COFI-ref.

**Passo 1:** Aquisição dos Requisitos: este passo contém apenas uma etapa, Aquisição do Documento de Requisitos, a qual consta da aceitação do documento por parte da equipe que fará a revisão, sugere-se uma equipe independente para aplicação da COFI-ref. No caso da metodologia COFI, além do documento de especificação de requisitos são também recebidos os documentos de projeto, de descrição de interfaces e de descrição das facilidades e restrições das ferramentas para execução dos casos de testes. Aqui, basta o Documento de Requisitos e alguma norma ou especificação que o complemente. Na Figura 3.2, apresenta-se o elemento base deste passo.



Figura 3.2 - Passo 1: Aquisição dos Requisitos

**Passo 2:** Identificação: neste passo inicia-se a identificação de serviços, eventos, ações e o ambiente que os requisitos descrevem. Na COFI este passo baseia-se no Sistema Em Teste para identificação dos serviços. Aqui, durante a Identificação dos Serviços, padrões do Sistema Em Especificação são identificados e classificados. Estes padrões representam a decomposição do comportamento do Sistema Em Especificação em serviços e posteriormente em modelos de estados. Estes padrões são:

- a) Serviços: serviços que o usuário reconhece e utiliza do sistema definido na especificação;
- b) Falhas físicas: falhas físicas que podem ocorrer no hardware e que o Sistema Em Especificação deve resistir;
- c) Eventos e ações: lista dos comandos (entradas) que o Sistema Em Especificação deve aceitar e das respostas (saídas) que o Sistema Em Especificação deve produzir.

Na Figura 3.3, destacam-se as classes de comportamento modeladas nas etapas deste passo.

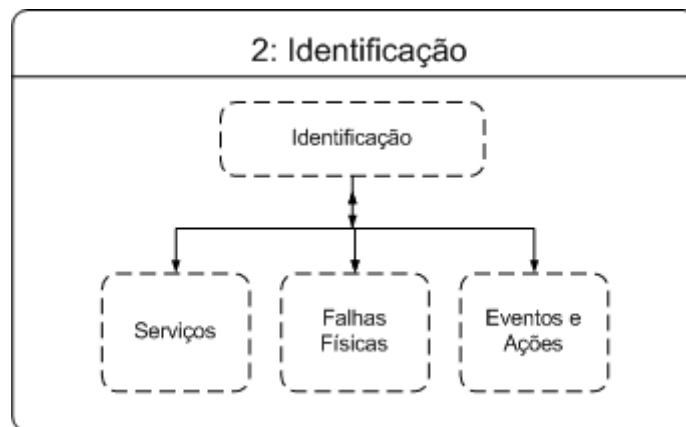


Figura 3.3 - Passo 2, Identificação.

**Passo 3:** Modelagem Baseada em Estados: consta da elaboração de modelos parciais por meio da representação de Máquinas de Estados Finitos (MEF) de Mealy (MEALY 1955) do comportamento do Sistema em Especificação. A Máquina de Mealy é um Autômato Finito (HOPCRFT; ULLMAN 1979) modificado de forma a gerar uma saída para cada transição entre os estados. Neste tipo de máquina de estados as saídas dependem apenas do estado atual e do valor das entradas. Busca-se, desta forma, aumentar a precisão dos modelos. Os modelos são desenvolvidos do ponto de vista de quatro representações do comportamento, a saber:

- a) Modelo do Comportamento Normal;
- b) Modelo do Comportamento frente às Exceções Especificadas;
- c) Modelo de Caminhos Furtivos, representando o comportamento do sistema frente aos eventos corretos ocorridos em momentos inoportunos; e
- d) Modelo de Tolerância a Falhas, cobrindo o comportamento frente às falhas de hardware e do ambiente externo.

Na Figura 3.4, destacam-se as classes de comportamento modeladas nas etapas deste passo.

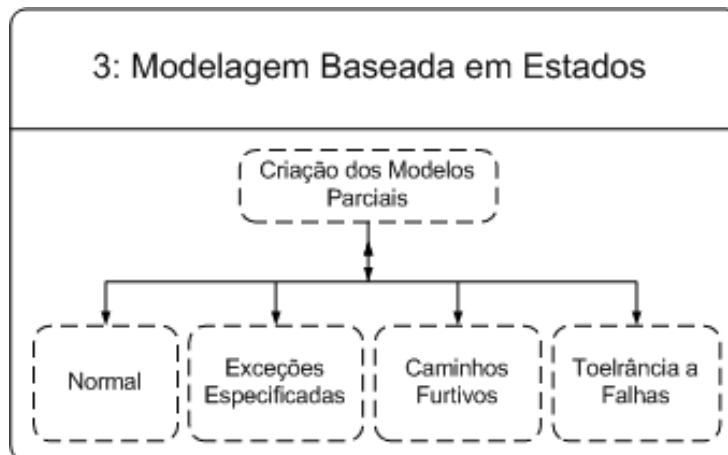


Figura 3.4 - Passo 3: Modelagem Baseada em Estados.

Neste passo, cada modelo elaborado é associado a um ou mais requisitos. No entanto, deve-se levar em consideração que em geral as informações sobre o sistema de teste são preliminares ou inexistentes ao elaborar os modelos de Caminhos Furtivos e Tolerância as Falhas.

**Passo 4:** Refinamento dos Requisitos: é o último passo da COFI-ref. Com base nas informações registradas nas MEFs devem-se analisar os requisitos e completá-los ou reescrevê-los se necessário. Este passo representa a principal contribuição desta dissertação que, modificando a metodologia COFI, deu origem à abordagem COFI-ref. Este passo é subdividido em 3 etapas, ilustradas na Figura 3.5, a saber:

- a) Análise dos Modelos de Estados;
- b) Elaboração de Questões; e
- c) Modificação dos Requisitos.

As etapas do Refinamento dos Requisitos são apresentadas na figura a seguir.

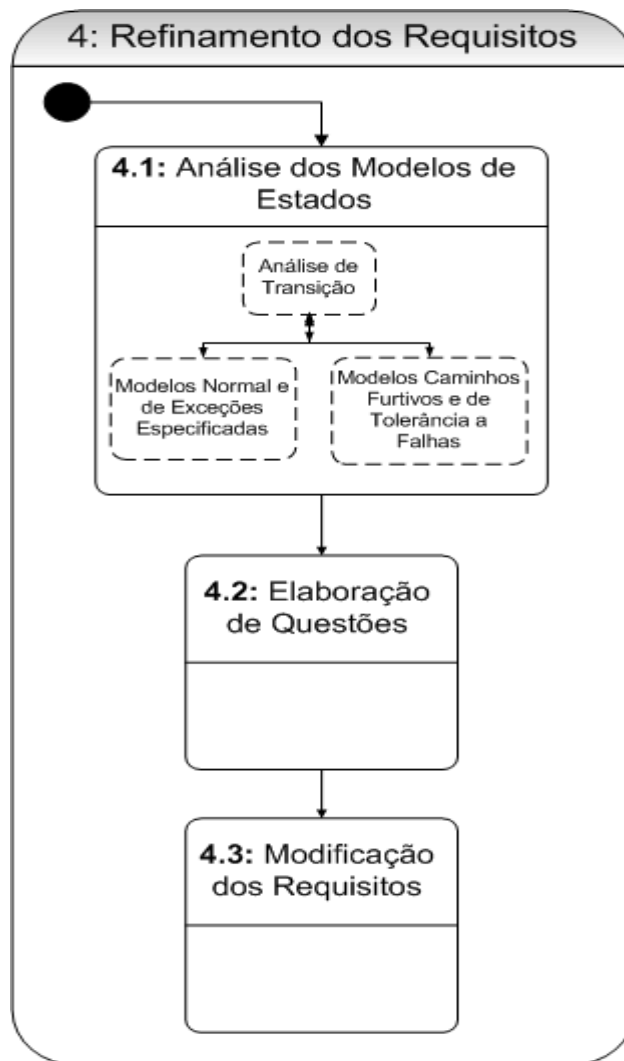


Figura 3.5 - Passo 4: Refinamento dos Requisitos.

A primeira etapa, *Análise dos Modelos de Estados*, está condicionada à análise das transições dos modelos que representam, cada um, parte do comportamento do sistema, como um todo. A análise das transições consiste na avaliação dos eventos, das ações e condições de guarda. Essa avaliação é realizada manualmente de maneira empírica (PEIRCE 1878, POLYA 1957, TALL 1991) e baseia-se no conhecimento do domínio do problema do analista responsável pela aplicação da COFI-ref.

Nesta etapa separam-se duas atividades: (i) a análise das MEFs que representa o comportamento documentado e (ii) a análise das MEFs que

representa o comportamento do sistema não necessariamente documentado, a saber:

- Análise de Transição das MEFs Normal e de Exceções Especificadas; e
- Análise de Transição das MEFs de Caminhos Furtivos e de Tolerância a Falhas.

Visando sistematizar o máximo possível os passos da COFI-ref, recomenda-se elaborar uma tabela que relacione cada requisito contido no **Documento de Especificação de Requisitos** com cada um dos modelos de estados modelados no passo anterior, como apresentado no exemplo da Tabela 3.1. Supõe-se que quatro MEFs foram modelados: M1, M2, M3 e M4.

Tabela 3.1 - Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados.

| Requisito | Descrição   | MEF   |
|-----------|-------------|---|
| 1         | Requisito 1 | Modelo Normal M1                                      |
| 2         | Requisito 2 | Modelo de Exceção Especificada M2                     |
| 3         | Requisito 3 | Modelo de Caminhos Furtivos M3 e M4; Modelo Normal M1 |

Esta tabela mostra, na primeira coluna, o identificador do requisito. Na segunda coluna, uma descrição do requisito e na terceira, os modelos em que este requisito foi mapeado.

É interessante notar que nesta tabela nem sempre o modelo de Tolerância a Falhas aparecerá, pois este modelo mapeia o comportamento frente a falhas que nem sempre estão explicitamente tratadas nos requisitos. Observa-se que os modelos de Caminhos Furtivos e de Tolerância a Falhas contribuem para o levantamento de requisitos que completam o **Documento de Especificação de Requisitos**, uma vez que eles mapeiam situações anormais, em geral,

desprezadas nos documentos de requisitos. No próximo item será apresentado um exemplo de um sistema didático para este passo.

Na segunda etapa, Elaboração de Questões, é formulada questões a partir das análises de transições das MEFs. Essas análises ocorrem de modo que se possam identificar classes de palavras que designam objetos concretos ou abstratos, estados, processos ou qualidades do Sistema Em Especificação.

As questões são levantadas seguindo a premissa de que todos os requisitos foram mapeados para as MEFs. Este mapeamento é visualizado na construção da Tabela 3.2, apresentada como exemplo. A idéia é facilitar a identificação dos requisitos incompletos, inconsistentes e faltantes no **Documento de Especificação de Requisitos** fazendo com que estes sejam revistos.

Os objetivos das questões são:

- a) Identificar pontualmente os problemas nos requisitos; e
- b) Fazer com que a especificação de requisitos seja revista.

As questões são elaboradas seguindo um padrão que estabelece três atributos para cada questão:

- a) O número de identificação da questão;
- b) A questão; e
- c) A justificativa da questão, com seus argumentos e hipóteses.

A partir dos requisitos e dos modelos de estados é possível inferir, com maior praticidade, a correlação existente entre eles. Na Tabela 3.2 apresenta-se esse mapeamento do ponto de vista macro, isto é, a partir dos modelos elaborados no passo 3. A primeira coluna indica o modelo de estados e a segunda, a questão correspondente elaborada a partir da análise do respectivo modelo.



Tabela 3.2 - Mapeamento entre os modelos de estados e as questões elaboradas.

| <b>Modelos</b>            | <b>Questões</b> |
|---------------------------|-----------------|
| Normal                    | Q1              |
| Exceção Especificada 1    | Q2              |
| Exceção Especificada 2    | Q3              |
| Caminhos Furtivos; Normal | Q4; Q5          |

Fazendo a correlação existente entre as questões elaboradas, os modelos de estados e os requisitos, a modificação é pontual. Adicionalmente, recomenda-se que uma justificativa para cada questão seja apontada, pois desta forma todos os envolvidos conseguem identificar a origem da dúvida que levou a questão elaborada e conseqüentemente a sugestão de novos requisitos, se for o caso.

A terceira etapa, Modificação dos Requisitos, consta de duas análises. A primeira de se tentar responder às questões levantadas. Se a resposta não é encontrada no **Documento de Especificação de Requisitos** significa que a priori o requisito está claro e não requer, nesta aplicação da COFI-ref, uma modificação. A segunda está relacionada ao caso em que a resposta esteja incompleta, não seja encontrada no **Documento de Especificação de Requisitos** ou ainda esteja vaga, faz-se assim uma recomendação ao respectivo requisito ou elabora-se um novo que atenda à questão elaborada. Desta forma, os requisitos são modificados de acordo com as respostas e hipóteses às questões elaboradas.

Nesta etapa duas tabelas devem ser construídas. Uma que relacione os modelos de estados, as questões elaboradas e os requisitos que às respondam. A segunda tabela deve apresentar as modificações dos requisitos originais, relacionando a questão elaborada, o requisito original obtido no **Documento de Especificação de Requisitos** e o(s) requisito(s) sugerido(s).

Na próxima seção a abordagem COFI-ref é aplicada em um sistema dinâmico didático. Desenvolvem-se todos os passos descritos acima com os requisitos originais e os modificados.

### **3.3. Exemplo da aplicação da abordagem COFI-ref em um sistema dinâmico didático**

Esta seção apresenta um exemplo para ilustrar o uso da abordagem COFI-ref. O exemplo utilizado é um sistema de controle simplificado de uma Máquina de Café, descrito em Moraes, et al. (2009) que foi desenvolvido com objetivo inicial de se aplicar a metodologia COFI para geração automática de casos de teste.

A abordagem CoFI-ref determina que o primeiro passo seja a Aquisição dos Requisitos. Para efeito da aplicação didática nesta dissertação são descritos abaixo os requisitos especificados do sistema com pequenas adaptações com relação ao trabalho citado acima. Estas adaptações foram realizadas pontualmente nos requisitos de modo que, ao invés da Máquina de Café produzir três produtos: (i) um copo de café, (ii) um copo de capuccino e (iii) um copo de café com leite, apenas o produto (i) é considerado para ilustração da CoFI-ref. Os requisitos podem ser lidos na íntegra no Apêndice B desta dissertação. Os requisitos estão contidos no ***Documento de Especificação de Requisitos*** e são transcritos a seguir, com as adaptações devidas.

**R1:** O sistema deverá permanecer desligado até que o botão de liga/desliga seja passado para o estado On.

**R2:** Sempre que o sistema for ligado, ele deverá verificar se há copo no estoque e se há café no reservatório. Caso não haja copo ou qualquer um dos produtos na quantidade suficiente para a produção do pedido, a máquina não poderá aceitar a escolha do produto até que seja repostos o que estiver em falta.

**R3:** Após verificar os produtos, a máquina só deverá aceitar os seguintes comandos das seguintes escolhas, nesta ordem:

a) Escolher do produto (café);

b) Aguardar processamento do produto.

**R4:** Caso o usuário forneça um comando não esperado (fora da ordem especificada no requisito R3), o sistema deverá permanecer no estado corrente, ou seja, não deverá responder a nenhum evento não esperado.

**R5:** O processamento de determinado pedido não poderá ser abortado. Uma vez que a opção do produto tenha sido feita, um ciclo de processamento de produto deverá ser concluído para se voltar ao estado inicial.

**R6:** Após todas as lâmpadas serem apagadas devido ao término do processamento de um pedido, a presença ou não dos recursos (café e copos) deverá ser verificada. Caso, pelo menos, um dos produtos esteja em falta, a máquina não poderá aceitar a escolha de um pedido até que este produto em falta seja repostado.

**R7:** Caso a máquina seja desligada antes do início do processamento efetivo do produto, ao ser ligada novamente, ela deve ir para seu estado inicial.

**R8:** A máquina sempre demorará dez segundos para processar o pedido feito (este é o tempo entre o acionamento do botão da última escolha e o pedido estar dentro do copo pronto para ser consumido).

**R9:** Caso a máquina seja desligada durante os dez segundos de processamento do produto, ela deverá continuar funcionando até a finalização do processamento. Apenas após sua finalização é que a máquina será efetivamente desligada.

**R10:** Quando a máquina for desligada, a lâmpada que indica seu ligamento (On) deverá ser apagada. Se houver quaisquer outras lâmpadas acesas, todas elas, também, deverão ser apagadas.

Após a entrega do **Documento de Especificação de Requisitos** (ver Apêndice B) a equipe que aplicará a CoFI-ref inicia o segundo passo da metodologia; Identificação.

Neste passo os eventos, ações e o ambiente que são descritos pelos requisitos, são identificados e classificados. Os padrões são divididos em:

### **Serviços:**

Aqui, apenas um serviço é considerado, denominado de S1 - Produzir um copo de café. É utilizado apenas este serviço, dado a adaptação citada anteriormente, realizada de modo a compatibilizar ilustração da aplicação da abordagem COFI-ref.

### **Falhas Físicas:**

Aqui são identificadas as falhas físicas que podem ocorrer no hardware e que o Sistema Em Especificação deve resistir. As falhas na máquina de café são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Falhas de hardware do sistema - Segundo passo da COFI-ref, Identificação dos Serviços.

| <b>Falha</b>           | <b>Mnemônico</b> | <b>Descrição</b>   |
|------------------------|------------------|--|
| Botão travado          | f.btn            | Botão apresentando algum defeito, por exemplo, estar travado |
| Sensor café danificado | f.scf            | Sensor de presença do café danificado                        |
| Sensor copo danificado | f.cpo            | Sensor de presença do copo danificado                        |

### **Eventos e Ações:**

Aqui são identificadas as entradas e as saídas do Sistema Em Especificação. Os eventos de entrada que podem ser percebidos pelo usuário são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Eventos de entrada para o Sistema em Especificação - Passo Identificação de Serviços da metodologia COFI-ref.

| <b>Entrada</b> | <b>Descrição</b>   |
|----------------|--|
| Btn_Cafe       | Indicação de que o botão Café foi pressionado  |
| Btn_Desliga    | O botão – desliga - da máquina de café foi pressionado   |
| Btn_Liga       | O botão - liga - da máquina de café foi pressionado  |
| Fim_10s        | Indicação de que o intervalo de tempo de 10 segundos expirou. Este tempo corresponde ao tempo de processamento do produto.                             |
| Produtos_NOK   | Após a máquina verificar que falta algum produto: café ou copo, o controle emite indicação de falta de um ou mais produtos.                            |
| Produtos_OK    | Após verificar os produtos para liberar o pedido, o controle emite um sinal indicando que os produtos, café e copo, estão disponíveis para utilização. |

Repare que o evento de entrada denominado Produtos\_NOK é considerado um evento interno gerado pela máquina e, foi assim definido, de acordo com a descrição encontrada no **Documento de Especificação de Requisitos**. No Passo 3 este evento é considerado no modelo de exceções especificadas.

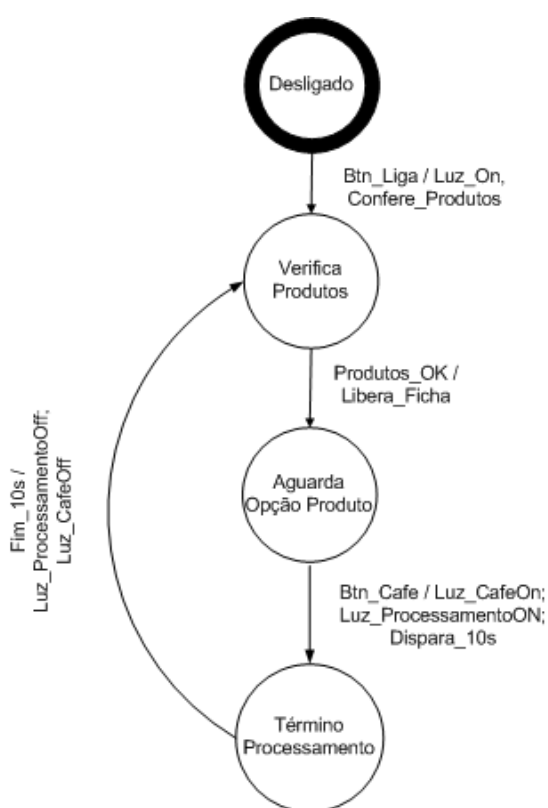
As ações de saída que podem ser geradas pelo Sistema Em Especificação são listadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Lista de saídas e ações observáveis do Sistema Em Especificação - Passo Identificação de Serviços da metodologia COFI-ref.

| <b>Saída</b>         | <b>Descrição</b>   |
|----------------------|--|
| Confere_Produtos     | Ação que confere e indica se os produtos: café e copos estão disponíveis. A saída desta ação é Produtos_OK e Produtos_NOK. |
| Dispara_10s          | Ação que dispara um contador de 10 segundos.   |
| Luz_CafeOn           | Luz que indica escolha de café é acesa.  |
| Luz_CafeOff          | Luz que indica escolha de café é apagada.  |
| Luz_Off              | Luz que indica máquina ligada é apagada  |
| LuzOn                | Luz que indica máquina ligada é acesa  |
| Luz_ProcessamentoOff | Luz que indica processamento de produto é apagada  |
| Luz_ProcessamentoOn  | Luz que indica processamento de produto é acesa  |

No terceiro passo da metodologia, Modelagem Baseada em Estados, os modelos parciais do comportamento do sistema de controle simplificado da máquina de café são elaborados.

Todas as MEFs apresentadas abaixo foram elaboradas para o serviço S1 identificado anteriormente. A Figura 3.6 representando a MEF do Modelo Normal é definida com base nos procedimentos normais de operação para se produzir um copo de café.



**Serviço 1 – Modo de Operação Normal**

Figura 3.6 - Máquina de Estado Finito para o Serviço 1 – Modo de Operação Normal.

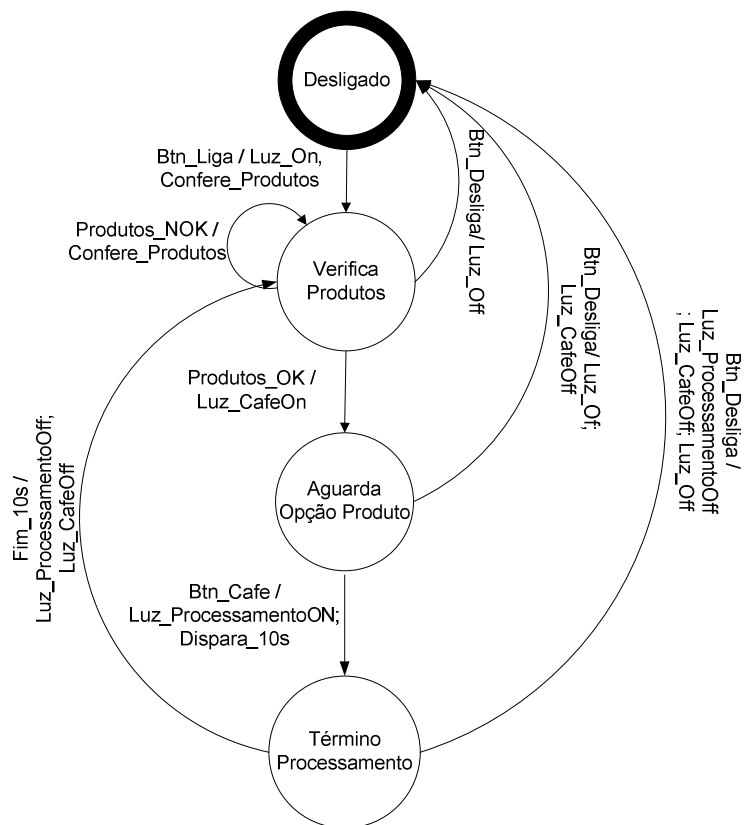
O próximo modelo, denominado de Exceções Especificadas, é elaborado a partir de uma análise de exceções que são identificadas no Documento de Especificação de Requisitos. A Tabela 3.6 apresenta estas exceções encontradas nos requisitos. A primeira coluna traz o índice das linhas da tabela. A segunda coluna mostra o número de identificação do requisito onde a

exceção foi encontrada e reproduzida parcialmente neste campo. A terceira coluna apresenta uma descrição parcial do requisito.

Tabela 3.6 - Exceções especificadas no Documento de Especificação de Requisitos

| <b>Identificação da exceção</b> | <b>Requisito</b> | <b>Descrição</b>   |
|---------------------------------|------------------|--|
| 1                               | R2               | “(…) Caso não haja copo ou qualquer um dos produtos na quantidade suficiente para a produção do pedido, a máquina não poderá aceitar a escolha do produto até que seja repostado o que está em falta”.     |
| 2                               | R4               | “Caso o usuário forneça um comando não esperado (fora da ordem especificada no requisito R3), o sistema deverá permanecer no estado corrente, ou seja, não deverá responder a nenhum evento não esperado”. |
| 3                               | R6               | “(…) Caso pelo menos um dos produtos esteja em falta, a máquina não poderá aceitar a escolha de um pedido até que este produto em falta seja repostado”.   |
| 4                               | R11              | “Caso a máquina seja desligada antes do início do processamento efetivo do produto, ao ser ligada novamente, ela deve ir para seu estado inicial (…)”.   |
| 5                               | R8               | “Caso a máquina seja desligada durante os dez segundos de processamento do produto, ela deverá continuar funcionando até a finalização do processamento (…)”.  |

A Figura 3.7 apresenta o modelo do comportamento frente às exceções 1, 4 e 5, descritas na Tabela 3.6. As exceções, 2 e 3, foram representadas nos modelos de Caminhos Furtivos, logo em seguida, pois foram: (i) igualmente identificadas na Tabela de Transição de Estados (ver Tabela 3.7) e (ii) esteticamente melhor dispostas nestas MEFs.



**Serviço 1 - Exceções Especificadas 1, 4 e 5 (S1\_Ex145)**

Figura 3.7 - S1\_Ex145, Máquina de Estados Finitos para as exceções especificadas 1, 4 e 5.

A próxima etapa deste passo consiste da representação dos eventos normais ocorridos em momentos inesperados, conhecida como Caminhos Furtivos. Para definir os Caminhos Furtivos foi elaborada a Tabela de Transição de Estados (ver Tabela 3.7), conforme indica a metodologia COFI. Para melhor representar o Requisito R4 foi elaborada uma MEF cobrindo as possibilidades de ocorrência de um evento em um momento inesperado, ilustrado na Figura 3.8.



Tabela 3.7 - Tabela de transição de estados - Terceiro passo da metodologia COFI-ref

|                          |  |                                 |   |                                |
|--------------------------|--|---------------------------------|---|--------------------------------|
| <b>Eventos / Estados</b> | Desligado  | Verifica Produtos               | Aguarda Opção Produto                   | Aguarda Fim 10s                |
| <b>Btn_Liga</b>          | Luz_On /<br>Verifica<br>Produtos   | Ignora / Verifica<br>Produtos   | Ignora /<br>Aguarda<br>Opção Produto    | Ignora /<br>Aguarda<br>Fim 10s |
| <b>Btn_Desliga</b>       | -  | +<br>(S1_EX145)                 | +<br>(S1_EX145)                         | Ignora /<br>Aguarda<br>Fim 10s |
| <b>Produtos_OK</b>       | -  | Libera_Ficha /<br>Aguarda Ficha | -                                       | -                              |
| <b>Btn_Cafe</b>          | Ignora /<br>Desligado  | Ignora / Verifica<br>Produtos   | Luz_CafeOn /<br>Aguarda<br>Opção Açúcar | Ignora /<br>Aguarda<br>Fim 10s |
| <b>Btn_MuitoAcucar</b>   | Ignora /<br>Desligado  | Ignora / Verifica<br>Produtos   | Ignora /<br>Aguarda<br>Opção Produto    | Ignora /<br>Aguarda<br>Fim 10s |
| <b>Fim_10s</b>           | -  | -                               | -                                       | +<br>(S1_EX145)                |
| <b>LEGENDA</b>           |  |                                 |   |                                |
| Símbolo                  | Descrição  |                                 |   |                                |
| Azul                     | Modo de operação Normal  |                                 |   |                                |
| Laranja                  | Caminhos Furtivos  |                                 |   |                                |
| (-)                      | Ocorrência do evento/estado é impossível de acontecer (o sistema permanece no estado corrente)       |                                 |   |                                |
| (+)                      | A ocorrência do evento/estado já foi coberta em outra MEF  |                                 |   |                                |
| S1_Ex145                 | A ocorrência do evento/estado está representada na MEF do Serviço 1, Exceções Especificadas 1, 3 e 4 |                                 |   |                                |

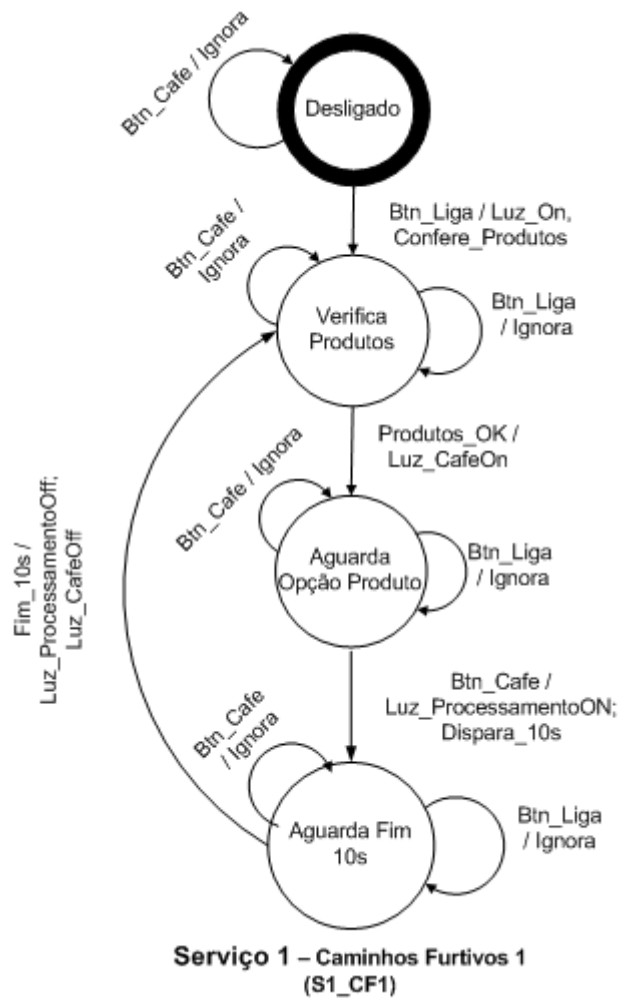


Figura 3.8- S1\_CF1, Máquina de Estados Finitos representando os Caminhos Furtivos do sistema.

A última etapa deste terceiro passo é a elaboração do modelo de tolerância a falhas de hardware. A MEF apresentada na Figura 3.9 foi modelada a partir do comportamento do sistema de controle simplificado da Máquina de Café levando-se em conta as falhas de hardware levantadas na Figura 3.9. Tabela 3.3 ocorrerem. Observe que esta MEF contempla, além dos eventos normais, os eventos de falha.

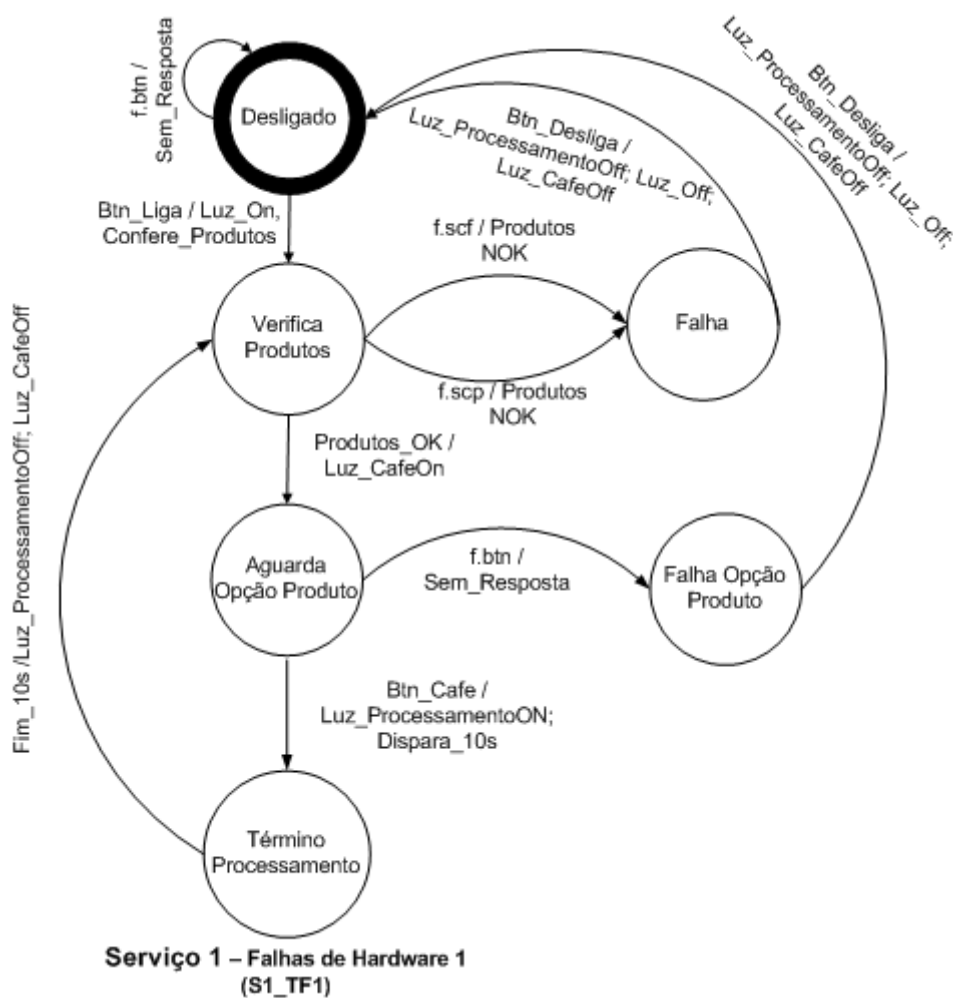


Figura 3.9 - S1\_TF1, Máquina de Estados finitos para falhas de hardware.

Ao término da elaboração dos modelos algumas constatações podem ser feitas. Analisando a Figura 3.9 as seguintes observações são verificadas:

- a) As exceções indicadas nos requisitos R2 e R6 são correspondentes, assim foram cobertas em apenas uma MEF, a S1\_Ex145;
- b) O requisito R4 generaliza todas as condições possíveis e sua avaliação equivale à descrição do comportamento do sistema quando eventos válidos acontecem em momentos indesejáveis, por isso, é apresentado no modelo de caminhos furtivos. Para que fosse possível visualizar todas as condições de operações possíveis de modo a

representá-las nas MEFs, foi criada a Tabela de Transição de Estados; e

- c) Para simplificar a modelagem das informações contidas nos requisitos R6 e R8, as seguintes estratégias foram adotadas: (i) a entrada Produtos\_Ok indica que a máquina possui todos os produtos na quantidade correta para fazer, pelo menos, um pedido e (ii) se um ou mais produtos estão ausentes o evento Produtos\_NOK é ativado.

Após a elaboração dos modelos parciais inicia-se o quarto passo da metodologia COFI-ref, o de Refinamento dos Requisitos. Este passo é dividido em três etapas que serão ilustradas a seguir.

Como citado anteriormente, a primeira etapa, Análise dos Modelos de Estados, é desenvolvida a partir de duas atividades, são elas:

- a) Análise de Transição das MEFs Normal e de Exceções Especificadas;  
e
- b) Análise de Transição das MEFs de Caminhos Furtivos e de Tolerância a Falhas.

Neste passo, inicialmente, é elaborado um mapeamento dos requisitos com as MEFs que os representem, de forma total ou parcial. Na Tabela 3.8 indica-se o mapeamento da representação do requisito do modo textual para as MEFs elaboradas no passo anterior. A primeira coluna indica o código de identificação do requisito. A segunda coluna apresenta o requisito e a terceira o(s) modelo(s) em que ele foi mapeado.

Tabela 3.8 - Mapeamento entre requisitos e modelos.

| <b>Requisito</b> | <b>Descrição</b>   | <b>Modelo</b>       |
|------------------|--|---------------------|
| R1               | O sistema deverá permanecer desligado até que o botão de liga/desliga seja passado para o estado On.   | Normal              |
| R2               | Sempre que o sistema for ligado, ele deverá verificar se há copo no estoque e se há café no reservatório. Caso não haja copo ou qualquer um dos produtos na quantidade suficiente para a produção do pedido, a máquina não poderá aceitar a escolha do produto até que seja repostado o que está em falta. | Normal; S1_Ex145    |
| R3               | Após verificar os produtos, a máquina só deverá aceitar os seguintes comandos das seguintes escolhas nesta ordem: a) Escolher o produto (café); b) Aguardar processamento do produto.  | Normal;             |
| R4               | Caso o usuário forneça um comando não esperado (fora da ordem especificada no requisito R3), o sistema deverá permanecer no estado corrente, ou seja, não deverá responder a nenhum evento não esperado  | S1_Ex145;<br>S1_CF1 |
| R5               | O processamento de determinado pedido não poderá ser abortado. Uma vez que a opção do produto tenha sido feita, um ciclo de processamento de produto deverá ser concluído para se voltar ao estado inicial   | S1_Ex145;<br>S1_CF1 |
|                  |  |                     |

Continuação da Tabela 3.8 - Mapeamento entre requisitos e modelos.

| Requisito | Descrição  | Modelo           |
|-----------|--|------------------|
| R6        | Após todas as lâmpadas serem apagadas devido ao término do processamento de um pedido, a presença ou não dos recursos (café e copos) deverá ser verificada. Caso pelo menos um dos produtos esteja em falta, a máquina não poderá aceitar a escolha de um pedido até que este produto em falta seja repostado. | Normal; S1_Ex145 |
| R7        | Caso a máquina seja desligada antes do início do processamento efetivo do produto, ao ser ligada novamente, ela deve ir para seu estado inicial.   | S1_Ex145         |
| R8        | A máquina sempre demorará dez segundos para processar o pedido feito (este é o tempo entre o acionamento do botão da última escolha e o pedido estar dentro do copo pronto para ser consumido).  | Normal           |
| R9        | Caso a máquina seja desligada durante os dez segundos de processamento do produto, ela deverá continuar funcionando até a finalização do processamento. Apenas após sua finalização é que a máquina será, efetivamente, desligada.   | S1_Ex145         |
| R10       | Quando a máquina for desligada, a lâmpada que indica seu ligamento (On) deverá ser apagada. Se houver quaisquer outras lâmpadas acesas, todas elas também deverão ser apagadas.  | Normal           |

Esta tabela permite acompanhar com maior exatidão a evolução da modelagem do sistema.

Na segunda etapa, Elaboração de Questões, perguntas são elaboradas visando orientar a interpretação precisa dos requisitos. Se esta precisão não é conseguida, a COFI-ref indica a re-escrita dos mesmos para que se tornem mais claros e completos. As questões são elaboradas analisando as MEFs e os requisitos, como apresentado na Tabela 3.8, ou seja, cada requisito deve estar relacionado a, pelo menos, uma transição.

Ao analisar as MEFs e os requisitos deve-se levar em consideração os padrões ou classes de palavras que designam objetos concretos ou abstratos, estados, processos ou qualidades encontrados nos requisitos.

Na Tabela 3.9 apresenta-se a correspondência entre os modelos de estados e das questões elaboradas. Na primeira coluna, segue o identificador do modelo de estados e na segunda a das questões elaboradas.

Tabela 3.9 - Questões elaboradas para a Máquina de Café e os Modelos de Estados.

| <b>Modelos</b> | <b>Questões</b>   |
|----------------|---|
| Normal         | Q1) Qual o tipo de botão que descreve o modo de ligar e desligar da Máquina de Café?<br>Q2) É correto afirmar que a água para fazer o café não é designada como um produto ou recursos, como citado em R6?<br>Q3) Como configurar o relógio do sistema (clock) e sua função de sincronização? |
| S1_Ex145       | Q4) Que tipo de ação define a palavra “comando” utilizado em R3?  |
| S1_CF1         | Q5) É possível assumir que “um ciclo de processamento de produto”, citado em R5 é aquele descrito em R8?  |
| S1_TF1         | Q6) Como descrever o comportamento da máquina de café no caso de uma queda de energia durante um ciclo de desenvolvimento de produto?   |

Na Tabela 3.10 mostra-se uma justificativa para cada questão. A primeira coluna traz o identificador da questão. A segunda, a questão elaborada e a terceira coluna a justificativa da respectiva questão.

Tabela 3.10 – Justificativas às questões elaboradas a partir das MEFs.

| ID | Questão  | Justificativa  |
|----|--|--|
| Q1 | Qual o tipo de botão que descreve o modo de ligar e desligar da Máquina de Café?                               | O botão pode ser do tipo interruptor, pulso ou outro eletrônico. Segue consideração:<br>a) Se interruptor, a modelagem e implementação é simplificada;<br>b) Se pulso, a ocorrência de falhas pode ser menor.<br>Assume-se que é do tipo interruptor, para facilitar a modelagem e o desenvolvimento do sistema. |
| Q2 | É correto afirmar que a água para fazer o café não é designada como um produto ou recursos, como citado em R6? | Ao descrever os produtos da Máquina de Café a água não é citada.   |
| Q3 | Como configurar o relógio do sistema ( <i>clock</i> ) e sua função de sincronização?                           | O tempo ( <i>timer</i> ) é fundamental para o bom funcionamento de qualquer sistema embarcado.   |
| Q4 | Que tipo de ação define a palavra “comando” utilizado em R3?   | O significado desta palavra pode ser:<br>a) uma ação, isto é um evento de saída;<br>b) uma função, isto é, reúne um conjunto de operações (entradas e saídas); e/ou<br>c) uma informação diferente de (a) e (b).   |
| Q5 | É possível assumir que “um ciclo de processamento de produto”, citado em R5 é aquele descrito em R8?           | Como as duas definições são similares estão no mesmo contexto, existe a possibilidade de serem iguais.   |
| Q6 | Como descrever o procedimento no caso de uma queda de energia durante um ciclo de desenvolvimento de produto?  | Nenhum requisito define se a máquina pode reinicializar-se sozinha ou manualmente após uma queda de energia.   |



A terceira e última etapa diz respeito à Modificação dos Requisitos. As modificações levantadas durante a aplicação da COFI-ref são evidenciadas nesta etapa por meio da correspondência entre os requisitos, às questões levantadas, às respostas e às justificativas obtidas. Na Tabela 3.11 apresenta-se uma versão atualizada da Tabela 3.9, uma vez que agora é possível identificar o requisito que deve ser modificado. A primeira coluna indica o modelo de estados correspondentes. A segunda coluna, a questão elaborada e a terceira, o respectivo requisito. O caractere “-“ indica que não há requisito que responda à respectiva questão.

Tabela 3.11 - Identificação dos requisitos originais que atendem às questões elaboradas.

| <b>Modelos</b> | <b>Questões</b>   | <b>Requisitos</b>  |
|----------------|---|--|
| Normal         | Q1) Qual o tipo de botão que descreve o modo de ligar e desligar da Máquina de Café?  | R1: O sistema deverá permanecer desligado até que o botão de liga/desliga seja passado para o estado On.   |
|                | Q2) É correto afirmar que a água para fazer o café não é designada como um produto ou recursos, como citado em R6?                    | R2: Sempre que o sistema for ligado, ele deverá verificar se há copo no estoque e se há café no reservatório. Caso não haja copo ou qualquer um dos produtos na quantidade suficiente para a produção do pedido, a máquina não poderá aceitar a escolha do produto até que seja repostado o que está em falta. |
|                | Q3) Como configurar o relógio do sistema (clock) e sua função de sincronização?   | -  |
| S1_Ex145       | Q4) Que tipo de ação define a palavra "comando" utilizado em R3?  | R3: Após verificar os produtos, a máquina só deverá aceitar os seguintes comandos das seguintes escolhas nesta ordem:<br>a) Escolher do produto (café); e<br>b) Aguardar processamento do produto.   |
| S1_CF1         | Q5) É possível assumir que "um ciclo de processamento de produto", citado em R5 é aquele descrito em R8?                              | R5: O processamento de determinado pedido não poderá ser abortado. Uma vez que a opção do produto tenha sido feita, um ciclo de processamento de produto deverá ser concluído para se voltar ao estado inicial.  |
| S1_TF1         | Q6) Como descrever o comportamento da máquina de café no caso de uma queda de energia durante um ciclo de desenvolvimento de produto? | -  |

Uma vez identificado os requisitos que não respondem devidamente as questões, tem-se a relação daqueles que devem ser modificados. Dá-se início à elaboração das sugestões para reescrita destes requisitos. Para os casos em

que não há requisito que responda à questão, a criação de um novo requisito é recomendada.

Por fim na Tabela 3.12 apresentam-se as modificações dos requisitos originais. Na primeira coluna apresenta-se a questão elaborada no último passo da COFI-ref. Na segunda coluna o requisito original obtido do **Documento de Especificação de Requisitos**. Na terceira coluna o novo identificador do requisito e na última o requisito sugerido. Repare que para aquelas questões não respondidas, recomendações foram propostas, cujo identificador são RMD.1 e RMD.2 na coluna ID desta tabela.

Tabela 3.12 - Modificação dos Requisitos a partir das questões elaboradas.

| Questões  | Requisito Original   | ID   | Requisito Sugerido   |
|---|--|------|--|
| <b>Q1)</b> Qual o tipo de botão que descreve o modo de ligar e desligar da Máquina de Café?                               | R1: O sistema deverá permanecer desligado até que o botão de liga/desliga seja passado para o estado On.   | R1.A | O sistema deve permanecer desligado até que o botão "Ligar" seja pressionado.  |
|   |  | R1.B | O sistema deve permanecer ligado até que o botão "Desliga" seja pressionado.   |
| <b>Q2)</b> É correto afirmar que a água para fazer o café não é designada como um produto ou recursos, como citado em R6? | R2: Sempre que o sistema for ligado, ele deverá verificar se há copo no estoque e se há café no reservatório. Caso não haja copo ou qualquer um dos produtos na quantidade suficiente para a produção do pedido, a máquina não poderá aceitar a escolha do produto até que seja repostado o que está em falta. | R2.A | A máquina de café, ao ser ligada, deve verificar se há produtos suficientes para gerar, pelo menos, um pedido.                   |
|   |  |      | Nota: Entende-se por produtos o copo, café e água.   |
|   |  | R2.B | A máquina de café, após verificar que há produtos suficientes para gerar um pedido, deve habilitar o botão para escolha do café. |
| R2.C  | A máquina de café, após verificar que há falta de algum produto, deve ignorar qualquer   |      |  |

|  |   |       | tentativa de processamento do café.   |
|--|---|-------|---|
| Continuação da Tabela 3.12 – Modificação dos Requisitos a partir das questões elaboradas.  |   |       |   |
| Questões   | Requisito Original  | ID    | Requisito Sugerido  |
| <b>Q3)</b> Como configurar o relógio do sistema ( <i>clock</i> ) e sua função de sincronização?  | -   | RMD.1 | Verificar biblioteca que disponibilize funções de <i>timer</i> para utilização. Por exemplo, ANSI C, biblioteca Ctime.h.  |
| <b>Q4)</b> Que tipo de ação define a palavra “comando” utilizado em R3?  | R3: Após verificar os produtos, a máquina só deverá aceitar os seguintes comandos das seguintes escolhas nesta ordem:<br>a) Escolher do produto (café); e<br>b) Aguardar processamento do produto.              | R3.A  | A máquina de café, ao habilitar o botão para escolha do café, não deve responder a nenhum outro comando, permanecendo no estado corrente.<br><br>Nota: Entende-se por comando todo evento de entrada ao sistema de controle da máquina de café. |
| <b>Q5)</b> É possível assumir que “um ciclo de processamento de produto”, citado em R5 é aquele descrito em R8?                              | R5: O processamento de determinado pedido não poderá ser abortado. Uma vez que a opção do produto tenha sido feita, um ciclo de processamento de produto deverá ser concluído para se voltar ao estado inicial. | R5    | Nota: Entende-se por “um ciclo de processamento de produto” o momento em que o botão de opção de produto for pressionado até o término do processamento do produto.   |
| <b>Q6)</b> Como descrever o comportamento da máquina de café no caso de uma queda de energia durante um ciclo de desenvolvimento de produto? | -   | RMD.2 | Ao ser desenergizada repentinamente, a Máquina de Café, ao ser religada deve ir para seu estado inicial.  |

Neste Capítulo a abordagem COFI-ref foi descrita em detalhes e aplicada a um exemplo de um sistema de controle didático para ilustrar os conceitos apresentados.

O próximo Capítulo apresentará o estudo de caso real, objeto alvo desta dissertação. Todos os passos da metodologia serão apresentados, uma vez que já foram desenvolvidos neste Capítulo. No Capítulo 5 apresenta-se uma métrica para que seja possível quantificar a melhoria no **Documento de Especificação de Requisitos**. Muito além da vaga sensação de uma inspeção visual incerta.



## **4.VALIDAÇÃO DOS MODOS DE OPERAÇÃO DO SATÉLITE ITASAT-1 COM USO DA COFI-ref**

### **4.1.Considerações Iniciais**

Este Capítulo apresenta a aplicação da abordagem COFI-ref em um caso de estudo real, proposto com o objetivo de validar a aplicabilidade da técnica através da definição de uma sistemática desenvolvida durante as fases iniciais do projeto: a de elaboração dos requisitos.

O caso de estudo consta dos requisitos que estabelecem os modos de operação do satélite ITASAT-1. Este é o primeiro satélite do Programa ITASAT, financiado pela Agência Espacial Brasileira (AEB), de responsabilidade do INPE e do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em cooperação com as seguintes universidades nacionais: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Escola de Engenharia de São Carlos – USP (EESC-USP), Universidade Estadual de Londrina (UEL) e Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), e internacionais, como a Universidade tecnológica de Berlin (TU Berlin).

As seções deste Capítulo apresentam uma visão geral do Programa ITASAT; os requisitos do modo de operação do satélite ITASAT-1; a aplicação da COFI-ref para refinamento dos requisitos relativos a estes modos de operação. Mostra também as interações entre as equipes envolvidas e, por fim, apresenta as contribuições ao documento de requisitos como resultado da abordagem.

#### **4.1.1. Visão Geral do Programa ITASAT**

O Programa ITASAT compreende o desenvolvimento, o lançamento e a operação de um satélite universitário de pequeno porte. De órbita terrestre baixa deve ser capaz de prover um serviço operacional de Coleta de Dados e oferecer meios para testar, em órbita, cargas úteis experimentais. Inclusive,

uma das finalidades da missão é dar continuidade ao Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (ITASAT Mission Description Document, 2010; YAMAGUTI et al 2009).

O Brasil possui um programa conhecido como Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, (YAMAGUTI et al 2009), cujo segmento espacial é formado pelos satélites SCD-1, SCD-2 (Satélite de Coleta de Dados 1 e 2, respectivamente) e CBERS-2 (sigla em inglês para, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres). O objetivo primário deste sistema é automatizar a aquisição de dados ambientais por meio de Plataformas de Coleta de Dados (PCD) que obtêm, processam e transmitem seus dados em modo contínuo para os satélites, em um período de 40 a 220 segundos. Quando o satélite atinge o ponto de visibilidade da PCD e da Estação Terrena, parte do segmento solo de uma missão espacial, os dados transmitidos pela PCD são retransmitidos para a respectiva estação pelo satélite. Após o recebimento dos dados a Estação Terrena retransmite-os para o Centro de Missão, para processamento, gerenciamento e distribuição dos dados gerados pelas PCDs. Na Figura 4.1, ilustram-se os principais elementos do Programa de Coleta de Dados Brasileiro, como as plataformas, as estações terrenas de Cuiabá e Alcântara e o Centro de Missão representando o segmento solo da missão, o satélite ITASAT representando o segmento espacial e, por fim, a disponibilização dos dados aos usuários através da Internet.



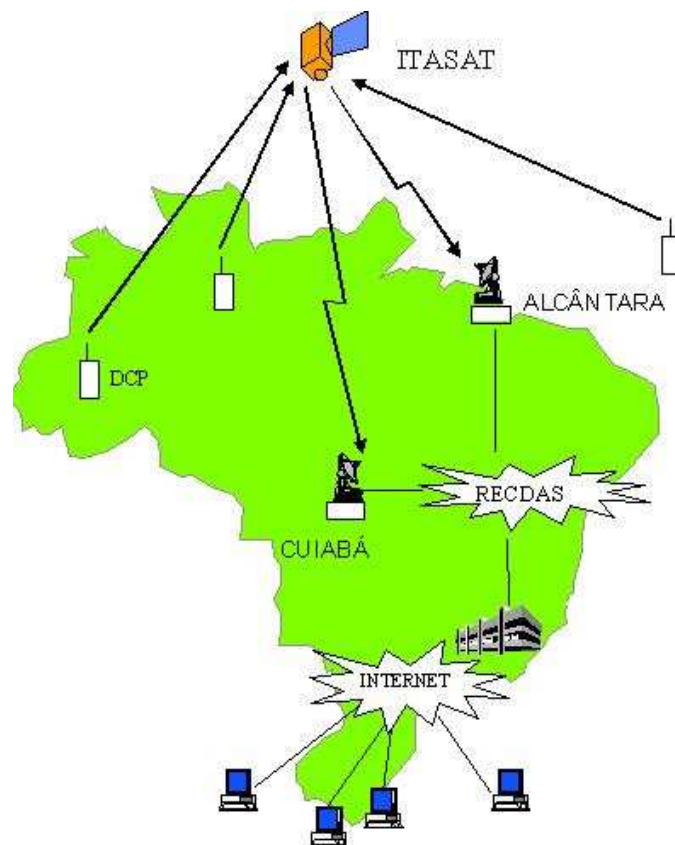


Figura 4.1 - A Missão ITASAT e sua relação com a coleta de dados.

## 4.2. Refinamento dos Requisitos de Operação do satélite ITASAT-1 com a aplicação da metodologia COFI-ref

### 4.2.1. Contexto da aplicação da COFI-ref no desenvolvimento do satélite ITASAT-1

O satélite ITASAT-1 segue as normas European Cooperation for Space Standardization (ECSS) que orientam o desenvolvimento, o gerenciamento e a operação de uma missão espacial. De acordo com as normas ECSS-E-10 C Draft 1 (2007), ECSS-E-ST-10-02C (2009) e ECSS-M-ST-10C (2009), as revisões formais previstas são: *Mission Description Review* (MDR), *Preliminary Requirements Review* (PRR), *System Requirement Review* (SRR), *Preliminary Design Review* (PDR), *Critical Design Review* (CDR), *Qualification Review* (QR), *Acceptance Review* (AR), *Operational Readiness Review* (ORR), *Flight Readiness Review* (FRR), *Commissioning Result Review* (CRR), *Launch*

*Readiness Review (LRR), End-of-Life Review (ELR) e Mission Close-out Review (MCR).* Na Figura 4.2 apresenta-se o ciclo de vida de um típico projeto de um programa espacial com destaques para as atividades descritas na primeira coluna e as fases do projeto nas colunas restantes. Nota-se que as revisões acontecem de maneira constante durante todo o ciclo de vida do Programa Espacial.

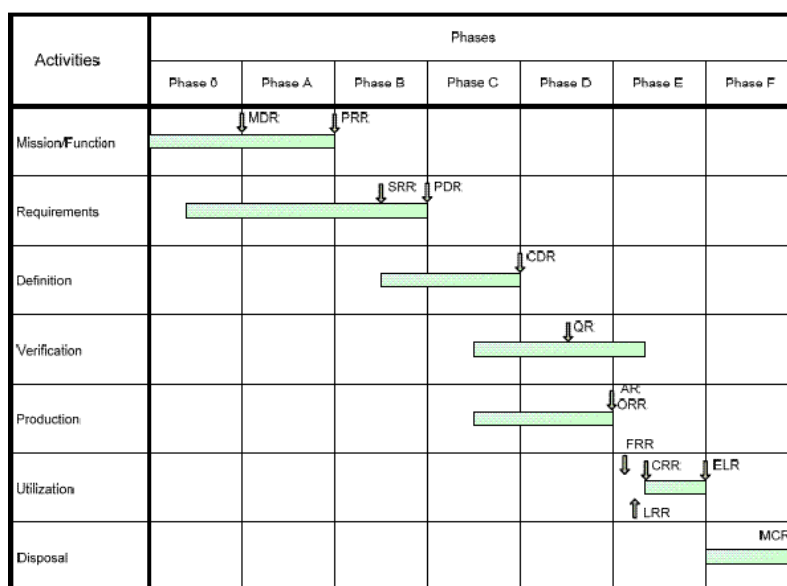


Figura 4.2 - Ciclo de vida de um Projeto Genérico na área Espacial. Fonte ECSS-M-ST-10C (2009).

A aplicação da COFI-ref é indicada para a fase que antecede à revisão de requisitos de sistema, a SSR. Inicialmente, a equipe responsável pela especificação dos requisitos do satélite ITASAT-1, normalmente, a equipe responsável pela engenharia de sistema, fornece o Documento de Especificação de Requisitos à equipe de V&V. A aplicação da COFI-ref deve ser realizada antes da revisão formal de requisitos de sistema (SSR).

De posse do Documento, a equipe de V&V aplica os passos descritos no Capítulo 3 desta dissertação, identificando, classificando, modelando e refinando os requisitos. Ao término da aplicação da COFI-ref, mediante uma segunda revisão, o primeiro grupo recebe um relatório com as respectivas

alterações e conclusões. Realiza-se este procedimento de maneira iterativa até que os requisitos satisfaçam às necessidades estabelecidas pela Missão. Assim, esta segunda revisão torna-se necessária para garantir: (i) os marcos do projeto; (ii) os resultados preliminares; e (iii) a sinergia entre os grupos de trabalho.

Na Figura 4.3, apresenta-se uma visão das equipes envolvidas na aplicação da COFI-ref no contexto de trabalho do Projeto ITASAT-1. A primeira equipe, de Engenharia de Sistemas, entrega o documento de especificação de requisitos para a segunda equipe, neste caso, o subsistema de Verificação e Validação. Esta, por sua vez, aplica a abordagem COFI-ref gerando, assim, um novo documento. Esta versão é, então, encaminhada ao primeiro grupo para sua respectiva atualização. Se houver necessidade, um novo refinamento é realizado, caso contrário, o Documento de Especificação de Requisitos é submetido para a revisão formal de projeto, prevista no plano de desenvolvimento da Missão.

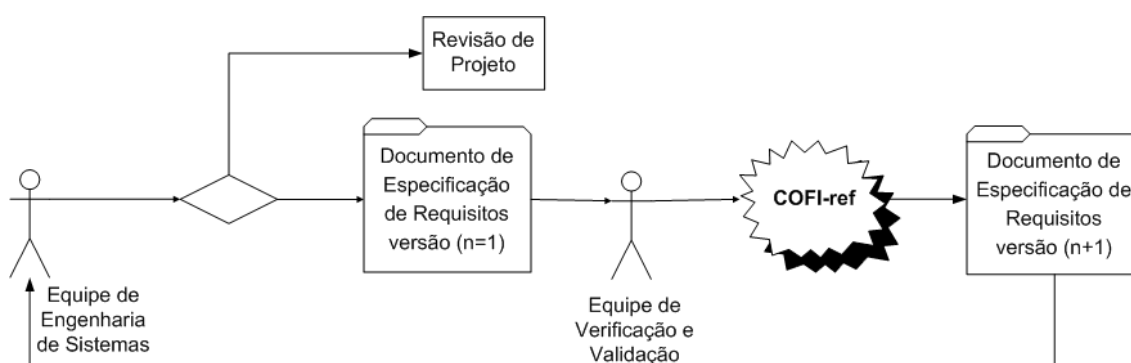


Figura 4.3 - Equipes envolvidas no processo de refinamento de requisitos pela metodologia COFI-ref

#### 4.2.2.Requisitos dos modos de operação do satélite ITASAT-1

O objeto de estudo desta dissertação foram os requisitos que estabelecem os modos de operação do satélite ITASAT-1 especificados no Documento de Especificação de Requisitos da missão. Este documento pode ser visto na íntegra no Anexo A desta dissertação.

A seguir são relacionadas as fases de desenvolvimento durante as quais o satélite ITASAT-1 pode ser operado:

- a) Montagem, Integração e Teste (AITP, sigla em inglês para *Assembly, Integration and Test Phase*);
- b) Preparação para Lançamento (LRP, sigla em inglês para *Launch Readiness Phase*);
- c) Pré-lançamento (PLP, sigla em inglês para *Pre-launch Phase*);
- d) Lançamento e Aquisição de Órbita (LEOP, sigla em inglês para *Launch and Early Orbit Phase*);
- e) Aceitação de Órbita (CP, sigla em inglês para *Commissioning Phase*);
- f) Operacional (OP, sigla em inglês para *Operational Phase*); e
- g) Descarte (DP, sigla em inglês para *Decommissioning Phase*).

Para cada fase de operação há, pelo menos, um requisito associado, são elas:

- a) **AITP:** Durante a AITP o satélite é integrado e testado e o segmento solo é preparado para a missão.
- b) **LRP:** A LRP contém o final de todos os testes de aceitação, o transporte para o sítio de lançamento e a demonstração do escopo de operação do segmento solo. Nesta fase os operadores são instruídos e treinados.
- c) **PLP:** A PLP contém o transporte até o sítio de lançamento, bem como a campanha de lançamento, da qual incluem os serviços de *check-out* do satélite e sua integração no lançador, incluindo últimos testes.

- d) **LEOP:** A LEOP contém o lançador propriamente dito, a separação do satélite do lançador, a primeira inicialização do satélite bem como sua primeira aquisição de dados.
- e) **CP:** Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte.
- f) **OP:** Nesta fase dá-se início ao uso operacional das cargas úteis e os testes experimentais. Se possível, esta fase pode ser maior que os dois anos de vida útil do satélite.
- g) **DP:** Se a vida útil do satélite expirou e o cliente decidir por descartá-lo é assinado um termo de descarte. Com este evento a fase de descarte é iniciada. Se necessário, uma manobra orbital deverá ser executada e todo o satélite descartado. Não mais do que em 25 anos o satélite entrará na atmosfera terrestre e será queimado.

Os modos de operação do ITASAT-1, de acordo com o documento *ITASAT Mission Description Document* (U1000-DDD-01, 2010) são:

- a) Modo de lançamento;
- b) Modo de sobrevivência;
- c) Modo de teste;
- d) Modo de alinhamento;

- e) Modo de carga útil;
- f) Modo experimental;
- g) Modo operacional; e
- h) Modo de propulsão.

Na Figura 4.4 apresentam-se os modos de operação do ITASAT-1 e suas relações.

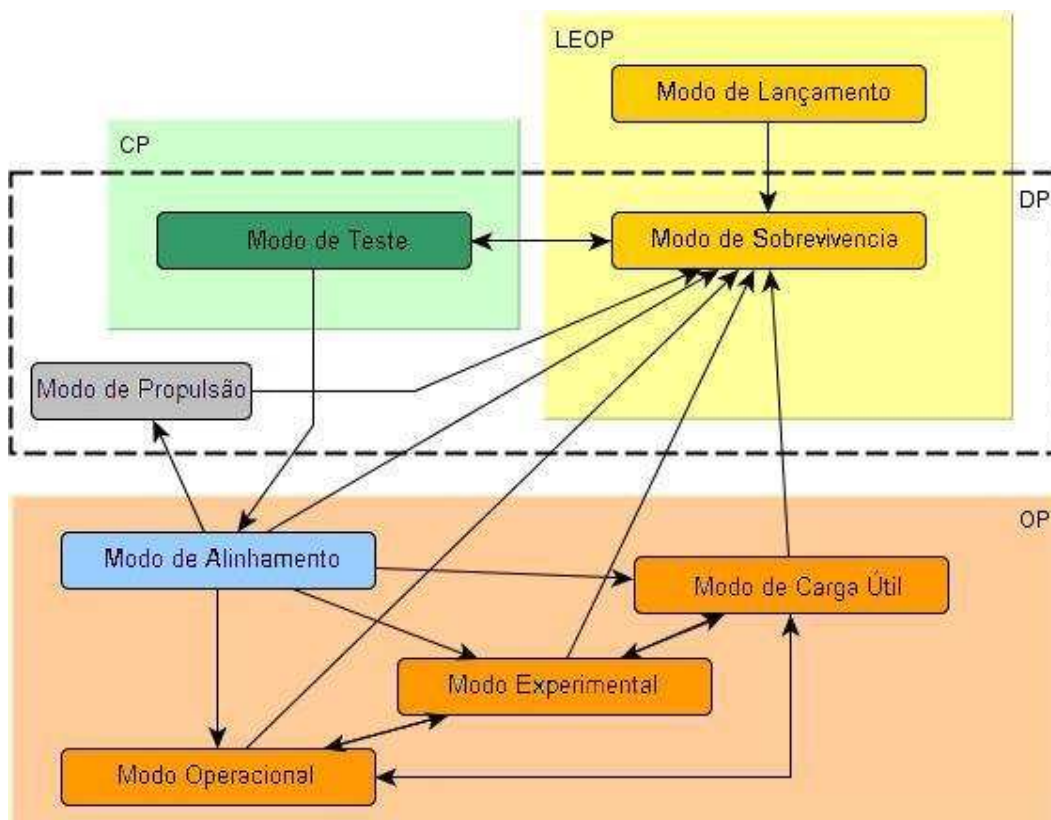


Figura 4.4 - Modos de operação do satélite ITASAT-1.

Na Figura 4.4 ilustram-se as possíveis mudanças entre os modos de operação do satélite. Esta figura, também indica as fases em que os modos ocorrem: de Lançamento e Aquisição de Órbita (LEOP), de Aceitação de Órbita (CP), de Descarte (DP) e Operacional (OP). Os modos de Lançamento e Sobrevivência pertencem à fase de LEOP. O Modo de teste pertence à fase de Aceitação de Órbita (CP). Os modos de Teste, Sobrevivência e Propulsão pertencem à fase

de Descarte. Já os modos de Alinhamento, Operacional, Experimental e Carga Útil pertencem à fase Operacional. Esta observação permite visualizar a complexidade de gestão e monitoramento do satélite.

Analisando a Figura 4.4 é possível levantar a questão de como garantir a eficácia através dos eventos de saída do sistema computacional embarcado de tal maneira que responda eficientemente às requisições relacionadas aos eventos de entrada (WASSON, 1948, PRESSMAN, 2001).

De acordo com o documento de requisitos do ITASAT-1, as condições de cada modo de operação (ver Anexo A) são:

- a) **Modo de lançamento:** Durante o lançamento o satélite permanece no Modo de lançamento. Este modo provê todos os requisitos da fase de lançamento: não há fornecimento de energia elétrica para todos os subsistemas e todos os mecanismos estão seguramente travados.
- b) **Modo de sobrevivência:** Após a injeção do satélite seu estado é alterado para o Modo de sobrevivência. Neste modo a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas. Neste modo todas as cargas úteis (operacionais e experimentais) são desligadas. O mesmo acontece com o ACS (sigla em inglês para *Attitude and Control System*, isto é, o subsistema de controle de atitude). Neste modo a tarefa do satélite é prover a energia necessária para mantê-lo em órbita e para garantir sua habilidade de comunicação. No caso de uma falha (*failure*) ou mau funcionamento (*malfunction*) que afete todo o satélite seu estado é alterado automaticamente para o Modo de sobrevivência, independentemente do estado atual.
- c) **Modo de teste:** A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em operação

de regime. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo, o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo.

- d) **Modo de alinhamento:** O Modo de alinhamento é para ajuste da posição do satélite (*de-tumbling*) para sua orientação especificada no sistema de coordenadas de voo. É um modo intermediário entre os modos de teste, de carga útil, do experimental e do operacional ou de propulsão.
- e) **Modo operacional:** Neste modo a carga útil experimental é desenergizada (*turned off*) e apenas a carga útil operacional está habilitada, inclusive os subsistemas.
- f) **Modo de propulsão:** O subsistema de propulsão é utilizado para a correção de órbita (*de-orbiting*) e também para a fase de descarte.
- g) **Modo de carga útil:** Neste modo, habilitado a partir do Modo de alinhamento por um comando de solo, todos os subsistemas do satélite incluindo a carga útil, mas excluindo o sistema de propulsão estão na sua configuração final de operação. Os dados tecnológicos da missão são coletados e transmitidos a Terra durante o período de visibilidade.
- h) **Modo experimental:** Neste modo apenas os subsistemas de cargas úteis experimentais estão funcionando. Este modo provê tempo para
- i) os experimentos e para os testes, por exemplo, do novo computador de bordo.

Como complemento da descrição dos modos de operações do ITASAT-1 a Tabela 4.1 relaciona, para cada modo de operação do satélite, o estado dos



subsistemas do satélite onde, “on” significa ligado ou ativo, “off” desligado ou desativado e “test” significa que testes são realizados.

Tabela 4.1 - Modos de operação versus subsistemas

| Subsistemas |                       | TeleCommunication System (TC)S | Electric Power Supply (EPS) | Telemetry, Tracking, and Telecommand (TT&C) | Attitude Control and On-Board Data Handling (ACDH/OBDH) | Structure and Mechanisms | Attitude Control System (ACS) | Experimental Payload | Operational Payload | Propulsion System |
|-------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|---|--------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
|             |                       | Modo de lançamento             | off                         | off   | off   | off                      | off                           | off                  | off                 | off               |
| Modos       | Modo de sobrevivência | on                             | on                          | on  | on  | on                       | off                           | off                  | off                 | off               |
|             | Modo de teste         | on                             | on                          | on  | on  | on                       | on                            | test                 | test                | off               |
|             | Modo de alinhamento   | on                             | on                          | on  | on  | on                       | on                            | off                  | off                 | off               |
|             | Modo de carga útil    | on                             | on                          | on  | on  | on                       | on                            | on                   | on                  | off               |
|             | Modo experimental     | on                             | on                          | on  | on  | on                       | on                            | on                   | off                 | off               |
|             | Modo operacional      | on                             | on                          | on  | on  | on                       | on                            | off                  | on                  | off               |
|             | Modo de propulsão     | on                             | on                          | on  | on  | on                       | on                            | off                  | off                 | on                |

De posse do documento de especificação de requisitos do ITASAT-1 a equipe de V&V deu início à aplicação da abordagem COFI-ref, apresentada na seção seguinte.

### 4.2.3. Aplicando a abordagem COFI-ref

Passado o primeiro passo estabelecido pela COFI-ref, de Aquisição dos Requisitos, inicia-se o de Identificação. Neste caso, o único serviço identificado é categorizado como Mudança de Modos de Operação do Satélite.

Para a modelagem do comportamento do Sistema Em Especificação em MEFs, identificam-se as falhas físicas, os eventos e as ações.

#### Falhas físicas

Na Tabela 4.2 a seguir mostram-se as falhas físicas que podem ocorrer no hardware que o Sistema em Especificação deve resistir.

Tabela 4.2 - Falhas de hardware do sistema.

| <b>Falha</b>            | <b>Mnemônico</b> | <b>Descrição</b>                                |
|-------------------------|------------------|---|
| Carga útil experimental | f.exp            | anomalia na carga útil experimental do satélite |
| Carga útil operacional  | f.opp            | anomalia na carga útil operacional do satélite  |
| Carga útil              | f.pay            | anomalia na carga útil do satélite              |
| Propulsão               | f.prp            | anomalia no sistema de propulsão do satélite    |
| Plataforma do satélite  | f.bus            | anomalia na plataforma do satélite              |
| Estrutura               | f.str            | anomalia na estrutura do satélite               |

#### Entradas e Saídas

Os eventos (entradas) e ações (saídas) esperadas que possam ser percebidos pelo sistema são apresentados na Tabela 4.3.



Tabela 4.3 - Eventos e ações do Sistema Em Especificação.

| <b>Mnemônico</b> | <b>Eventos (Entrada)</b> | <b>Descrição do evento</b>                                 | <b>Ações (saídas)</b>   | <b>Descrição da saída</b>       |
|------------------|--------------------------|--|---|---------------------------------|
| A                | FIRST_TC                 | Envio do primeiro telecomando                              | FIRST_TM  | Recebe primeira telemetria      |
| B                | PAYLOAD_TEST             | Início do teste de carga útil                              | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_OFF; EXP_TEST;<br>OPP_TEST; PRP_OFF | Executa teste de carga útil     |
| C                | PAYLOAD_TEST_NOK         | Carga útil funcional                                       | SC_MALFUNCTION  | Teste de carga útil executado   |
| D                | PAYLOAD_TEST_OK          | Testes de carga útil operacional e experimental funcionais | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_OFF;<br>OPP_OFF; PRP_OFF    | Executa alinhamento do satélite |
| E                | SC_DECOM                 | Executa manobra de correção de órbita                      | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_OFF;<br>OPP_OFF; PRP_ON     |                                 |
| F                | OPERATIONAL_INIT         | Executa manobra de ajuste de posição                       | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_OFF;<br>OPP_ON; PRP_OFF     | Carga útil operacional é ligada |
|                  |                          |  |   |                                 |

Continuação da Tabela 4.3 – Eventos e ações do Sistema Em Especificação.

| <b>Mnemônico</b> | <b>Eventos (Entrada)</b> | <b>Descrição do evento</b>                 | <b>Ações (saídas)</b>   | <b>Descrição da saída</b>              |
|------------------|--------------------------|--|---|--|
| G                | EXPERIMENTAL_INIT        | Liga carga útil experimental               | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_ON;<br>OPP_OFF; PRP_OFF | Carga útil experimental é iniciada     |
| H                | PAYLOAD_INIT             | Liga carga útil                            | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_ON;<br>OPP_ON; PRP_OFF  | Subsistemas e carga útil são iniciados |
| I                | OPP_2_EXP                | Inicia operação da carga útil experimental | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_ON;<br>OPP_OFF; PRP_OFF | Carga útil experimental é iniciada     |
| J                | OPP_2_PAY                | Inicia operação da carga útil              | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_ON;<br>OPP_ON; PRP_OFF  | Subsistemas e carga útil são iniciados |
| K                | EXP_2_OPP                | Sucesso no ajuste de órbita                | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_OFF;<br>OPP_ON; PRP_OFF | Carga útil operacional é ligada        |

Continuação da Tabela 4.3 – Eventos e ações do Sistema Em Especificação.

| <b>Mnemônico</b> | <b>Eventos (Entrada)</b> | <b>Descrição do evento</b>  | <b>Ações (saídas)</b>   | <b>Descrição da saída</b>                                  |
|------------------|--------------------------|---|---|--|
| L                | EXP_2_PAY                | Carga útil operacional é desligada e carga útil é iniciada                  | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_ON;<br>OPP_ON; PRP_OFF  | Carga útil operacional é ligada                            |
| M                | PAY_2_EXP                | Carga útil operacional é ligada e estação solo tem visibilidade do satélite | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_ON;<br>OPP_OFF; PRP_OFF | Carga útil operacional é desligada e telemetria é iniciada |
| N                | PAY_2_OPP                |   | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_OFF;<br>OPP_ON; PRP_OFF |  |
| O                | PROPULTION_INIT          | Inicia propulsão e satélite efetua manobra de correção de órbita            | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_OFF;<br>OPP_OFF; PRP_ON | Cargas úteis são desligadas e descarte é iniciado          |
| P                | PAYLOAD_NOK              | Mau funcionamento da carga útil   | SC_MALFUNCTION  | Modo sobrevivência é iniciado                              |
| Q                | EXPERIMENTAL_NOK         | Mau funcionamento da carga útil experimental                                | SC_MALFUNCTION  | Modo sobrevivência é iniciado                              |
| R                | OPERATIONAL_NOK          | Mau funcionamento da carga útil operacional                                 | SC_MALFUNCTION  | Modo sobrevivência é iniciado                              |

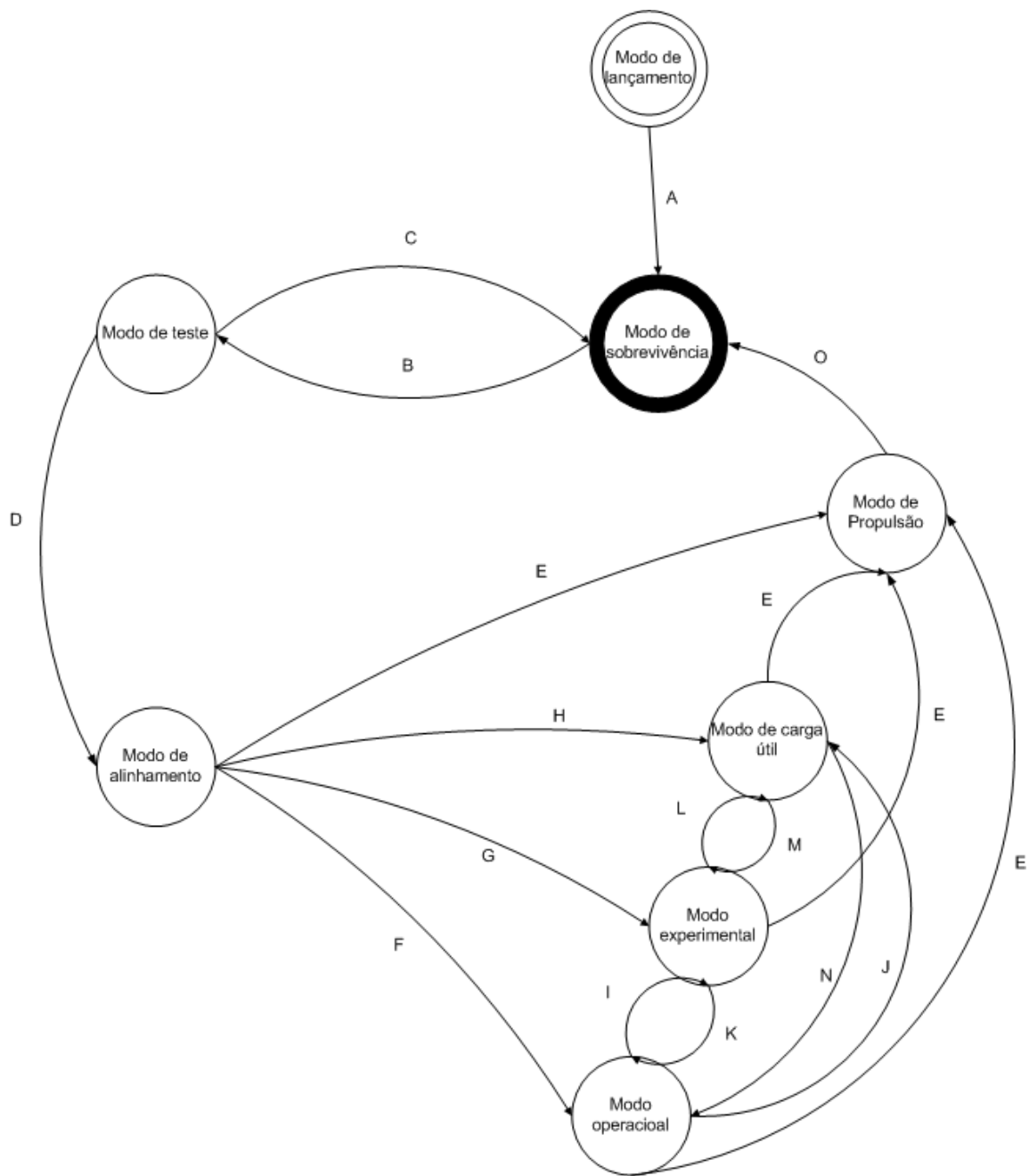
Continuação da Tabela 4.3 – Eventos e ações do Sistema Em Especificação.

| <b>Mnemônico</b> | <b>Eventos (Entrada)</b> | <b>Descrição do evento</b>                   | <b>Ações (saídas)</b>   | <b>Descrição da saída</b>                              |
|------------------|--------------------------|--|---|--|
| S                | SC_TEST_DECOM            | Inicia descarte do satélite                  | TCS_ON; EPS_ON;<br>TT&C_ON; ACDH_ON;<br>ACS_ON; EXP_OFF;<br>OPP_OFF; PRP_ON | Modo de propulsão é iniciado para descarte do satélite |
| T                | ALIGNMENT_NOK            | Mau funcionamento do alinhamento do satélite | SC_MALFUNCTION  | Modo sobrevivência é iniciado                          |

Partindo para o terceiro passo da abordagem, o comportamento do Sistema em Especificação é modelado em Máquinas de Estados Finitos (MEF) de Mealy, como descrito anteriormente. O mnemônico da primeira coluna da Tabela 4.3 é usado no desenho das MEFs para representar o conteúdo da transição, como forma de facilitar a visualização.

Na Figura 4.5 apresentam-se as mudanças dos modelos de operação quando o satélite encontra-se no Modo Normal de Operação. Este modelo representa o comportamento especificado do satélite quando da execução de suas funções em operações rotineiras.

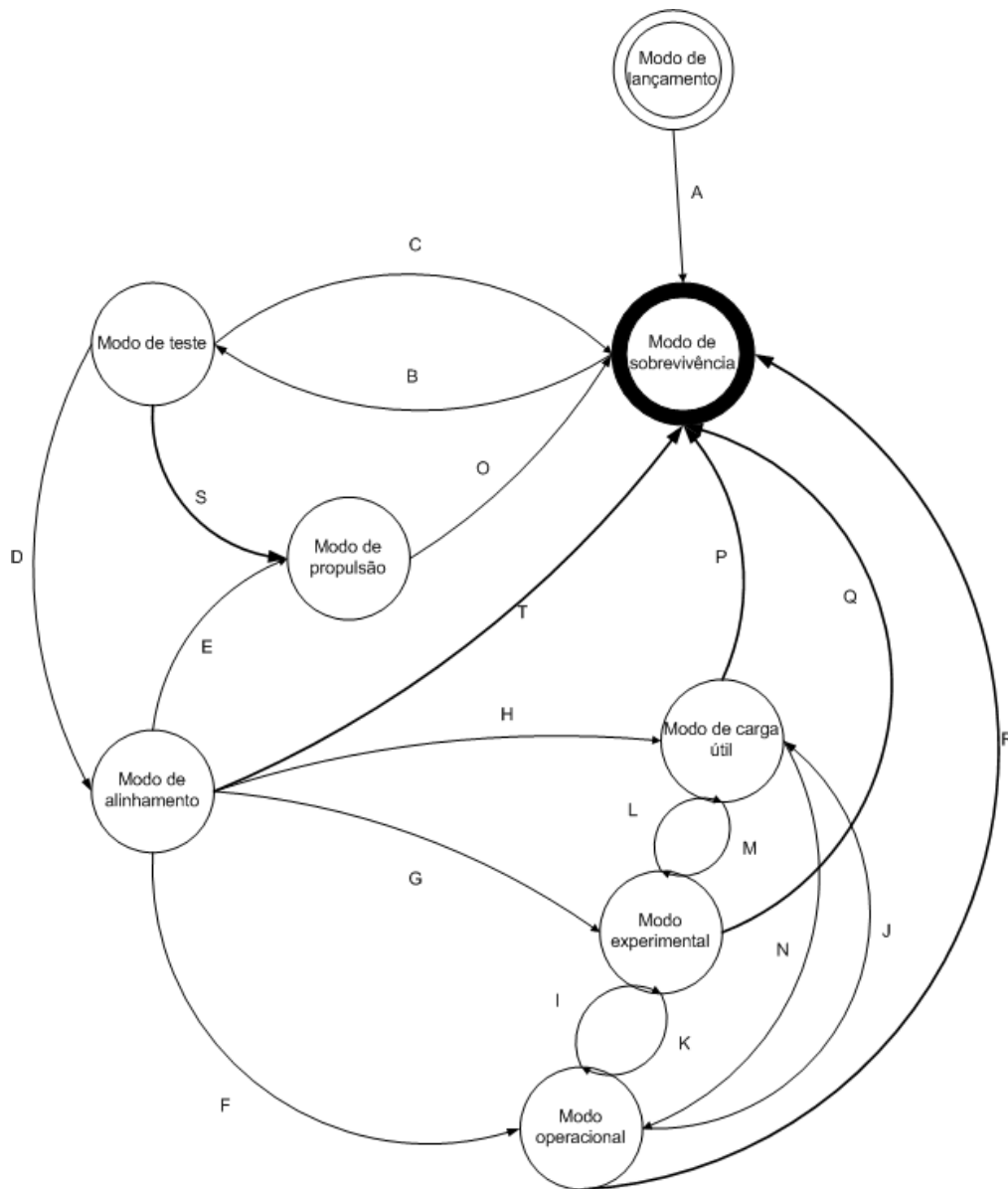




**Serviço 1 – Modo de Operação Normal**

Figura 4.5 - Máquina de Estados Finitos do Comportamento Normal do Serviço Mudança de Modos de Operação do ITASAT-1.

A próxima MEF, mostrada na Figura 4.6, representa o modelo do comportamento do satélite frente às exceções especificadas identificadas no documento de requisitos.

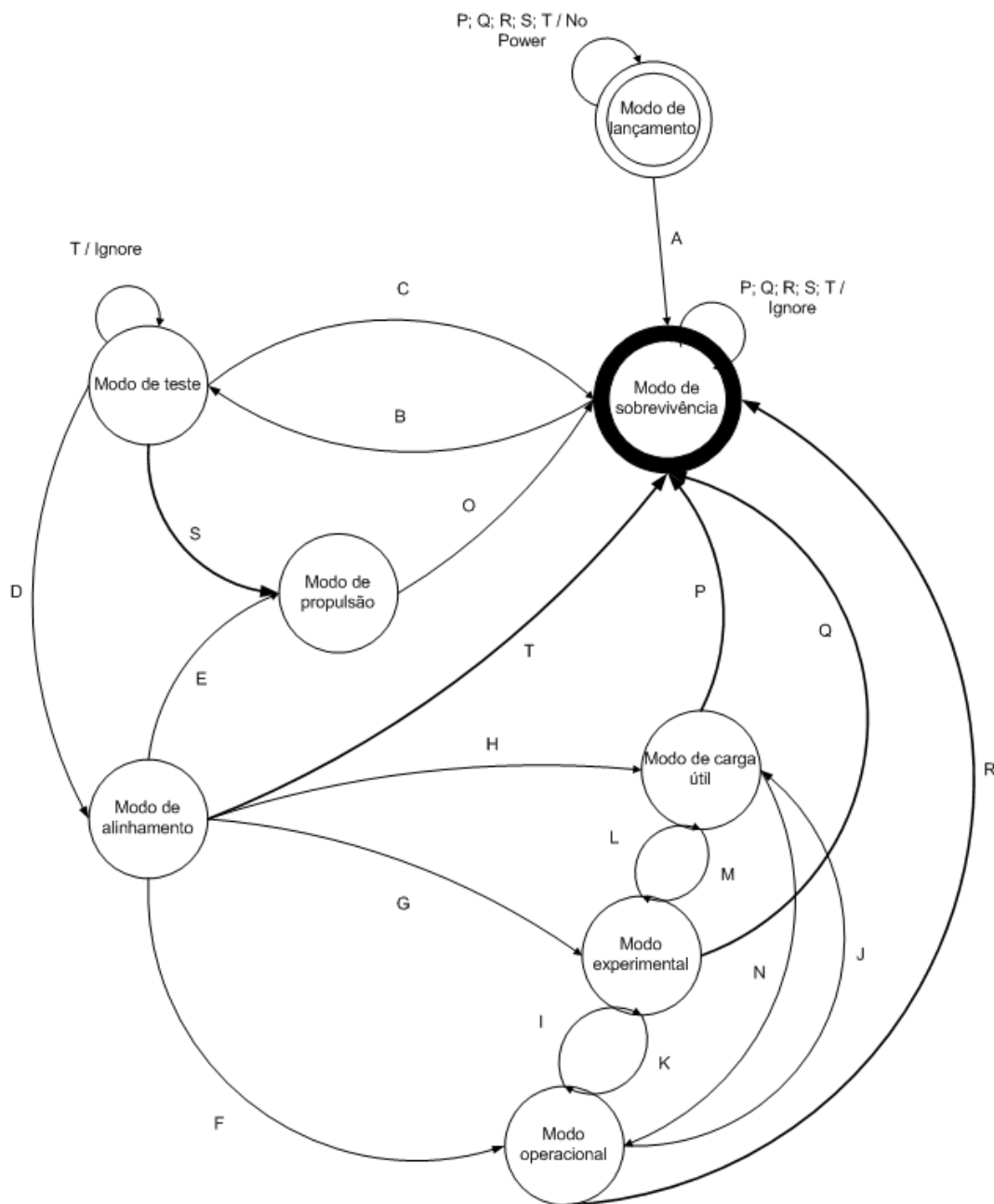


Serviço 1 – Modo de Exceções Especificadas

Figura 4.6 - Máquina de Estados Finitos do Comportamento de Exceções Especificadas do Serviço Mudança dos Modos de Operação do ITASAT-1.

A próxima etapa da Modelagem é a representação dos eventos normais ocorridos em momentos inesperados. A Figura 4.7 e Figura 4.8 apresentam o modelo de Caminhos Furtivos do sistema. Este modelo foi dividido em duas MEFs, para facilitar o arranjo dos estados e transições, de modo que facilitasse sua visualização.

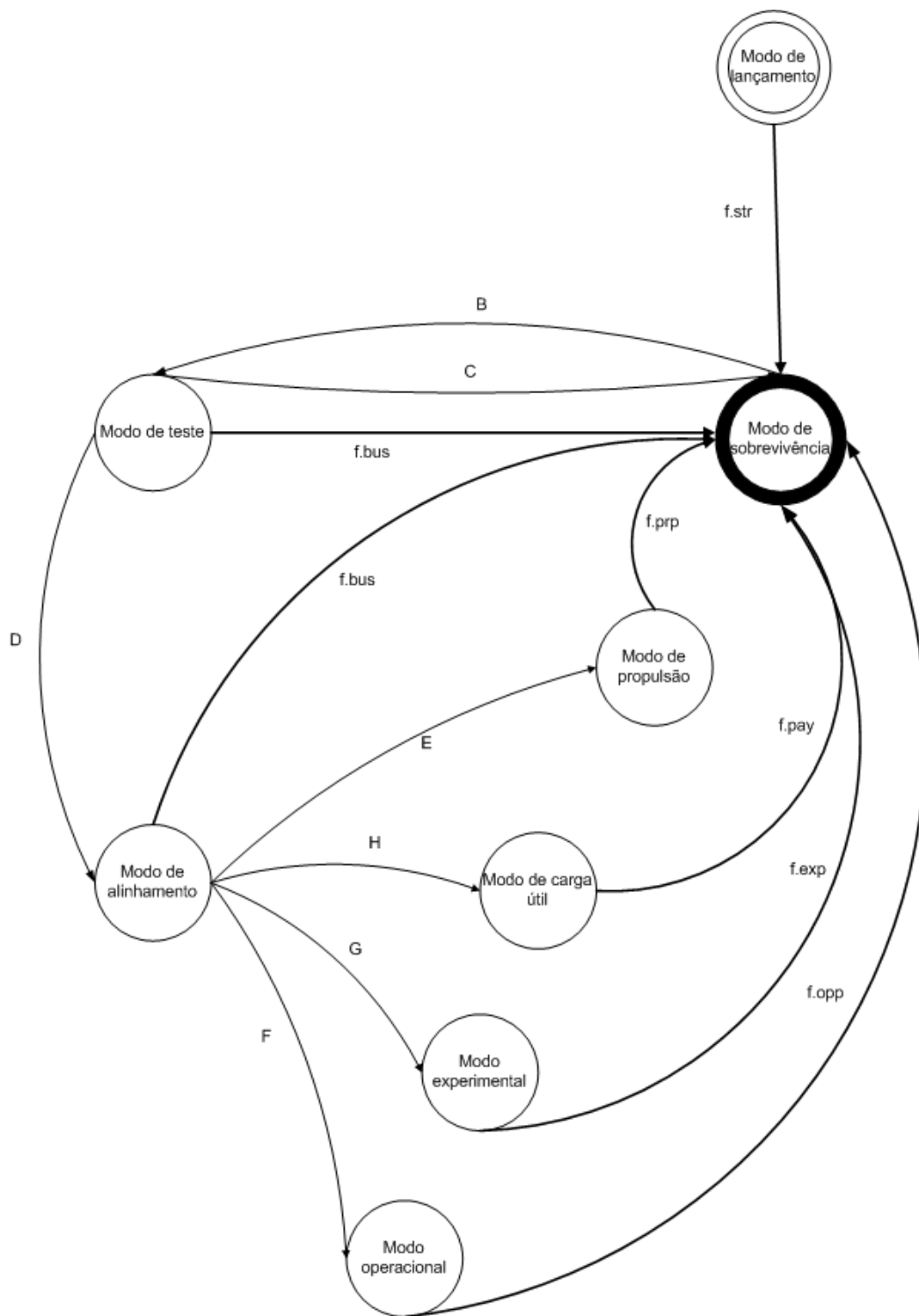




Serviço 1 – Caminhos Furtivos 2

Figura 4.8 - Máquina de Estados Finitos do comportamento Caminhos Furtivos 2 do Serviço Mudança dos Modos de Operação ITASAT-1.

A última etapa deste passo é a elaboração do modelo de Tolerância a Falhas de hardware. A MEF apresentada na Figura 4.9 incorpora os eventos que representam as falhas de hardware, as quais estão listadas na Tabela 4.2 deste capítulo.



Serviço 1 – Modo de Tolerância a Falhas

Figura 4.9 - Máquina de Estados Finitos do Comportamento de Tolerância a Falhas do Serviço Mudança dos Modos de Operação do ITASAT-1.

Após a elaboração dos modelos parciais do comportamento do sistema inicia-se o quarto passo da abordagem COFI-ref, o de Refinamento dos Requisitos. Este passo é subdividido em três etapas aplicadas a seguir:

### **4.3. Análise dos Modelos de Estados**

Nesta etapa, por meio de duas atividades: (i) análise de transição das MEFs Normal e de Exceções Especificadas, e (ii) análise de transição das MEFs de Caminhos Furtivos e de Tolerância a Falhas, elabora-se a Tabela 4.4. Esta tabela faz um mapeamento entre os requisitos e os modelos de estados apresentados anteriormente nas Figuras de 4.5 a 4.9. Desta forma, para cada modelo há, pelo menos, um requisito que a satisfaça. A primeira coluna apresenta o identificador do requisito; a segunda coluna o requisito, enquanto que a terceira indica o modelo de estado para o qual o respectivo requisito foi mapeado.

Tabela 4.4 - Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados.

| <b>Requisito</b> | <b>Descrição</b>  | <b>Modelo</b>  |
|------------------|---|--|
| R1               | AITP: Durante a AITP o satélite é integrado e testado e o segmento solo é preparado para a missão.  | Normal;<br>Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2                            |
| R2               | LRP: A LRP contém o final de todos os testes de aceitação, o transporte para o sítio de lançamento e a demonstração do escopo de operação do segmento solo. Nesta fase os operadores são instruídos e treinados.  | Normal;<br>Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2                            |
| R3               | PLP: A PLP contém o transporte até o sítio de lançamento, bem como a campanha de lançamento, da qual incluem os serviços de <i>check-out</i> do satélite e sua integração no lançador, incluindo os últimos testes.   | Normal, Exceções Especificadas;<br>Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2    |
| R4               | LEOP: A LEOP contém o lançador propriamente dito, a separação do satélite do lançador, a primeira inicialização do satélite bem como sua primeira aquisição de dados.   | Normal;<br>Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2; Tolerância a Falhas       |
| R5               | CP: Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte. | Normal;<br>Exceções Especificadas;<br>Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2 |

Continuação da Tabela 4.4 - Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados

| Requisito | Descrição   | Modelo   |
|-----------|---|--|
| R6        | OP: Nesta fase dá-se início ao uso operacional das cargas úteis e os testes experimentais. Se possível, esta fase pode ser maior que os dois anos de vida útil do satélite.   | Normal, Exceções Especificadas; Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2 |
| R7        | DP: Se a vida útil do satélite expirou e o cliente decidir por descartá-lo é assinado um termo de descarte. Com este evento a fase de descarte é iniciada. Se necessário, uma manobra orbital deverá ser executada e todo o satélite descartado. Não mais do que em 25 anos o satélite entrará na atmosfera terrestre e será queimado.  | Normal; Exceções Especificadas; Caminhos Furtivos 1                      |
| R8        | Modo de lançamento: Durante o lançamento o satélite permanece no Modo de lançamento. Este modo provê todos os requisitos da fase de lançamento: não há fornecimento de energia elétrica para todos os subsistemas e todos os mecanismos estão seguramente travados.   | Normal, Exceções Especificadas; Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2 |
| R9        | Modo de sobrevivência: Após a injeção do satélite, seu estado é alterado para o Modo de sobrevivência. Neste modo, a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas. Neste modo, todas as cargas úteis (operacionais e experimentais) são desligadas. O mesmo acontece com o ACS (sigla em inglês para Attitude and Control System, isto é, o subsistema de controle de atitude). Neste modo, a tarefa do satélite é prover a energia necessária para mantê-lo em órbita e para garantir sua habilidade de comunicação. No caso de uma falha (failure) ou mau funcionamento (malfunction) que afete todo o satélite seu estado é alterado automaticamente para o Modo de sobrevivência, independentemente do estado atual. | Normal; Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2; Tolerância a Falhas    |



Continuação da Tabela 4.4 - Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados

| Requisito | Descrição   | Modelo   |
|-----------|---|--|
| R10       | <p>Modo de teste: A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em regime de operação. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo, o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo.</p> | <p>Normal;<br/>Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2</p>        |
| R11       | <p>Modo de alinhamento: O Modo de alinhamento é para ajuste da posição do satélite (<i>de-tumbling</i>) para sua orientação especificada no sistema de coordenadas de voo. É um modo intermediário entre os modos de teste, de carga útil, do experimental e do operacional ou de propulsão.</p>  | <p>Normal;<br/>Exceções Especificadas;<br/>Caminhos Furtivos 1</p> |
| R12       | <p>Modo operacional: Neste modo, a carga útil experimental é desenergizada (<i>turned off</i>) e apenas a carga útil operacional está habilitada, inclusive os subsistemas.</p>   | <p>Normal, Exceções Especificadas</p>                              |
| R13       | <p>Modo de propulsão: O subsistema de propulsão é utilizado para a correção de órbita (<i>de-orbiting</i>) e também para a fase de descarte.</p>  | <p>Normal;<br/>Exceções Especificadas;<br/>Caminhos Furtivos 1</p> |

Continuação da Tabela 4.4 - Mapeamento entre Requisitos e Modelos de Estados

| Requisito | Descrição  | Modelo   |
|-----------|--|--|
| R14       | Modo de carga útil: Neste modo, habilitado a partir do Modo de alinhamento por um comando de solo, todos os subsistemas do satélite incluindo a carga útil, mas excluindo o sistema de propulsão, estão na sua configuração final de operação. Os dados tecnológicos da missão são coletados e transmitidos a Terra durante o período de visibilidade. | Normal;<br>Exceções Especificadas;<br>Caminhos Furtivos 1; Caminhos Furtivos 2 |
| R15       | Modo experimental: Neste modo, apenas os subsistemas de cargas úteis experimentais estão funcionando. Este modo provê tempo para os experimentos e para os testes, por exemplo, do novo computador de bordo.   | Normal; Exceções Especificadas;<br>Caminhos Furtivos 2                         |

A segunda etapa deste passo diz respeito à Elaboração de Questões.

A Tabela 4.5 apresenta a correspondência entre os modelos de estados, as questões elaboradas e suas justificativas. Na primeira coluna segue o identificador da MEFs. Na segunda coluna apresenta a questão enquanto na terceira sua justificativa.

Tabela 4.5 - Questões e justificativas elaboradas a partir das MEFs e dos Requisitos

| <b>Modelos</b>          | <b>Questões</b>  | <b>Justificativa</b>   |
|-------------------------|--|--|
| Normal                  | <b>Q1)</b> Como o sistema efetuará a transição do Modo de Alinhamento para os modos de Carga útil, de Experimental e de Operacional ? Será por meio de um telecomando, um evento interno ou outro ?          | Esta afirmação não está clara no DRD. Uma vez que o satélite iniciará suas atividades após o primeiro telecomando, verificar se o sistema poderá executar esta transição de modo autônomo.   |
| Exceções Especificadas  | <b>Q2)</b> É possível afirmar que o satélite, durante o Modo de teste, seja descartado sem passar pelo Modo de sobrevivência?  | Esta afirmação não está explícita no DRD. Verificar a implicação desta possibilidade e documentá-la.   |
|                         | <b>Q3)</b> É possível o satélite mudar de estado a partir dos modos Operacional, do Experimental e de Carga útil para o Modo de propulsão sem passar pelo Modo de Alinhamento ao iniciar a fase de descarte? | Considerar a possibilidade de ao iniciar o descarte do satélite e este estiver no Modo operacional ou Modo experimental ou Modo de carga útil, este deve realizar uma manobra orbital. Verificar a possibilidade de realizar a manobra sem que o satélite passe pelo Modo de Alinhamento.            |
| Caminhos Furtivos 1 e 2 | <b>Q4)</b> Como e em quais circunstâncias, exceto no caso de falha ou mau funcionamento, o satélite será descartado enquanto estiver no Modo de teste?   | Esta condição não está explícita no DRD. Verificar e documentar esta condição.   |
| Tolerância a Falhas     | <b>Q5)</b> É possível que o Modo de alinhamento seja iniciado se apenas uma das cargas úteis estiver funcionando corretamente?   | Da maneira como o sistema se apresenta se houver uma falha em alguma carga útil o satélite entrará em Modo de Sobrevivência, ao passo que se ao menos uma carga útil estiver em funcionamento o satélite pode permanecer no estado atual. Verificar a implicação desta possibilidade e documentá-la. |
|                         | <b>Q6)</b> É coerente que o satélite inicie uma manobra de ajuste de órbita a partir de todos os modos de operação exceto o Modo de sobrevivência?   | Considerar a necessidade de correção de órbita se houver uma falha ou mau funcionamento do satélite.   |

A terceira e última etapa diz respeito à Modificação dos Requisitos. Por meio da correspondência entre os requisitos, às questões e justificativas obtidas determina-se qual requisito deve ser modificado. A Tabela 4.5 apresenta a correspondência entre os modelos, as questões e os requisitos.

A primeira coluna indica a MEF. A segunda coluna mostra a questão elaborada. A terceira coluna apresenta o identificador do requisito e a quarta o requisito que a responde à respectiva questão. O caractere “-” indica que não há requisito que responda a respectiva questão.

Tabela 4.6 - Identificação dos requisitos que atendem às questões elaboradas.

| Modelos                | Questões  | ID | Requisito  |
|------------------------|---|----|--|
| Normal                 | <b>Q1)</b> Como o sistema efetuará a transição do Modo de Alinhamento para os modos de Carga útil, de Experimental e de Operacional ? Será por um telecomando, um evento interno ou outro ? | R5 | CP: Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase, todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte.   |
| Exceções Especificadas | <b>Q2)</b> É possível afirmar que o satélite, durante o Modo de teste, seja descartado sem passar pelo Modo de sobrevivência?   | R7 | DP: Se a vida útil do satélite expirou e o cliente decidir por descartá-lo é assinado um termo de descarte. Com este evento a fase de descarte é iniciada. Se necessário, uma manobra orbital deverá ser executada e todo o satélite descartado. Não mais do que em 25 anos o satélite entrará na atmosfera terrestre e será queimado.   |
|                        |   | R9 | Modo de sobrevivência: Após a injeção do satélite seu estado é alterado para o Modo de sobrevivência. Neste modo a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas. Neste modo todas as cargas úteis (operacionais e experimentais) são desligadas. O mesmo acontece com o ACS (sigla em inglês para Attitude and Control System, isto é, o subsistema de controle de atitude). Neste modo a tarefa do satélite é prover a energia necessária para mantê-lo por uma órbita e para garantir sua habilidade de comunicação. No caso de uma falha (failure) ou mau funcionamento (malfunction) que afete todo o satélite seu estado é alterado automaticamente para o Modo de sobrevivência, independentemente do estado atual. |

Continuação da Tabela 4.6 - Identificação dos requisitos que atendem às questões elaboradas.

| Modelos                 | Questões   | ID  | Requisitos   |
|-------------------------|--|-----|--|
|                         |  | R10 | Modo de teste: A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em regime de operação. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo.  |
|                         | <b>Q3)</b> É possível o satélite mudar de estado a partir dos modos Operacional, do Experimental e de Carga útil para o Modo de propulsão sem passar pelo Modo de Alinhamento ao iniciar a fase de descarte? | -   | -  |
| Caminhos Furtivos 1 e 2 | <b>Q4)</b> Como e em quais circunstâncias, exceto no caso de falha ou mau funcionamento, o satélite será descartado enquanto estiver no Modo de teste?   | R10 | Modo de teste: A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em regime de operação. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo, o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo. |
| Tolerância a Falhas     | <b>Q5)</b> É possível que o Modo de alinhamento seja iniciado se apenas uma das cargas úteis estiver funcionando corretamente?   | -   | -  |

Continuação da Tabela 4.6 - Identificação dos requisitos que atendem às questões elaboradas.

| Modelos | Questões  | ID  | Requisitos  |
|---------|---|-----|---|
|         | <p><b>Q6)</b> É coerente que o satélite inicie uma manobra de ajuste de órbita a partir de todos os modos de operação exceto o Modo de sobrevivência?</p> | R11 | <p>Modo de alinhamento: O Modo de alinhamento é para ajuste da posição do satélite (de-tumbling) para sua orientação especificada no sistema de coordenadas de voo. É um modo intermediário entre os modos de teste, de carga útil, do experimental e do operacional ou de propulsão.</p> |

Identificado quais requisitos devem ser modificados dá-se início à elaboração das sugestões de reescrita destes requisitos. Na Tabela 4.7 apresentam-se as modificações dos requisitos originais. Na primeira coluna apresenta-se a questão elaborada no último passo da COFI-ref. Na segunda coluna o requisito original obtido do Documento de Especificação de Requisitos. Na terceira coluna o novo identificador do requisito e na última o requisito modificado.

Tabela 4.7 - Modificação dos requisitos a partir das questões elaboradas.

| Questões  | Requisito Original   | ID     | Requisito Modificado  |
|---|--|--------|---|
| <p>Q1) Como o sistema efetuará a transição do Modo de Alinhamento para os modos de Carga útil, de Experimental e de Operacional ? Será por um telecomando, um evento interno ou outro ?</p> | <p>R5) CP: Nesta fase o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte.</p> | R5.A   | <p>CP: Nesta fase o satélite deve transitar para o Modo de teste e iniciar os testes de:<br/> a) Subsistemas de cargas úteis; e<br/> b) Subsistemas da plataforma.<br/> Nota: Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais.</p> |
|   |  | R5.B   | <p>CP: Nesta fase o subsistema de controle de atitude deve iniciar a manobra do satélite para sua estabilização.</p>  |
|   |  | R5.C   | <p>CP: Nesta fase, o satélite deve efetuar a primeira transmissão para o segmento solo com os seguintes dados de telemetria:<br/> a) A definir.</p>   |
|   |  | R5.D   | <p>CP: Nesta fase, o satélite deve receber a primeira transmissão do segmento solo com os seguintes dados de telecomando:<br/> a) A definir.</p>  |
|   |  | R5.E   | <p>CP: Após o recebimento de telemetria o segmento solo deve confirmar a operacionalidade do satélite. Neste momento o cliente deve atestar a funcionalidade do segmento espacial.</p>  |
|   |  | R5.E.1 | <p>CP: Após o aceite do cliente esta fase é finalizada e a Missão passa para a fase seguinte.</p>   |



Continuação da Tabela 4.7 - Modificação dos requisitos a partir das questões elaboradas.

| Questões   | Requisito Original  | ID   | Requisito Modificado   |
|--|---|------|--|
| Q2) É possível afirmar que o satélite, durante o Modo de teste, seja descartado sem passar pelo Modo de sobrevivência? | R7) DP: Se a vida útil do satélite expirou e o cliente decidir por descartá-lo é assinado um termo de descarte. Com este evento a fase de descarte é iniciada. Se necessário, uma manobra orbital deverá ser executada e todo o satélite descartado. Não mais do que em 25 anos o satélite entrará na atmosfera terrestre e será queimado.  | R7.A | DP: Ao expirar a vida útil do satélite o cliente deve assinar um termo de descarte.  |
|  |   | R7.B | DP: Ao assinar o termo de descarte a fase de descarte deve ser iniciada.<br>Nota: Se necessário uma manobra orbital deve ser executada. Esta manobra pode ser executada a partir de qualquer modo de operação exceto o Modo de sobrevivência.          |
|  |   | R7.C | DP: O satélite deve permanecer em órbita por no máximo em 25 anos.<br>Nota: Após este período o satélite deve entrar na atmosfera terrestre. Esta ação fará com que o satélite seja queimado.  |
|  | R9) Modo de sobrevivência: Após a injeção do satélite seu estado é alterado para o Modo de sobrevivência. Neste modo a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas. Neste modo todas as cargas úteis (operacionais e experimentais) são desligadas. O mesmo acontece com o ACS (sigla em inglês para Attitude and Control System, isto é, o subsistema de controle de atitude). Neste modo a tarefa do satélite é prover a energia necessária para mantê-lo por uma órbita e para garantir sua habilidade de comunicação. No caso de uma falha (failure) ou mau funcionamento (malfunction) que | R9.A | Modo de sobrevivência: Este modo deve ser ativado após a injeção em órbita do satélite.<br>Nota: Neste modo a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas.   |
|  |   | R9.B | Modo de sobrevivência: Neste modo os seguintes subsistemas e serviços devem ser desligados:<br>a) Subsistemas de cargas úteis; e<br>b) Subsistema de Controle de Atitude.<br>Nota: Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais. |

Continuação da Tabela 4.7 - Modificação dos requisitos a partir das questões elaboradas.

| Questões | Requisito Original   | ID      | Requisito Modificado  |
|----------|--|---------|---|
|          | afete todo o satélite seu estado é alterado automaticamente para o Modo de sobrevivência , independentemente do estado atual.  | R9.C    | Modo de sobrevivência: Neste modo o satélite deve prover a energia necessária para:<br>a) Permanecer em órbita; e<br>b) Garantir sua habilidade de comunicação com o segmento solo.   |
|          |  | R9.D    | Modo de sobrevivência: Neste modo, ao houver uma falha ou mau funcionamento que afete todo o satélite o seu estado é alterado automaticamente para o Modo de Sobrevivência.<br>Nota: Independentemente do estado atual do satélite, o Modo de Sobrevivência deve ser ativado. |
|          | R10) Modo de teste: A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em regime de operação. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo. | R10.A   | Modo de teste: Neste modo o primeiro telecomando é recebido.  |
|          |  | R10.B   | Modo de teste: Neste modo todas as funções do satélite devem ser fornecidas ao iniciar o Modo de sobrevivência.   |
|          |  | R10.B.1 | Modo de teste: Neste modo, ao receber um comando de descarte o satélite deve passar para o Modo de sobrevivência. (A DEFINIR).<br>Nota: Se necessário deve executar uma manobra de correção de órbita (A DEFINIR).  |
|          |  | R10.C   | Modo de teste: Este modo deve ser ativado somente após (A DEFINIR) o Modo de sobrevivência.   |

Continuação da Tabela 4.7 - Modificação dos requisitos a partir das questões elaboradas.

| Questões  | Requisito Original | ID           | Requisito Modificado  |
|---|--------------------|--------------|---|
|   |                    | R10.<br>D    | Modo de teste: Neste modo, ao receber um comando de descarte o satélite deve passar para o Modo de alinhamento para realizar a manobra de correção de órbita (A DEFINIR). |
|   |                    | R10.E        | Modo de teste: Neste modo, após o satélite ser testado deve ser possível iniciar os seguintes modos de operação:<br>a) Modo de alinhamento; e<br>b) Modo de carga útil.   |
| Q3) É possível o satélite mudar de estado a partir dos modos Operacional, do Experimental e de Carga útil para o Modo de propulsão sem passar pelo Modo de Alinhamento ao iniciar a fase de descarte? | -                  | RMD.<br>Q3.A | Ver Requisitos R7.A; R7.B e R9.A  |
|   |                    |              |   |

Continuação da Tabela 4.7 - Modificação dos requisitos a partir das questões elaboradas.

| Questões  | Requisito Original   | ID           | Requisito Modificado   |
|---|--|--------------|--|
| Q4) Como e em quais circunstâncias, exceto no caso de falha ou mau funcionamento, o satélite será descartado enquanto estiver no Modo de teste? | R10) Modo de teste: A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em regime de operação. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo. | RMD.<br>Q4.A | Ver requisitos R10.A ao R10.E  |
| Q5) É possível que o Modo de alinhamento seja iniciado se apenas uma das cargas úteis estiver funcionando corretamente?                         | -  | RMD.<br>Q5.A | O satélite, ao identificar uma falha ou mau funcionamento e for possível mantê-lo estável com algum dos subsistemas de cargas úteis, este deve iniciar o respectivo modo de carga útil não afetado (A DEFINIR).<br>Nota: Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais. |
| Q6) É coerente que o satélite inicie uma manobra de ajuste de órbita a partir de todos os modos de operação exceto o Modo de sobrevivência?     | R11) Modo de alinhamento: O Modo de alinhamento é para ajuste da posição do satélite ( <i>de-tumbling</i> ) para sua orientação especificada no sistema de coordenadas de voo. É um modo intermediário entre os modos de teste, de carga útil, do experimental e do operacional ou de propulsão.   | RMD.<br>Q6.A | Ver Requisitos de R9.A a R9.D  |
|   |  | RMD.<br>Q6.B | Manter R11.  |

De posse do trabalho realizado a Equipe de V&V elabora um documento com as contribuições acima descritas e entrega à Equipe responsável pela especificação do sistema, como ilustrado na Figura 4.3.

Além das questões elaboradas no quarto passo da abordagem, a COFI-ref permite identificar requisitos faltantes ou incompletos, como foi o caso apresentado na Tabela 4.7, em que novos requisitos foram identificados.

Note que para a questão 3 (Q3) nenhum requisito conseguiu respondê-la de maneira adequada. No entanto, após o refinamento, os requisitos R7.A; R7.B e R9, respondem à esta questão. Também, na questão 5 (Q5) nenhum requisito foi encontrado para respondê-la, o que levou à elaboração de um novo requisito. Outro caso pode ser observado na questão 6 (Q6) para a qual manteve-se o requisito 11 (R11) e identificou-se os requisitos de R9.A a R9.D que também a respondiam, complementando, assim, a especificação.

Durante o processo de refinamento algumas propostas são feitas com o objetivo de aperfeiçoar o Documento de Especificação dos Requisitos. Estas propostas são encaminhadas a Equipe responsável em uma nova versão deste documento. Os novos requisitos e as questões recomendadas são soluções que visam atender às necessidades de todas as equipes envolvidas na COFI-ref.

Uma avaliação sobre as soluções recomendadas é apresentada no próximo Capítulo.



## 5. MÉTRICA PARA AVALIAÇÃO DE REQUISITOS

### 5.1. Considerações Iniciais

Neste Capítulo apresenta-se uma métrica para quantificar os resultados obtidos com a aplicação da abordagem COFI-ref para a melhoria da qualidade dos requisitos.

Para atingir este objetivo, foi aplicada a métrica no Documento de Especificação de Requisitos do Projeto ItaSat, em sua versão original, aqui denominada versão 1.0 (descrição  $n=1$  na Figura 3.1). Após a inclusão das sugestões recomendadas pela aplicação da abordagem COFI-ref para melhoria dos requisitos, a versão deste documento passou a ser a versão 1.1 (descrição  $n+1$  na Figura 3.1). Sobre a versão 1.1, então, foi aplicada novamente a métrica. Deste modo, foi possível avaliar quantitativamente a eficiência da aplicação da abordagem COFI-ref quanto à melhoria dos requisitos.

A métrica utilizada foi a do Modelo Estrutural de Requisitos definida no trabalho de Robert Halligan (HALLIGAN 1993), um dos grandes autores da área de Engenharia de Sistemas e de Requisitos. O Modelo Estrutural de Requisitos tem duas etapas. Na primeira, avalia-se cada requisito individualmente. Na segunda, todo o seu conjunto é avaliado, isto é, coloca-se em prova o Documento de Especificação de Requisitos (todos os requisitos como um todo).

### 5.2. O Modelo Estrutural de Requisitos

A avaliação de um requisito inicia-se com a observação de dez **Fatores de Qualidades** que devem ser associados a cada requisito e que, posteriormente, serão utilizados para todo o conjunto. Os dez **Fatores de Qualidade** (FQs) e seus respectivos significados são, de acordo com Halligan (1993):

- a) Correto (FQ1): refere-se à ausência de erros de sintaxe e semântica do requisito;
- b) Completo (FQ2): indica que o requisito contém toda a informação necessária, incluindo condições e restrições, que permite ao requisito ser implementado e que a necessidade do usuário seja satisfeita;
- c) Consistente (FQ3): indica que o requisito não entra em conflito com nenhum outro ou qualquer outro elemento em sua estrutura;
- d) Claro (FQ4): indica que o requisito é inteligível mesmo sem uma análise semântica da oração;
- e) Não-ambíguo (FQ5): indica que o requisito possui apenas uma interpretação semântica;
- f) Conectivo (FQ6): refere-se à propriedade pela qual todos os termos do requisito estão interligados adequadamente entre si e entre o conjunto de requisitos.
- g) Singular (FQ7): refere-se ao atributo do requisito de ser único, isto é, não pode ser expresso em dois ou mais requisitos, tendo diferentes elementos sintáticos;
- h) Testável (FQ8): indica que todo requisito pode ser testado, ou seja, existe um processo finito pelo qual é possível verificar que o requisito satisfaz seu objetivo;
- i) Modificável (FQ9): refere-se à:
  - a. Necessidade de mudanças para que um requisito possa ser completo e consistente; e
  - b. O mesmo requisito ser especificado apenas uma vez.
- j) Viável (FQ10): requer que o requisito seja capaz de:



- a. Lidar com restrições físicas naturais;
- b. Lidar com o estado-da-arte ao qual o projeto está vinculado; e
- c. Lidar com quaisquer outras restrições absolutas vinculadas ao projeto.

Uma vez que os requisitos são expressos em língua natural, Halligan (1993) afirma que uma análise sintática deve ser realizada. Para cada requisito devem ser identificados os seguintes **elementos** que o compõe:

- a) Ator/Iniciador da ação: é o sujeito da sentença – a “coisa” a ser especificada;
- b) Ação: é um verbo – a ação a ser tomada por um ator (sujeito);
- c) Objeto da ação: é um substantivo – é a “coisa” a ser atendida pelo ator;
- d) Condição para ação: define as condições sob as quais a ação ocorre;
- e) Restrição da ação: qualifica a ação em relação a sua restrição;
- f) Refinamento/Fonte do objeto: qualifica o objeto;
- g) Refinamento/Destino da ação: qualifica a ação e pode complementar as limitações da ação; e
- h) Outro: representa a declaração que não é associada a nenhum elemento acima. Por este motivo este elemento **não** é utilizado como índice de avaliação, mas apenas como informativo.

### **5.3.Avaliação da Qualidade Individual do Requisito (QIR)**

Para descrever a Qualidade Individual do Requisito (QIR) atribui-se ao requisito um número no intervalo unitário [0,1], sendo que 1 (um) representa um

requisito perfeito e 0 (zero) um requisito imperfeito. A avaliação é construída a partir da classificação dos termos e análise sintática do requisito, obedecendo aos seguintes passos:

- a) Classificar os termos dos requisitos de acordo com os oito **elementos** da análise sintática proposta pela métrica;
- b) Atribuir, para cada **elemento** da análise sintática existente, o valor 1 se o requisito apresenta tal elemento ou 0 (zero) caso o requisito não o apresente (este item é apresentado na coluna “Aplicabilidade” das tabelas deste capítulo);
- c) Analisar cada **elemento** da análise sintática perante os dez **Fatores de Qualidade** e pontuar o requisito em 1 se o elemento estiver correto ou 0 incorreto (este item é apresentado na coluna “Pontuação” das tabelas deste capítulo);
- d) Avaliar cada **elemento** classificado em (a) perante os dez **Fatores de Qualidade** e pontuar 1 para satisfatório e 0 (zero) para insatisfatório (este item é apresentado na coluna “Fator de Qualidade” nas tabelas deste capítulo); e
- e) Calcular a Qualidade Individual do Requisito (QIR) para cada requisito, dividindo-se a soma dos **elementos** pela soma de seus pontos (colunas “Aplicabilidade” e “Pontuação”, respectivamente, das tabelas apresentadas neste capítulo).

#### **5.4. Cálculo da Métrica de Qualidade do Conjunto de Requisitos**

De acordo com Halligan (1993), é necessário que as métricas individuais sejam agregadas para que seja possível medir o conjunto de requisitos de modo a identificar requisitos faltantes e incompletos.

Requisitos que foram omitidos podem ser estimados por uma **taxa de omissão**. Esta taxa de omissão é estimada a partir do número de novos requisitos que podem ser criados a partir do atual.

A métrica de qualidade para um conjunto de requisitos é calculada da seguinte forma, sendo  $n$  o número total de requisitos:

QR = Qualidade do (conjunto de) Requisitos:

$$QR = \frac{\sum QIR}{n} \quad (5.1)$$

FQ1 = índice “correto” do conjunto de requisitos:

$$FQ1 = \frac{\sum_{i=1}^n FQ1}{n} \quad (5.2)$$

FQ2 = índice “correto” do conjunto de requisitos:

$$FQ2 = \frac{\sum_{i=1}^n FQ1}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n taxa\_omissão}{n} \quad (5.3)$$

Onde,

- a) “n” é o número total de requisitos avaliados;
- b) A qualidade do atributo completudeza, FQ2, do requisito pode ser negativa; e
- c) Os parâmetros FQ3 à FQ10 são calculados como FQ1.

Ao comparar os resultados antes e após a aplicação da COFI-ref no Documento de Especificação de Requisitos estas equações são textualmente explicadas.

## **5.5. Aplicação da Métrica Modelo Estrutural de Requisitos**

O Documento de Especificação de Requisitos de Missão do satélite ITASAT-1 apresentado no Capítulo 4 será avaliado por esta métrica. A métrica será aplicada no conjunto de requisitos contidos no documento original (versão 1.0) e no conjunto de requisitos modificados (versão 1.1) de acordo com a aplicação da abordagem COFI-ref. Desta forma, podemos comparar quantitativamente o quanto a aplicação da COFI-ref contribuiu para a melhoria dos requisitos da Missão ITASAT.

Na Figura 5.1 ilustra-se o procedimento adotado para realização da avaliação quantitativa dos resultados da aplicação da abordagem COFI-ref, para o refinamento e melhoria na qualidade de requisitos.

A partir da versão inicial, isto é, da versão 1.0 do Documento de Especificação de Requisitos do satélite ITASAT-1, foi aplicada a abordagem COFI-ref para refinamento dos requisitos, dando origem a nova versão do Documento de Especificação, a versão 1.1. A métrica de qualidade de requisitos descrita neste Capítulo foi então aplicada nas duas versões. Com isto, foi possível comparar os resultados obtidos e quantificar o refinamento proposto pela COFI-ref.

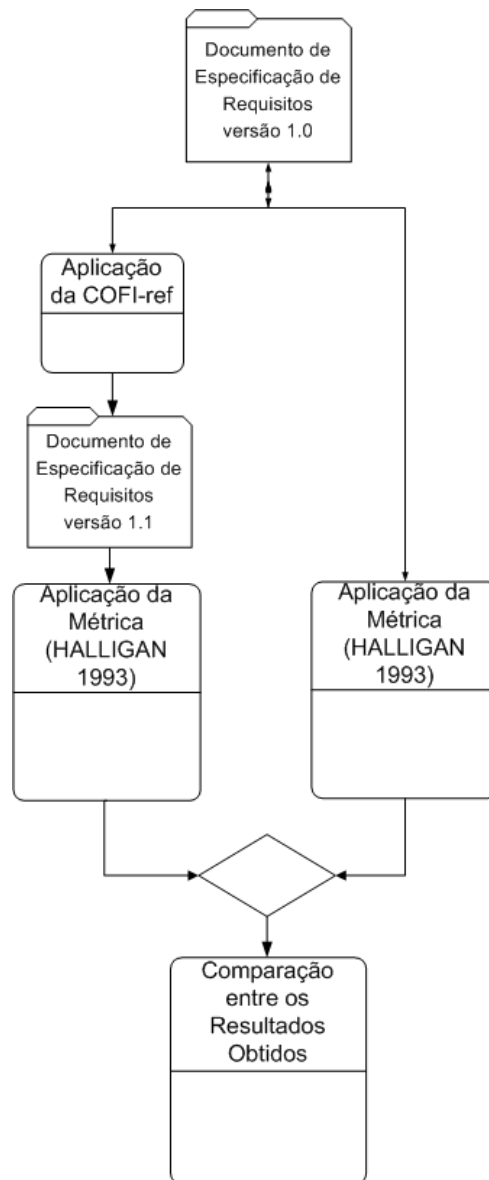


Figura 5.1 - Procedimento realizado para aplicação da métrica de avaliação de requisitos antes e após a metodologia COFI-ref.

### 5.5.1. Aplicação da Métrica de Qualidade de Requisitos antes da COFI-ref

Os requisitos da versão 1.0 do Documento de Especificação de Requisitos do satélite ITASAT-1 e seus respectivos QIRs, obtidos da execução dos cinco passos descritos anteriormente para avaliação individual do requisito, são relacionados a seguir.

Cada requisito é apresentado separadamente em uma tabela.

O texto do requisito é mostrado no topo da tabela. Logo abaixo são classificados os elementos e seus índices; aplicabilidade, pontuação e FQ com seus respectivos valores. Os valores obtidos para cada índice e o valor calculado para o QIR indicam a medida de eficácia do requisito.

Os valores dos índices são atribuídos de maneira empírica (PERICE 1878; POLYA 1957; TALL 1991). Eles são baseados na experiência do analista responsável por esta tarefa.

Verifique a Tabela 5.1. No topo da tabela encontra-se a declaração textual do requisito. A primeira coluna, Elemento, é composta dos oito **elementos** da análise sintática. A segunda coluna, Texto, mostra o resultado da análise sintática sobre o requisito. Ainda nesta coluna, o campo TOTAL indica a soma dos **elementos** e é usado para calcular o QIR. A terceira coluna, Aplicabilidade, representa o valor obtido a partir dos **elementos**, isto é, se o existe um Texto do Elemento então este campo recebe valor 1 (um), caso contrário recebe valor 0 (zero). A quarta coluna, Pontuação, indica se o Texto identificado para aquele Elemento é satisfatório ou não. Se satisfatório então atribui-se o valor 1 (um), caso contrário o valor 0 (zero). Já, a quinta apresenta os **Fatores de Qualidades** e a sexta coluna os valores atribuídos a estes. Estes valores são obtidos ao relacionar o requisito com o respectivo FQ, por exemplo, se o Requisito R1 está Correto atribui-se o valor 1 (um), caso contrário o valor 0 (zero) e assim sucessivamente. O campo Taxa de omissão apresentado na segunda coluna indica em quantos requisitos o atual pode ser desmembrado, no caso de R1, pode-se gerar 2 requisitos. O campo SOMA, na sexta coluna é informativo, apresentando a soma dos FQs identificados para este requisito.

Este procedimento é adotado para a elaboração de todas as tabelas apresentadas neste Capítulo.

Tabela 5.1 - Qualidade Individual do Requisito 1 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 1 (R1)</b>  |                                |                          |                  |                    |              |
|--|--------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------|--------------|
| AITP: Durante a AITP o satélite é integrado e testado e o segmento solo é preparado para a missão. |                                |                          |                  |                    |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                   | <b>Aplicabilidade de</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>          | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite; o segmento solo    | 1                        | 1                | Correto            | 0            |
| Ação   | é                              | 1                        | 0                | Completo           | 1            |
| Objeto da ação   | integrado e testado; preparado | 1                        | 0                | Consistente        | 0            |
| Condição para ação   | durante o AITP                 | 1                        | 1                | Claro              | 1            |
| Restrição da ação  |                                | 0                        | 0                | Não-ambíguo        | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |                                | 0                        | 0                | Conectividade      | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  |                                | 0                        | 0                | Singularidade      | 0            |
| Outro  | para a missão                  | -                        | -                | Testável           | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>                   | <b>4</b>                 | <b>2</b>         | <b>Modificável</b> | <b>0</b>     |
|  | <b>QIR</b>                     | <b>0,50</b>              |                  | <b>Viável</b>      | <b>1</b>     |
|  | <b>Taxa de omissão</b>         | <b>2</b>                 |                  | <b>SOMA</b>        | <b>6</b>     |

Tabela 5.2- Qualidade Individual do Requisito 2 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 2 (R2)</b>  |   |                       |                  |               |              |
|--|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| LRP: A LRP contém o final de todos os testes de aceitação, o transporte para o sítio de lançamento e a demonstração do escopo de operação do segmento solo. Nesta fase os operadores são instruídos e treinados. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | A LRP; os operadores  | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação   |   | 0                     | 0                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação   | testes de aceitação; transporte para sítio de lançamento; segmento solo | 1                     | 0                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | demonstração; instruídos e treinados                                    | 1                     | 1                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação  | contêm  | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |   | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |

| Continuação da Tabela 5.2 - - Qualidade Individual do Requisito 2 antes da abordagem COFI-ref. |                                |          |          |               |          |
|--|--------------------------------|----------|----------|---------------|----------|
| <b>Requisito 2 (R2)</b>  |                                |          |          |               |          |
| Refinamento/Destino da ação  |                                | 0        | 0        | Singularidade | 1        |
| Outro  | Nesta fase; escopo de operação | -        | -        | Testável      | 1        |
|  | <b>TOTAL</b>                   | <b>3</b> | <b>1</b> | Modificável   | 0        |
|  | <b>QIR</b>                     | 0,33     |          | Viável        | 0        |
|  | <b>Taxa de omissão</b>         | 1        |          | <b>SOMA</b>   | <b>5</b> |

Tabela 5.3 - Qualidade Individual do Requisito 3 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 3 (R3)</b>  |   |                |           |               |          |
|--|---|----------------|-----------|---------------|----------|
| PLP: A PLP contém o transporte até o sítio de lançamento, bem como a campanha de lançamento, da qual incluem os serviços de <i>check-out</i> do satélite e sua integração no lançador, incluindo últimos testes. |   |                |           |               |          |
| Elemento   | Texto   | Aplicabilidade | Pontuação | FQ            | Valor    |
| Ator   | A PLP;  | 1              | 1         | Correto       | 0        |
| Ação   |   | 0              | 0         | Completo      | 0        |
| Objeto da ação   | sítio de lançamento; campanha de lançamento; serviços de <i>check-out</i> | 1              | 1         | Consistente   | 0        |
| Condição para ação   | incluem; transporte; integração   | 1              | 0         | Claro         | 0        |
| Restrição da ação  |   | 0              | 0         | Não-ambíguo   | 1        |
| Refinamento/Fonte do objeto  |   | 0              | 0         | Conectividade | 1        |
| Refinamento/Destino da ação  |   | 0              | 0         | Singularidade | 1        |
| Outro  |   | -              | -         | Testável      | 1        |
|  | <b>TOTAL</b>  | <b>3</b>       | <b>2</b>  | Modificável   | 1        |
|  | <b>QIR</b>  | 0,67           |           | Viável        | 1        |
|  | <b>Taxa de omissão</b>  | 0              |           | <b>SOMA</b>   | <b>6</b> |



Tabela 5.4 - Qualidade Individual do Requisito 4 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 4 (R4)</b>   |   |                       |                  |               |              |
|---|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| LEOP: A LEOP contém o lançador propriamente dito, a separação do satélite do lançador, a primeira inicialização do satélite bem como sua primeira aquisição de dados. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>                                | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | A LEOP;                                     | 1                     | 1                | Correto       | 0            |
| Ação  |   | 0                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | lançador; satélite                          | 1                     | 0                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação  | contém; separação; inicialização; aquisição | 0                     | 1                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação   |   | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   | primeira inicialização                      | 1                     | 1                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   |   | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro   | propriamente dito                           | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>                                | <b>3</b>              | <b>3</b>         | Modificável   | 1            |
|   | <b>QIR</b>                                  |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>                      |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>6</b>     |

Tabela 5.5 - Qualidade Individual do Requisito 5 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 5 (R5)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>CP:</b> Nesta fase, o satélite faz seu primeiro contato com o segmento solo, incluindo a primeira transmissão de dados de telemetria e o recebimento dos primeiros telecomandos. Durante esta fase, todos os subsistemas e dispositivos são testados e o subsistema de controle de atitude inicia a manobra do satélite para estabilização da atitude. As cargas úteis também são testadas. O segmento solo confirma a operacionalidade do satélite e o cliente a funcionalidade do segmento espacial, quando será entregue ao cliente e passa-se para a fase seguinte. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite; (todos) os subsistemas e dispositivos; o subsistema de controle de atitude; As cargas úteis; O segmento solo; o cliente                            | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação   | são; será  | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | segmento solo; dados de telemetria; telecomandos;  | 1                     | 0                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação   | faz (primeiro contato); incluindo (primeira transmissão); recebimento (primeiros telecomandos); testados; manobra; estabilização; testadas; confirma; entregue | 1                     | 0                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação  |  | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 0            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade | 0            |
| Refinamento/Destino da ação  |  | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro  | passa-se para a fase seguinte  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>   | <b>4</b>              | <b>0</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 0,00             | Viável        | 0            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>   |                       | 3                | <b>SOMA</b>   | <b>2</b>     |

Tabela 5.6 - Qualidade Individual do Requisito 6 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 6 (R6)</b>   |  |                       |                  |               |              |
|---|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>OP:</b> Nesta fase, dá-se início ao uso operacional das cargas úteis e os testes experimentais. Se possível, esta fase pode ser maior que os dois anos de vida útil do satélite. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | nesta fase   | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação  | dá-se; pode;   | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | cargas úteis; testes experimentais; dois anos de vida útil | 1                     | 1                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação  | início; pode;  | 1                     | 0                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação   | se possível; maior   | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   |  | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro   |  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>   | <b>5</b>              | <b>1</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>   |                       | 0,20             | Viável        | 0            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>                                     |                       | 1                | <b>SOMA</b>   | <b>4</b>     |

Tabela 5.7 - Qualidade Individual do Requisito 7 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 7 (R7)</b>   |   |                       |                  |               |              |
|---|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>DP:</b> Se a vida útil do satélite expirou e o cliente decidir por descartá-lo é assinado um termo de descarte. Com este evento a fase de descarte é iniciada. Se necessário, uma manobra orbital deverá ser executada e todo o satélite descartado. Não mais do que em 25 anos o satélite entrará na atmosfera terrestre e será queimado. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | o satélite; o cliente; evento; manobra orbital                        | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação  | é; deverá ser;  | 1                     | 0                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação  | vida útil; termo (de descarte); fase de descarte; atmosfera terrestre | 1                     | 0                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação  |   | 0                     | 1                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação   | se necessário   | 1                     | 1                | Não-ambíguo   | 0            |
| Refinamento/Fonte do objeto   | expirou; decidir;   | 0                     | 0                | Conectividade | 0            |
| Refinamento/Destino da ação   | iniciada; descartado; 25 anos; entrará; queimado                      | 1                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro   |   | -                     | -                | Testável      | 0            |
|   | <b>TOTAL</b>  | <b>5</b>              | <b>2</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>  |                       | 0,40             | Viável        | 0            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>  |                       | 3                | <b>SOMA</b>   | <b>0</b>     |

Tabela 5.8 - Qualidade Individual do Requisito 8 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 8 (R8)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de lançamento:</b> Durante o lançamento o satélite permanece no Modo de lançamento. Este modo provê todos os requisitos da fase de lançamento: não há fornecimento de energia elétrica para todos os subsistemas e todos os mecanismos estão seguramente travados. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o lançamento; este modo; (todos) os subsistemas; (todos) os mecanismos | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação   | há; estão  | 1                     | 0                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação   | satélite; modo de lançamento; requisitos; energia elétrica             | 1                     | 0                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação   | durante; fase de lançamento;   | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  |  | 0                     | 1                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | permanece; provê; seguramente travados                                 | 1                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro  |  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>   | <b>5</b>              | <b>2</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>   | 0,40                  |                  | Viável        | 0            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>   | 2                     |                  | <b>SOMA</b>   | <b>4</b>     |

Tabela 5.9 - Qualidade Individual do Requisito 9 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 9 (R9)</b>   |   |                       |                  |               |              |
|---|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de sobrevivência:</b> Após a injeção do satélite seu estado é alterado para o Modo de sobrevivência. Neste modo, a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas. Neste modo todas as cargas úteis (operacionais e experimentais) são desligadas. O mesmo acontece com o ACS (sigla em inglês para Attitude and Control System, isto é, o subsistema de controle de atitude). Neste modo a tarefa do satélite é prover a energia necessária para mantê-lo por uma órbita e para garantir sua habilidade de comunicação. No caso de uma falha (failure) ou mau funcionamento (malfunction) que afete todo o satélite seu estado é alterado automaticamente para o Modo de sobrevivência, independente do estado atual. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | do satélite; neste modo; o ACS;                                 | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação  | estão   | 1                     | 0                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação  | satélite; modo; (habilidade) comunicação; modo de sobrevivência | 1                     | 0                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação  | após injeção; neste modo; independente (do estado atual)        | 1                     | 1                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação   | falha; mau funcionamento; estado atual                          | 1                     | 1                | Não-ambíguo   | 0            |
| Refinamento/Fonte do objeto   | injeção; afete; alterado; mantê-lo; prover                      | 1                     | 0                | Conectividade | 0            |
| Refinamento/Destino da ação   |   | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro   |   | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>  | <b>6</b>              | <b>2</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>  |                       | 0,33             | Viável        | 0            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>  |                       | 3                | <b>SOMA</b>   | <b>1</b>     |

Tabela 5.10 - Qualidade Individual do Requisito 10 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 10 (R10)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de teste:</b> A partir do Modo de sobrevivência o satélite comuta para o Modo de teste. Este modo possibilita que todos os subsistemas e cargas úteis sejam testados antes que o satélite entre em regime de operação. O Modo de teste provê todas as funções ao Modo de sobrevivência e neste modo o primeiro telecomando é recebido. Após este modo o satélite pode ser alterado para o Modo de alinhamento ou Modo de carga útil. A partir deste modo é possível descartá-lo. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | do Modo de sobrevivência; este modo  | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação   | ser; é   | 1                     | 0                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação   | satélite; (todos) os subsistemas; cargas úteis; testados; regime de operação | 1                     | 0                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação   |  | 0                     | 0                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação  | a partir deste modo  | 1                     | 1                | Não-ambíguo   | 0            |
| Refinamento/Fonte do objeto  | comuta; provê; alterado  | 1                     | 0                | Conectividade | 0            |
| Refinamento/Destino da ação  | primeiro telecomando é recebido  | 1                     | 1                | Singularidade | 0            |
| Outro  | para o modo de alinhamento ou modo de carga útil; é possível descartá-lo     | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>   | <b>6</b>              | <b>2</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 0,33             | Viável        | 0            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>   |                       | 3                | <b>SOMA</b>   | <b>1</b>     |

Tabela 5.11 - Qualidade Individual do Requisito 11 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 11 (R11)</b>   |   |                       |                  |               |              |
|---|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de alinhamento:</b> O Modo de alinhamento é para ajuste da posição do satélite (de-tumbling) para sua orientação especificada no sistema de coordenadas de voo. É um modo intermediário entre os modos de teste, de carga útil, do experimental e do operacional ou de propulsão. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | o modo de alinhamento   | 1                     | 1                | Correto       | 0            |
| Ação  | é   | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | satélite;   | 1                     | 1                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação  | alinhamento da posição; sistemas de coordenadas de voo;                                   | 1                     |                  | Claro         | 0            |
| Restrição da ação   |   | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   | ajuste (de posição); orientação; intermediário  | 1                     | 1                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   |   | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro   | entre os modos de teste, de carga útil, do experimental e do operacional ou de propulsão. | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>  | <b>5</b>              | <b>3</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>  | 0,60                  |                  | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>  | 1                     |                  | <b>SOMA</b>   | <b>5</b>     |



Tabela 5.12 - Qualidade Individual do Requisito 12 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 12 (R12)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo operacional:</b> Neste modo, a carga útil experimental é desenergizada (turned off) e apenas a carga útil operacional está habilitada, inclusive os subsistemas. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                                       | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | a carga útil; experimental; carga útil operacional | 1                     | 1                | Correto       | 0            |
| Ação   | está   | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | subsistemas  | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | apenas; inclusive; desenergizada; habilitada       | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  |  | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  |  | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro  |  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>                                       | <b>4</b>              | <b>3</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 0,75             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>                             |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>8</b>     |

Tabela 5.13 - Qualidade Individual do Requisito 13 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 13 (R13)</b>   |   |                       |                  |               |              |
|---|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de propulsão:</b> O subsistema de propulsão é utilizado para a correção de órbita (de-orbiting) e também para a fase de descarte. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>                            | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | o subsistema de produção                | 1                     | 1                | Correto       | 0            |
| Ação  | é                                       | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | correção de órbita;<br>fase de descarte | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  |   | 0                     | 0                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   |   | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |   | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   |   | 0                     | 0                | Singularidade | 1            |
| Outro   | e também                                | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>                            | <b>3</b>              | <b>2</b>         | Modificável   | 1            |
|   | <b>QIR</b>                              | 0,67                  |                  | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>                  | 0                     |                  | <b>SOMA</b>   | <b>9</b>     |

Tabela 5.14 - Qualidade Individual do Requisito 14 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 14 (R14)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de carga útil:</b> Neste modo, habilitado a partir do Modo de alinhamento por um comando de solo, todos os subsistemas do satélite incluindo a carga útil, mas excluindo o sistema de propulsão estão na sua configuração final de operação. Os dados tecnológicos da missão são coletados e transmitidos a Terra durante o período de visibilidade. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                                   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | neste modo; , todos os subsistemas; carga útil | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação   | estão;   | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | propulsão                                      | 1                     | 0                | Consistente   | 0            |
| Condição para ação   | durante o período de visibilidade              | 1                     | 1                | Claro         | 0            |
| Restrição da ação  | excluindo o sistema de propulsão               | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 0            |
| Refinamento/Fonte do objeto  | habilitado; configuração final de operação     | 1                     | 1                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  |  | 0                     | 0                | Singularidade | 1            |
| Outro  |  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>                                   | <b>6</b>              | <b>2</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>                                     |                       | 0,33             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>                         |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>6</b>     |

Tabela 5.15 - Qualidade Individual do Requisito 15 antes da abordagem COFI-ref.

| <b>Requisito 15 (R15)</b>   |   |                       |                  |               |              |
|---|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo experimental:</b> Neste modo, apenas os subsistemas de cargas úteis experimentais estão funcionando. Este modo provê tempo para os experimentos e para os testes, por exemplo, do novo computador de bordo. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>                              | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | subsistemas de cargas úteis experimentais | 1                     | 1                | Correto       | 0            |
| Ação  | estão; provê                              | 1                     | 0                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação  | experimentos; testes                      | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  |   | 0                     | 0                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   |   | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |   | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   | funcionando;                              | 1                     | 1                | Singularidade | 0            |
| Outro   | por exemplo, do novo computador de bordo. | -                     | -                | Testável      | 0            |
|   | <b>TOTAL</b>                              | <b>4</b>              | <b>3</b>         | Modificável   | 1            |
|   | <b>QIR</b>                                | 0,75                  |                  | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>                    | 0                     |                  | <b>SOMA</b>   | <b>6</b>     |

Obtidos os índices de cada requisito, quais sejam, os índices QIRs e os FQs, é possível avaliar o Documento de Especificação dos Requisitos com a aplicação das Equações (5.1), (5.2) e (5.3). Lembrando que o elemento “Outros” não é utilizado como índice de avaliação se tornando meramente informativo.

Na Tabela 5.16 apresentam-se os resultados da análise do conjunto de todos os requisitos. Na primeira coluna mostra-se o acrônimo do **Fator de Qualidade**, enquanto na segunda o seu respectivo significado. Na terceira coluna apresenta-se a soma dos valores de cada FQ de todo o conjunto de requisitos e na quarta a média calculada a partir da equação apresentada em 5.2.

Tabela 5.16 – Resultado da métrica do conjunto de requisitos antes da aplicação da COFI-ref.

| <b>Acrônimo</b> | <b>FQ</b>     | <b>SOMA</b> | <b>Média</b> |
|-----------------|---------------|-------------|--------------|
| FQ1             | Correto       | 0           | 0,00         |
| FQ2             | Completo      | 8           | -1,27        |
| FQ3             | Consistente   | 4           | 0,27         |
| FQ4             | Claro         | 5           | 0,33         |
| FQ5             | Não-ambíguo   | 10          | 0,67         |
| FQ6             | Conectividade | 11          | 0,73         |
| FQ7             | Singularidade | 4           | 0,27         |
| FQ8             | Testável      | 13          | 0,87         |
| FQ9             | Modificável   | 6           | 0,40         |
| FQ10            | Viável        | 8           | 0,53         |

Estes valores foram obtidos aplicando-se os seguintes parâmetros:

- a) O número total de requisitos ( $n$ ) é 15; e
- b) A soma da taxa de omissão é 19.

$$QR = \frac{\sum QIR}{n} \quad (5.4)$$

$$QR = \frac{7,27}{15} = 0,48 \quad (5.5)$$

Na Tabela 5.17 apresentam-se valores usuais fornecidos por Halligan (1993) para classificar os requisitos de acordo com os valores obtidos de seus FQs e do QR.

Tabela 5.17 - Valores típicos obtidos para classificação dos requisitos. Fonte: Halligan (1993).

| FQ   | Conjunto de Requisitos muito ruim. Requer desenvolvimento considerável | Conjunto razoável de requisitos. Pode ser ajustado de acordo com a solicitação ou a Estrutura de Trabalho ( <i>Statement of Work</i> ) | Requisitos de Sistema para Revisão (SRR) podem ser implementados | Requisitos prontos para estabelecer a <i>Baseline</i> do Projeto |
|------|--|--|--|--|
| QR   | 0.01-0.3   | 0.3-0.7  | 0.95-0.99  | 0.99+  |
| FQ1  | 0+9  | 0.98   | 0.99   | 0.99+  |
| FQ2  | -5   | 0  | 0.95   | 0.99+  |
| FQ3  | 0.9  | 0.97   | 0.99   | 0.99+  |
| FQ4  | 0.9  | 0.97   | 0.99   | 0.99+  |
| FQ5  | 0.3  | 0.8  | 0.9  | 0.99+  |
| FQ6  | 0.3  | 0.9  | 0.99   | 0.99+  |
| FQ7  | 0.1  | 0.3  | 0.99+  | 1  |
| FQ8  | 0.1  | 0.7  | 0.99   | 0.99+  |
| FQ9  | 0.1  | 0.5  | 0.99   | 0.99+  |
| FQ10 | 0.95   | 0.99   | 0.99+  | 0.99+  |

No caso da Qualidade dos Requisitos (QR), tem-se que para o Documento de Especificação de Requisitos recebido pela Equipe de V&V o valor obtido na Equação (5.5) o classifica como “*Conjunto razoável de requisitos*”. Importa notar que com o índice QIR obtido para cada requisito em particular, é possível fazer uma análise local para cada requisito, como descrito no próximo item.

### 5.5.2. Aplicação da Métrica de Qualidade de Requisitos após a Abordagem COFI-ref

Os requisitos da versão 1.1 do Documento de Especificação de Requisitos do satélite ITASAT-1 e seus respectivos QIRs são relacionados a seguir.

A métrica foi aplicada a todos os requisitos, quais sejam os redefinidos após a aplicação da abordagem COFI-ref (apresentada no Capítulo 4) e os que não

sofreram alteração. Aqui, são apresentados aqueles requisitos que tiveram alguma modificação, são eles R5, R7, R9 e R10 mais o requisito RMD.Q5. Os valores sobre os requisitos que permaneceram inalterados não são repetidos nas tabelas abaixo. No entanto são levadas em consideração no cálculo final.

Os resultados são apresentados como se seguem, lembrando que as informações das tabelas estão padronizadas e apresentam os componentes descritos anteriormente.

Tabela 5.18 - Qualidade Individual do Requisito 5 A após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 5 A (R5.A)</b>   |   |                       |                  |               |              |
|---|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>CP:</b> Nesta fase, o satélite deve transitar para o Modo de teste e iniciar os testes de: |   |                       |                  |               |              |
| a) Subsistemas de cargas úteis; e   |   |                       |                  |               |              |
| b) Subsistemas da plataforma.   |   |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais.              |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | o satélite  | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação  | deve  | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | subsistemas de cargas úteis;<br>subsistemas da plataforma           | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | Modo de teste;<br>transitar; iniciar                                | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   |   | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |   | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   | Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais. | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro   | Nesta fase  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>  | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|   | <b>QIR</b>  |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>  |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |

Tabela 5.19 - Qualidade Individual do Requisito 5 B após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 5 B (R5.B)</b>   |                                 |                       |                  |               |              |
|---|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>CP:</b> Nesta fase, o subsistema de controle de atitude deve iniciar a manobra do satélite para sua estabilização. |                                 |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>                    | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | o subsistema                    | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação  | deve                            | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | estabilização                   | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | controle de atitude;<br>iniciar | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   |                                 | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |                                 | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   | manobra                         | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro   | Nesta fase                      | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>                    | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|   | <b>QIR</b>                      |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>          |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |



Tabela 5.20 - Qualidade Individual do Requisito 5 C após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 5 C (R5.C)</b>   |                               |                       |                  |               |              |
|---|-------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>CP:</b> Nesta fase, o satélite deve efetuar a primeira transmissão para o segmento solo com os seguintes dados de telemetria:<br>a) A definir. |                               |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>                  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | o satélite                    | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação  | deve                          | 1                     | 1                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação  | segmento solo                 | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | efetuar; primeira transmissão | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   | A definir                     | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |                               | 0                     | 0                | Conectividade | 0            |
| Refinamento/Destino da ação   | dados de telemetria           | 1                     | 1                | Singularidade | 0            |
| Outro   | Nesta fase                    | -                     | -                | Testável      | 0            |
|   | <b>TOTAL</b>                  | <b>6</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>                    |                       | 0,83             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>        |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>5</b>     |

Tabela 5.21 - Qualidade Individual do Requisito 5 D após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 5 D (R5.D)</b>  |                               |                       |                  |               |              |
|--|-------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>CP:</b> Nesta fase, o satélite deve receber a primeira transmissão do segmento solo com os seguintes dados de telecomando:<br>a) A definir. |                               |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite                    | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve                          | 1                     | 1                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação   | segmento solo                 | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | receber; primeira transmissão | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  | A definir                     | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |                               | 0                     | 0                | Conectividade | 0            |
| Refinamento/Destino da ação  | dados de telecomando          | 1                     | 1                | Singularidade | 0            |
| Outro  | Nesta fase                    | -                     | -                | Testável      | 0            |
|  | <b>TOTAL</b>                  | <b>6</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>                    |                       | 0,83             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>        |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>5</b>     |

Tabela 5.21 - Qualidade Individual do Requisito 5 E após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 5 E (R5.E)</b>  |  |                       |                  |                    |              |
|--|--|-----------------------|------------------|--------------------|--------------|
| <b>CP:</b> Após o recebimento de telemetria o segmento solo deve confirmar a operacionalidade do satélite. Neste momento o cliente deve atestar a funcionalidade do segmento espacial. |  |                       |                  |                    |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>          | <b>Valor</b> |
| Ator   | o segmento solo;<br>neste momento                                      | 1                     | 1                | Correto            | 1            |
| Ação   | deve   | 1                     | 1                | Completo           | 1            |
| Objeto da ação   | operacionabilidade<br>do satélite;<br>segmento espacial                | 1                     | 1                | Consistente        | 1            |
| Condição para ação   | recebimento de<br>telemetria;<br>confirmar; atestar;<br>funcionalidade | 1                     | 1                | Claro              | 1            |
| Restrição da ação  |  | 0                     | 0                | Não-ambíguo        | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade      | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  |  | 0                     | 0                | Singularidade      | 1            |
| Outro  |  | -                     | -                | Testável           | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>   | <b>4</b>              | <b>4</b>         | <b>Modificável</b> | <b>1</b>     |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 1,00             | <b>Viável</b>      | <b>1</b>     |
|  | <b>Taxa de omissão</b>   |                       | 0                | <b>SOMA</b>        | <b>10</b>    |

Tabela 5.23 - Qualidade Individual do Requisito 5 E.1 após aplicação da COFI-ref..

| <b>Requisito 5 E.1 (R5.E.1)</b>   |                                  |                       |                  |               |              |
|---|----------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>CP:</b> Após o aceite do cliente esta fase é finalizada e a Missão passa para a fase seguinte. |                                  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>                     | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | esta fase                        | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação  | é                                | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | a Missão                         | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | aceite do cliente;<br>finalizada | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   |                                  | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |                                  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   | para a fase seguinte             | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro   |                                  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>                     | <b>5</b>              | <b>4</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>                       |                       | 0,80             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>           |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>9</b>     |

Tabela 5.24 - Qualidade Individual do Requisito 7 A após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 7 A (R7.A)</b>  |                                 |                       |                  |               |              |
|--|---------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>DP:</b> Ao expirar a vida útil do satélite o cliente deve assinar um termo de descarte. |                                 |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                    | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o cliente                       | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve                            | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | termo de descarte               | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | expirar a vida útil;<br>assinar | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  |                                 | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  | do satélite                     | 1                     | 1                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  |                                 | 0                     | 0                | Singularidade | 1            |
| Outro  |                                 | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>                    | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>                      |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>          |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |

Tabela 5.25 - Qualidade Individual do Requisito 7 B após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 7 B (R7.B)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>DP:</b> Ao assinar o termo de descarte a fase de descarte deve ser iniciada.  |  |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Se necessário uma manobra orbital deve ser executada. Esta manobra pode ser executada a partir de qualquer modo de operação exceto o Modo de sobrevivência. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | a fase de descarte;<br>uma manobra orbital; Esta manobra | 1                     | 0                | Correto       | 0            |
| Ação   | deve   | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | termo de descarte;<br>modo de operação                   | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | Ao assinar; ser iniciada; ser executada;                 | 1                     | 0                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  | Se necessário; exceto                                    | 1                     | 1                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | de qualquer modo   | 1                     | 1                | Singularidade | 0            |
| Outro  |  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>   | <b>6</b>              | <b>4</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 0,67             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>                                   |                       | 1                | <b>SOMA</b>   | <b>7</b>     |

Tabela 5.26 - Qualidade Individual do Requisito 7 C após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 7 C (R7.C)</b>  |                                       |                       |                  |               |              |
|--|---------------------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>DP:</b> O satélite deve permanecer em órbita por no máximo em 25 anos.  |                                       |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Após este período o satélite deve entrar na atmosfera terrestre. Esta ação fará com que o satélite seja queimado. |                                       |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                          | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite; esta ação                 | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve ; fará                           | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | em órbita; na atmosfera terrestre     | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | permanecer; entrar; máximo em 25 anos | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  |                                       | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |                                       | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | este período; queimado                | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro  |                                       | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>                          | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>                            |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>                |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |

Tabela 5.27 - Qualidade Individual do Requisito 9 A após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 9 A (R9.A)</b>  |                          |                       |                  |               |              |
|--|--------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de sobrevivência:</b> Este modo deve ser ativado após a injeção em órbita do satélite. |                          |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Neste modo a atitude do satélite e sua taxa de rotação são indefinidas.           |                          |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>             | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | este modo; a altitude    | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve ser; são            | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | do satélite              | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | ativado; taxa de rotação | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  | indefinidas              | 1                     | 1                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |                          | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | injeção em órbita        | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro  |                          | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>             | <b>6</b>              | <b>6</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>               |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>   |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |



Tabela 5.28 - Qualidade Individual do Requisito 9 B após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 9 B (R9.B)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de sobrevivência:</b> Neste modo os seguintes subsistemas e serviços devem ser desligados: |  |                       |                  |               |              |
| a) Subsistemas de cargas úteis; e  |  |                       |                  |               |              |
| b) Subsistema de Controle de Atitude.  |  |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais                    |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | subsistemas e serviços   | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | devem  | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | subsistemas de cargas úteis; subsistema de controle de atitude     | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | ser desligados   | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  |  | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro  | Neste Modo   | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>   | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>   |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |

Tabela 5.29 - Qualidade Individual do Requisito 9 C após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 9 C (R9.C)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de sobrevivência:</b> Neste modo o satélite deve prover a energia necessária para: |  |                       |                  |               |              |
| a) Permanecer em órbita; e   |  |                       |                  |               |              |
| b) Garantir sua habilidade de comunicação com o segmento solo.                             |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite   | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve   | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | energia  | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | prover; necessária   | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  |  | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | permanecer em órbita; garantir sua habilidade de comunicação com o segmento solo | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro  | Neste modo   | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>   | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>   |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |

Tabela 5.30 - Qualidade Individual do Requisito 9 D após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 9 D (R9.D)</b>   |  |                       |                  |               |              |
|---|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de sobrevivência:</b> Neste modo, ao haver uma falha ou mau funcionamento que afete todo o satélite o seu estado é alterado automaticamente para o Modo de Sobrevivência. |  |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Independentemente do estado atual do satélite, o Modo de Sobrevivência deve ser ativado.   |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>                                 | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | neste modo; o Modo de Sobrevivência          | 1                     | 1                | Correto       | 0            |
| Ação  | é ; deve                                     | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | todo o satélite; do satélite                 | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | alterado; ser ativado                        | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   | uma falha ou mau funcionamento; estado atual | 1                     | 1                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   | seu estado                                   | 1                     | 1                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   | automaticamente para o Modo de Sobrevivência | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro   |  | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>                                 | <b>7</b>              | <b>6</b>         | Modificável   | 1            |
|   | <b>QIR</b>                                   |                       | 0,86             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>                       |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>9</b>     |

Tabela 5.31 - Qualidade Individual do Requisito 10 A após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 10 A (R10.A)</b>                                       |                        |                       |                  |               |              |
|---|------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de teste:</b> Neste modo o primeiro telecomando é recebido. |                        |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>           | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | Neste modo             | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação  | é                      | 1                     | 0                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | primeiro telecomando   | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | recebido               | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   |                        | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |                        | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   |                        | 0                     | 0                | Singularidade | 1            |
| Outro   |                        | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>           | <b>4</b>              | <b>3</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>             |                       | 0,75             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b> |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>9</b>     |

Tabela 5.32 - Qualidade Individual do Requisito 10 B após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 10 B (R10.B)</b>   |                            |                       |                  |               |              |
|---|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de teste:</b> Neste modo, todas as funções do satélite devem ser fornecidas ao iniciar o Modo de sobrevivência. |                            |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>               | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | do satélite                | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação  | devem                      | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação  | todas as funções           | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | ao iniciar; ser fornecidas | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   |                            | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |                            | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação   | modo de satélite           | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro   |                            | -                     | -                | Testável      | 1            |
|   | <b>TOTAL</b>               | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|   | <b>QIR</b>                 |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>     |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |

Tabela 5.33 - Qualidade Individual do Requisito 10 B.1 após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 10 B.1 (R10.B.1)</b>   |  |                       |                  |               |              |
|---|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de teste:</b> Neste modo, ao receber um comando de descarte o satélite deve passar para o Modo de sobrevivência. (A DEFINIR). |  |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Se necessário, deve executar uma manobra de correção de órbita (A DEFINIR).  |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>   | <b>Texto</b>   | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator  | o satélite   | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação  | deve   | 1                     | 1                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação  | Modo de sobrevivência; uma manobra                                 | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação  | receber; comando de descarte; correção de órbita; passar; executar | 1                     | 0                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação   | a definir; se necessário   | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto   |  | 0                     | 0                | Conectividade | 0            |
| Refinamento/Destino da ação   |  | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro   |  | -                     | -                | Testável      | 0            |
|   | <b>TOTAL</b>   | <b>5</b>              | <b>3</b>         | Modificável   | 0            |
|   | <b>QIR</b>   |                       | 0,60             | Viável        | 1            |
|   | <b>Taxa de omissão</b>   |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>5</b>     |

Tabela 5.34 - Qualidade Individual do Requisito 10 C após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 10 C (R10.C)</b>  |                         |                       |                  |               |              |
|--|-------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de teste:</b> Este modo deve ser ativado somente após (A DEFINIR) o Modo de sobrevivência. |                         |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>            | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | este modo               | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve                    | 1                     | 1                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação   | Modo de sobrevivência   | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | ser ativado;            | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  | somente após; a definir | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |                         | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  |                         | 0                     | 0                | Singularidade | 1            |
| Outro  |                         | -                     | -                | Testável      | 0            |
|  | <b>TOTAL</b>            | <b>5</b>              | <b>4</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>              |                       | 0,80             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>  |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>7</b>     |

Tabela 5.35 - Qualidade Individual do Requisito 10 D após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 10 D (R10.D)</b>  |  |                       |                  |               |              |
|--|--|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de teste:</b> Neste modo, ao receber um comando de descarte o satélite deve passar para o Modo de alinhamento para realizar a manobra de correção de órbita (A DEFINIR). |  |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                                       | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite   | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve   | 1                     | 1                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação   | comando de descarte; manobra de correção de órbita | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | receber um comando; realizar                       | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  | a definir  | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |  | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  |  | 0                     | 0                | Singularidade | 0            |
| Outro  |  | -                     | -                | Testável      | 0            |
|  | <b>TOTAL</b>                                       | <b>5</b>              | <b>4</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>   |                       | 0,80             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>                             |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>6</b>     |



Tabela 5.36 - Qualidade Individual do Requisito 10 E após aplicação da COFI-ref.

| <b>Requisito 10 E (R10.E)</b>  |   |                       |                  |               |              |
|--|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| <b>Modo de teste:</b> Neste modo, após o satélite ser testado deve ser possível iniciar os seguintes modos de operação:<br>a) Modo de alinhamento; e<br>b) Modo de carga útil. |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>                            | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite                              | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve                                    | 1                     | 1                | Completo      | 1            |
| Objeto da ação   | seguintes modos de operação             | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | ser testado; possível iniciar           | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  |   | 0                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |   | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | modo de alinhamento; modo de carga útil | 1                     | 1                | Singularidade | 1            |
| Outro  |   | -                     | -                | Testável      | 1            |
|  | <b>TOTAL</b>                            | <b>5</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 1            |
|  | <b>QIR</b>                              |                       | 1,00             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>                  |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>10</b>    |

Tabela 5.37 - Qualidade Individual do Requisito RMD.Q5.A após aplicação da COFI-ref.

| <b>RMD.Q5.A</b>  |   |                       |                  |               |              |
|--|---|-----------------------|------------------|---------------|--------------|
| No satélite, ao identificar uma falha ou mau funcionamento se for possível mantê-lo estável com algum dos subsistemas de cargas úteis, ele deve iniciar o respectivo modo de carga útil não afetado (A DEFINIR). |   |                       |                  |               |              |
| <b>Nota:</b> Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais.   |   |                       |                  |               |              |
| <b>Elemento</b>  | <b>Texto</b>  | <b>Aplicabilidade</b> | <b>Pontuação</b> | <b>FQ</b>     | <b>Valor</b> |
| Ator   | o satélite  | 1                     | 1                | Correto       | 1            |
| Ação   | deve  | 1                     | 1                | Completo      | 0            |
| Objeto da ação   | algum dos subsistemas de cargas úteis   | 1                     | 1                | Consistente   | 1            |
| Condição para ação   | identificar; iniciar; o respectivo; não afetado   | 1                     | 1                | Claro         | 1            |
| Restrição da ação  | uma falha ou mau funcionamento; a definir   | 1                     | 0                | Não-ambíguo   | 1            |
| Refinamento/Fonte do objeto  |   | 0                     | 0                | Conectividade | 1            |
| Refinamento/Destino da ação  | modo de carga útil; Entende-se por cargas úteis as cargas operacionais e experimentais. | 1                     | 1                | Singularidade | 0            |
| Outro  |   | -                     | -                | Testável      | 0            |
|  | <b>TOTAL</b>  | <b>6</b>              | <b>5</b>         | Modificável   | 0            |
|  | <b>QIR</b>  |                       | 0,83             | Viável        | 1            |
|  | <b>Taxa de omissão</b>  |                       | 0                | <b>SOMA</b>   | <b>6</b>     |

Para o cálculo da métrica, os seguintes parâmetros foram utilizados:

- a) O número total de requisitos avaliados foi de 31, sendo 20 requisitos modificados e/ou incluídos mais 11 requisitos não modificados; e
- b) A soma da taxa de omissão é 8.0.

O índice de QIR de cada requisito é apresentado na Tabela 5.38, a qual mostra, na primeira coluna o fator de qualidade, enquanto na segunda seu respectivo significado. A terceira coluna apresenta a soma de todas as métricas e a quarta a média calculada a partir da Equação (5.2). Estes valores foram obtidos aplicando as Equações (5.1), (5.2) e (5.3).

Tabela 5.38 – Resultado da métrica do conjunto de requisitos após a aplicação da COFI-ref.

| <b>Acrônimo</b> | <b>FQ</b>     | <b>Soma</b> | <b>MÉDIA</b> |
|-----------------|---------------|-------------|--------------|
| FQ1             | Correto       | 18          | 0,58         |
| FQ2             | Completo      | 21          | 0,32         |
| FQ3             | Consistente   | 24          | 0,77         |
| FQ4             | Claro         | 25          | 0,81         |
| FQ5             | Não-ambíguo   | 30          | 0,97         |
| FQ6             | Conectividade | 28          | 0,90         |
| FQ7             | Singularidade | 18          | 0,58         |
| FQ8             | Testável      | 24          | 0,77         |
| FQ9             | Modificável   | 17          | 0,55         |
| FQ10            | Viável        | 28          | 0,90         |

O cálculo para QR é realizado substituindo os parâmetros da Equação (5.1):

$$QR = \frac{23,97}{31} = 0,77 \quad (5.6)$$

De acordo com a Tabela 5.38 e o valor obtido na Equação (5.6) do Documento de Especificação de Requisitos de Missão do satélite ITASAT-1, versão 1.1, é classificado como “*Requisitos de Sistema para Revisão (SRR) podem ser implementados*”.

## **5.6. Comparação entre os resultados obtidos da aplicação da métrica de qualidade de requisitos antes e após o uso da abordagem COFI-ref**

Com base nas médias obtidas para cada Fator de Qualidade (FQ), a Tabela 5.39 apresenta os resultados obtidos do conjunto de todos os requisitos especificados no documento original, versão 1.0 e documento versão 1.1, após a aplicação da COFI-ref. Na primeira coluna, é apresentado o acrônimo utilizado para cada Fator de Qualidade, cujo sua descrição aparece na segunda coluna. Na terceira coluna, caracterizada como “Antes” apresenta a média do QIR no documento de especificação do satélite ITASAT-1 versão 1.0. Na quarta coluna, apresenta a média do QIR após o refinamento dos requisitos pela abordagem COFI-ref do documento de especificação do satélite ITASAT-1, versão 1.1.

Tabela 5.39 - Comparação entre as medidas de QIR antes e após a COFI-ref.

|                 |               | <b>Médias</b> |               |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Acrônimo</b> | <b>FQs</b>    | <b>Antes</b>  | <b>Depois</b> |
| FQ1             | Correto       | 0             | 0,58          |
| FQ2             | Completo      | -1,27         | 0,32          |
| FQ3             | Consistente   | 0,27          | 0,77          |
| FQ4             | Claro         | 0,33          | 0,81          |
| FQ5             | Não-ambíguo   | 0,67          | 0,97          |
| FQ6             | Conectividade | 0,73          | 0,90          |
| FQ7             | Singularidade | 0,27          | 0,58          |
| FQ8             | Testável      | 0,87          | 0,77          |
| FQ9             | Modificável   | 0,40          | 0,55          |
| FQ10            | Viável        | 0,53          | 0,90          |

Inicialmente observa-se que para grande parte dos valores obtidos houve um aumento considerável após a aplicação da CoFI-ref ao documento de requisitos. Dado a importância destes resultados, os fatores de qualidade são discutidos um a um, como se segue:

### **Correto (FQ1)**

O valor 0 (zero) obtido para este fator **antes** da aplicação da COFI-ref implica em admitir que todos os requisitos estavam incorretos, uma vez que todos os requisitos apresentados nas tabelas 5.1 a 5.15 foram pontuados com o valor 0

(zero). Já, **após** a aplicação da COFI-ref o valor obtido foi de 0.58, elevando consideravelmente o atributo dos requisitos de estarem corretos. Este valor só não foi maior, pois houve requisitos que não foram refinados, isto é, os requisitos que não responderam às questões elaboradas no Passo 4 da abordagem COFI-ref continuaram com o valor 0 (zero), pesando no cálculo do QIR. Para estes requisitos que não responderam às questões, julga-se, inicialmente que não houve necessidade de refiná-los. No entanto, se as Equipes envolvidas identificarem que uma nova versão do documento é necessária a COFI-ref é aplicada a partir no Documento de Especificação de Requisitos versão 1.1, dando origem ao documento 1.2 e assim sucessivamente.

### **Completo (FQ2)**

Antes de concluir acerca dos dois resultados (-1,7 e 0,32) vale ressaltar o porquê deste fator poder se apresentar como um número negativo. Repare que na equação (5.3), para cada fator FQ2 calculado com base no atributo do requisito de ser Correto (FQ1) é subtraído a taxa de omissão (para  $i$  variando de 1 até o total de requisitos avaliados -  $n$ ), isto é, quanto menor o valor de FQ1, maior será FQ2, respeitando a proporcionalidade da taxa de omissão. Portanto, o Fator de Qualidade Completo é calculado levando em consideração o atributo do requisito de ser Correto (FQ1) e a taxa de omissão, justamente porque, para um requisito ser completo ele deve, necessariamente, estar Correto (ter sido previamente pontuado como correto ou incorreto). Desta forma, observa-se um considerável aumento obtido neste Fator de Qualidade **após** a aplicação da COFI-ref.

### **Consistente (FQ3)**

Este fator indica que o requisito não entra em conflito com nenhum outro ou qualquer elemento em sua estrutura. O resultado mostra que o refinamento da COFI-ref pôde identificar de maneira mais precisa os elementos que compõem a estrutura do requisito.

#### **Claro (FQ4)**

Uma vez que este fator indica o nível de compreensão que se tem do requisito mesmo sem uma análise semântica da oração, mostra que o refinamento melhorou a qualidade dos requisitos. Esta melhoria se deu, pois foi identificado no documento original, versão 1.0, que muitos requisitos estavam agregados em um só. A partir do refinamento estes requisitos foram desmembrados em uma ou mais sentenças, como é o caso, pro exemplo, do requisito R5 em que, a partir deste, foram elaborados os requisitos R5.A, R5.B, R5.C, R5.D, R5.E e R5.E1.

#### **Não-Ambíguo (FQ5)**

Este Fator de Qualidade foi aumentado em 0,3 pontos. Este fator é utilizado para identificar requisitos que possuem apenas uma interpretação semântica. Como o valor obtido **antes** da aplicação da COFI-ref é consideravelmente alto (maior que 0,5) percebe-se que no documento original, versão 1.0, os requisitos se apresentavam de maneira relativamente clara (ver FQ4). Já, **após** o refinamento com a COFI-ref, obteve-se um valor de 0,97. Consta-se que os requisitos foram mais esclarecedores, justamente pelo motivo do fator FQ4, em que um requisito deu origem a outros.

#### **Conectividade (FQ6)**

O aumento deste fator foi de apenas 0,17 pontos. Este Fator de Qualidade mostra o quanto os termos do requisito estão adequadamente interligados entre si e entre o conjunto total de requisitos. **Antes** da aplicação da COFI-ref percebe-se, com a classificação dos requisitos nos oito elementos da análise sintática, foram proveitosos, porém, **após** o refinamento estes termos passaram a ser melhores distribuídos e, por conseguinte, identificados.

#### **Singularidade (FQ7)**

Este fator refere-se à unicidade do requisito. Possui relação direta com a taxa de omissão e com a qualidade do requisito de especificar apenas uma solução.

O valor obtido **antes** da aplicação da COFI-ref foi pequeno, apenas 0,27 pontos. Já, **após** o refinamento obteve um valor de 0,58, expressando grande melhoria, pois seus termos foram identificados e classificados a partir dos oito elementos da análise sintática de maneira mais eficaz. Pode-se buscar melhorar este resultado aplicando novamente a abordagem COFI-ref no Documento de Especificação de Requisitos versão 1.1, pois além dos novos requisitos elaborados e modificados ainda há aqueles que não passaram pelo refinamento.

### **Testável (FQ8)**

Este Fator de Qualidade é o mais significativo a ser analisado, pois **após** a COFI-ref o resultado obtido foi menor. Isso se deve ao fato de ao refinar os requisitos, novos requisitos foram propostos, o que fez aumentar o número total de requisitos, adicionalmente, surgiram expressões do tipo “A definir”. Requisitos com tal expressão foram deixados para que a Equipe de Engenharia de Sistemas do ITASAT-1 complementasse as informações faltantes no documento de requisitos.

### **Modificável (FQ9)**

Este fator está diretamente relacionado a necessidade do requisito em sofrer alterações. Considerando as diferenças dos valores obtidos em FQ4 e FQ5 **antes** e **após** a COFI-ref percebemos que, mesmo a partir de indefinições apresentadas (a exemplo da expressão “A definir”), o resultado melhorou. Esta melhoria na qualidade do requisito se deu por dois motivos: (i) o número de requisitos aumentou (cita-se a explicação em FQ4); e (ii) o índice QIR é calculado a partir da média do conjunto de requisitos. Por isso a diferença entre **antes** e **após** foi de 0,15 pontos, pois com o refinamento ainda há requisitos que devem ser modificados.

### **Viável (FQ10)**

Este fator está relacionado a capacidade do requisito de lidar com restrições, seja ela física, natural ou de projeto. Com o refinamento obteve-se uma melhoria na qualidade de 0,37 pontos. Esta melhoria é diretamente proporcional à compreensão dos requisitos.

Finalizado a discussão dos dez Fatores de Qualidade de ambas as versões do Documento de Especificação de Requisitos podemos refletir sobre o índice geral (QR) obtido a partir do cálculo do documento como um todo.

O valor obtido da comparação entre as duas versões do Documento de Especificação de Requisitos com a equação (5.8) **antes** da COFI-ref foi de 0,48 pontos, enquanto **após** a abordagem o valor foi de 0,77. Houve uma melhoria em torno de 30% se considerarmos o documento como um todo. Ainda que há a avaliação individual de cada requisitos expressada pelo índice QIR. Dado que muitos requisitos novos ficaram com a expressão, “a definir” significando que faltam informações para se completar a especificação e caberá a Equipe responsável, julgar a necessidade ou não de se aplicar a abordagem COFI-ref, como ilustrado na Figura 3.1.

Cabe observar que todos os passos apresentados nesta dissertação foram realizados pelo autor deste trabalho. O cálculo de qualidade apresentado neste Capítulo foi estudado e realizado após a aplicação da abordagem COFI-ref no estudo de caso real descrito no Capítulo 4. De modo que o refinamento dos requisitos não levou em conta como e o que seria medido para efeito de comparação, ou seja, a métrica não era praticada pelo autor até que fora aplicada ao refinamento. Isso nos permite afirmar que não houve influência do método de avaliação sobre a redefinição dos requisitos.



## **6. CONCLUSÃO**

Neste Capítulo é apresentado, primeiramente, um histórico do desenvolvimento desta dissertação. Logo em seguida as principais contribuições da abordagem COFI-ref e de suas limitações e, por fim, as extensões futuras vislumbradas.

### **6.1.Histórico**

Nesta dissertação foi desenvolvida uma abordagem para o refinamento de requisitos denominada COFI-ref. Esta abordagem consta de uma adaptação da metodologia para geração de casos de testes para sistemas espaciais, a COFI que combina os conceitos de teste de conformidade e injeção de falhas.

A proposta desta dissertação, a de se definir uma abordagem para melhoria da qualidade de requisitos destinada a refinar – no que diz respeito à completude, à clareza e à ausência de ambigüidade - um conjunto de requisitos, surgiu da necessidade de se melhorar o Documento de Especificação de Requisitos do satélite ITASAT-1 durante as fases iniciais do ciclo de desenvolvimento desta missão espacial. Necessidade esta identificada pela Equipe de Verificação e Validação do Grupo de Engenharia de Sistemas do Programa ITASAT.

No âmbito do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE, 2005), o Brasil necessita cada vez mais de soluções tecnológicas para alavancar as missões de satélites, de cargas úteis suborbitais, de balões para Observação da Terra, de Meteorologia, de Ciências Espaciais e de Telecomunicações. O INPE, como um dos principais executores das políticas nacionais voltadas ao PNAE, possui um profundo interesse nos trabalhos de pesquisas desenvolvidos em seus departamentos.

O autor desta dissertação teve oportunidade de desenvolver diversos trabalhos no INPE. Passou pelas áreas de Computação Aplicada com trabalhos na área de robótica e inteligência artificial (MORAIS et al., 2005, MURALIKRISHNA et

al., 2005), no Departamento de Mecânica Espacial e Controle com atividades na área de sistemas reativos e processamento digital de imagens (ARAUJO; MORAIS 2008; MORAIS; ARAUJO, 2009) e de Engenharia e Tecnologias Espaciais com atividades na área de desenvolvimento de software de solo, engenharia de software e de sistemas. Trabalhou ainda com aplicação da metodologia de teste COFI em um trabalho experimental junto com o grupo da Prof. Dra. Emília Villani da Divisão de Engenharia Mecânica- Aeronáutica do ITA (MORAIS et al., 2009; PONTES et al., 2009). Com esta experiência integrou a Equipe de Engenharia de Sistemas do Programa ITASAT, onde o caso de estudo prático utilizado neste trabalho (ver Capítulo 4) foi parte das atividades de verificação das fases iniciais de revisão de Projeto, citam-se a *Mission Description Review* (MDR) e a *Preliminary Requirements Review* (PRR).

Com trabalhos desenvolvidos em diferentes áreas do INPE associados à orientação da Professora Dra. Ana Maria Ambrosio, encontrou-se a viabilidade latente de se desenvolver uma abordagem de melhoria de requisitos na área de V&V que suprisse a necessidade do caso de estudo apresentado no Capítulo 4. O fato de o ITASAT-1 estar em suas fases iniciais de projeto foi possível contribuir para seu desenvolvimento e para suas revisões (MDR e PRR).

## **6.2. Contribuições**

Este trabalho está inserido no contexto de aplicações espaciais. Ao longo de seu desenvolvimento mostrou-se viável ser implantado tanto no âmbito da Engenharia de Sistemas (estudo de caso apresentado no Capítulo 4) quanto da Engenharia de Software (estudo de caso apresentado no Capítulo 3), uma vez que ambas contêm a área de Engenharia de Requisitos.

Com os resultados obtidos neste trabalho podemos inferir as seguintes contribuições:

- a) Definição de uma abordagem para o auxílio a escrita de requisitos durante as fases iniciais do ciclo de desenvolvimento de um sistema ou de um software;
- b) Utilização de uma métrica de qualidade de requisitos para comparar os resultados obtidos com a aplicação da abordagem COFI-ref;
- c) Consolidação no desenvolvimento da COFI-ref, cuja sistemática facilita a expressão das necessidades do usuário e a comunicação entre todos os envolvidos. Sendo a metodologia COFI desenvolvida do ponto de vista do usuário a COFI-ref herda esta visão.
- d) Contribuições científicas e técnicas, aplicada a um projeto de desenvolvimento de satélite real, o satélite universitário ITASAT-1.

Esta dissertação abordou, ainda, a relação existente entre a modelagem - representação do conhecimento - criando pontes entre modelos formais e estruturas da linguagem textual. Além disso, permitiu conduzir estudos e pesquisas com resultados publicados no âmbito da área de concentração de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, do curso de pós-graduação da ETE do INPE.

A COFI-ref colabora ainda com a capacidade do usuário em interagir com o arquiteto de sistemas ou analista de negócios durante a fase do ciclo de vida do requisito (ver Figura 1.1), uma vez que a abordagem é desenvolvida a partir do ponto de vista do próprio usuário.

### 6.3.Limitações

A abordagem COFI-ref possui certas limitações quanto ao seu uso, uma vez que o nível de conhecimento técnico do analista responsável sobre o sistema pode influir nos resultados obtidos a partir de seu desenvolvimento.

Outra limitação refere-se aos passos da metodologia, pois dependendo do Sistema Em Especificação estas tarefas podem ser complexas, já que são desenvolvidas de modo manual.

### 6.4.Trabalhos Futuros

Trabalhos futuros indicam a utilização desta abordagem nas especificações de requisitos para operações de segmento solo de missões de satélites, visando qualificar a sistemática nos diferentes setores que compõem uma missão aeroespacial, atendendo aos interesses do INPE e aos do grupo de trabalho.

Com relação às limitações do uso da COFI-ref, entende-se que ao automatizar certos passos desta abordagem seja possível suprir necessidades inicialmente aparentes. Explora-se a possibilidade de se automatizar os passos referentes às etapas de especificação, modelagem e gestão de requisitos, sendo possível ainda integrar diferentes ferramentas já existentes.

Esta dissertação termina aqui, porém, a médio e longo prazo a COFI-ref poderá ser aplicada em diferentes áreas como transações financeiras, sistemas de informação e de automação industrial, de modo que possa ser possível contribuir para a ciência e para as engenharias com as comparações avaliadas e resultados obtidos. Ficando ainda a questão:

Quanto esta abordagem ajuda o **usuário** a modificar/melhorar os requisitos?

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) 2005-2014**. Brasília, DF, 2005.

AMBROSIO, A. M. **COFI**: uma abordagem combinando teste de conformidade e injeção de falhas para validação de software em aplicações espaciais. 2005. 209 p. (INPE-13264-TDI/1031). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.06.13.34>>. Acesso em 30 dezembro 2010.

AMBROSIO, A. M.; MARTINS, E.; VIJAYKUMAR, N. L.; CARVALHO, S. V. CoFI: a test process for space application service validation. In: WORKSHOP DOS CURSOS DE COMPUTAÇÃO APLICADA DO INPE, 4. (WORCAP), 2004, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2004. CD-ROM, On-line. (INPE-11622-PRE/7003). Disponível em: <<http://urlib.net/lac.inpe.br/worcap/2004/10.05.15.09>>. Acesso em: 30 dezembro 2010.

AMBROSIO, A. M.; MATTIELO-FRANCISCO, M. F.; MARTINS, E. An Independent Software Verification and Validation Process for Space Applications. In: CONFERENCE ON SPACE OPERATIONS 9., (SPACEOPS 2008), 2008, Hidelberg. **Proceedings...** 2008. p. 9. CD-ROM. (INPE-15303-PRE/10112). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m16@80/2008/06.18.15.35>>. Acesso em: 30 dezembro 2010.

AYDAL, E. G., PAIGE, R. F., UTTING, M.; WOODCOCK, J.). Putting formal specifications under the magnifying glass: Model-based for Validation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE TESTING VERIFICATION, AND VALIDATION, 2., 2009, Denver. **Proceedings...**, Denver, Colorado, USA: IEEE, 2009.

CAVALCANTI, A. R.; MALDONADO, J. C.; WEBER, K. C. **Qualidade de software**: teoria e prática: gerenciando a qualidade de software com base em requisitos. São Paulo: Prentice-Hall Inc., 2001.

CYBULSKI, J. L. Automatic refinement of user requirements: a case study in software tool evaluation. In: AUSTRALASIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS, 13., Melbourne. **Proceedings...** Melbourne, Australia: Victoria University 2002. pp. 757-771.

DARIMONT, R. and VAN LAMSWEERDE, A. Formal refinement patterns for goal-driven requirements elaboration. **SIGSOFT Software Engineering Notes**, v. 21, p. 179-190, 1996.

DE JONG E.; JACO van de Pol, HOOMAN J. Refinement in Requirements Specification and Analysis: a Case Study. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE AND WORKSHOP ON THE ENGINEERING OF COMPUTER BASED SYSTEMS (ECBS), 7., 2000. Edimburg. **Proceedings...** Edimburg: IEEE, 2000. p. 290-298.

DUREN, R. M. Validation (not just Verification) of Deep Space Missions. In: AEROSPACE CONFERENCE, 2006, Pasadena. **Proceedings...** Pasadena, CA: California Inst. of Technol., IEEE, 2006. 13p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space engineering** - system engineering - Part1: Requirements and process. ECSS-E-10 Part 1B, 18 November 2004.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space project management** - project planning and implementation. ECSS-M-ST-10C, Revision 1, 6 March 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space engineering** - ground systems and operations - Part2: Document requirements definitions (DRDs). ECSS-E-70 Part2A, 2 April 2001.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space engineering** - software - Part 2: Document requirements definitions (DRDs). ECSS-E-40 Part 2B, 31 March 2005.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space engineering** - system engineering - Part1: Requirements and process. ECSS-E-10 Part 1B, 18 November 2004.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space engineering**: system engineering general requirements. ECSS-E-ST-10C, 6 March 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space engineering**: verification. ECSS-E-ST-10-02C, 5 March 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **System engineering**: system engineering. ECSS-E-10-C Draft 1, 6 August 2007.

FREEMAN, T.; Pfenning, F. Refinement types for ML. In: ACM CONFERENCE ON PROGRAMMING LANGUAGE DESIGN AND IMPLEMENTATION, 1991, Toronto. **Proceedings...** Toronto: ACM, 1991. p. 268–277.

GARCIA-DUQUE, J.; PAZOS-ARIAS, J.J. ; LOPEZ-NORES, M.; BLANCO-FERNANDEZ, Y.; FERNANDEZ-VILAS, A. ; DIAZ-REDONDO, R. P.; RAMOS-

CABRER, M.; GIL-SOLLA, A. Methodologies to evolve formal specifications through refinement and retrenchment in an analysis and revision cycle. **Requirements Engineering Journal**, v. 14, p. 129-153, 2009.

GUNTER, C. A.; GUNTER, E. L.; JACKSON, M.; ZAVE, P.. A reference model for requirements and specifications. ICRE '00: In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON REQUIREMENTS ENGINEERING (ICRE'00), 4., 2000, Schaumburg, IL, U.S.A. **Proceedings...** Schaumburg, 2000. p. 189.

HALLIGAN, R. Requirements Metrics: The basis of informed requirements engineering management. In: COMPLEX SYSTEMS ENGINEERING AND ASSESSMENT TECHNOLOGY WORKSHOP, 1993, Dahlgren, Virginia. **Proceedings...** Dahlgren, Virginia: Naval Surface Warfare Center, 1993.

HOPCROFT, J. E.; ULLMAN, J. D. Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation. Addison-Wesley Publishing Company, 1979.

IBM Corporation: Intellectual Property Dept. for Rational Software. Get It Right the First Time: Writing Better Requirements. 2008.

IEEE COMPUTER SOCIETY. **IEEE recommended practice for software requirements specifications**, 1990. (IEEE Std. 830-1998).

INTERNACIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE). **Systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities**, version 3. June 2006. (INCOSE-TP-2003-002-03).

ITASAT Mission Description Document (MDD), draft version 1.3, 19 de Fevereiro de 2010, U1000-DDD-01 rev. 0.

LARSON, W.; WERTS, J. (eds). **Space mission analysis and design**. 3. ed. [S.l.]: Space Technology Library, 1999

LETIER, E.; VAN LAMSWEERDE, A. Reasoning about partial goal satisfaction for requirements and design engineering. In: ACM SIGSOFT INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOUNDATIONS OF SOFTWARE ENGINEERING, 12., 2004, Newport Beach, California, USA. **Proceedings...** Newport Beach: [s.n.], 2004., p. 53-62. (SIGSOFT '04/FSE-12).

LIN, L.; PROWELL, S. J.; POORE, J. H. The impact of requirements changes on specification and state machines. **Software Practice and Experience**, v. 39, p.573-610, 2009.

LIU, S. Capturing Complete and Accurate Requirements by Refinement. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING OF COMPLEX

COMPUTER SYSTEMS, 8., 2002, Greenbelt. **Proceedings...** Greenbelt, Maryland, USA: IEEE Computer Society Press, 2002.

MEALY G.H. Method for synthesizing sequential circuits, Bell. **System Techn. Journal**, v.34, p.1045-1079, 1955.

MARTINS, E.; SABIÃO, S. B.; AMBROSIO, A. ConData: a tool for automating specification-based test case generation for communication systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 2000, Hawaii. **Proceedings...** Maui, Hawaii: IEEE Computer Society, 2000. v. 8.

MORAIS, M. H. E.; AMBROSIO, A. M. New model-based approach for analysis and refinement of requirement specification to space operations. In: SpaceOps 2010 CONFERENCE, 2010, Huntsville. **Proceedings...** Huntsville, Alabama, USA: Von Braun Center, 2010.

MORAIS, M. H. E.; AMBROSIO, A. M. **Metodologia COFI (Conformance and Fault Injection) aplicada a um exemplo didático**. São José dos Campos: INPE., 2009.

MORAIS, M. H. E.; ARAUJO, E. Sistema híbrido inteligente para classificação e tomada de decisão de imagens de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2317-2324. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15948-PRE/10558). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.18>>. Acesso em: 08 fev. 2011.

MORAIS, M. H. E.; MURALIKRISHNA, A.; BRAVO, R.; GUIMARÃES, L. N. F. Um Controlador Nebuloso Aplicado ao Problema do Pêndulo Invertido. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SENAC, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.27.17.04>>. Acesso em: 08 fev. 2011..

MURALIKRISHNA, A.; MORAIS, M. H. E., BRAVO, R.; GUIMARÃES, L. N. F. Implementação de um controlador PID para aplicação no modelo do pêndulo invertido em uma base móvel. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Senac 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.27.17.08>>. Acesso em: 25 jan. 2011.

OGATA, K. **Modern control engineering**. University of Minnesota: Prentice Hall, Inc, 1970.

PEIRCE, C. S., How to make our ideas clear. **Popular Science Monthly**, v. 12, p. 286-302, 1878.



GOVERNO FEDERAL COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA . **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima (PNMC)**. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, Governo Federal, 2008. Versão para consulta pública.

POLYA, G. **How to solve it: a new aspect of mathematical method**. 2. ed. Princeton University Press, New Jersey, 1957.

PONTES, R. P.; MORAIS, M. H. E.; VÉRAS, P. C.; AMBROSIO, A. M.; VILLANI E. A Comparative analysis of two verification techniques for DEDS: model checking versus model-based testing. In: IFAC WORKSHOP ON DISCRETE-EVENT SYSTEM DESIGN (DESDes 2009), 4., 2009,. Gandia Beach, Valencia, Spain. **Proceedings...** Gandia Beach, 2009.

PONTES, R. P.; MORAIS, M. H. E.; VÉRAS, P. C.; AMBROSIO, A. M.; VILLANI E. Model-based refinement of requirement specification: a comparison of two V&V Approaches. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING COBEM, 20., 2009, Gramado, RS, Brazil. **Proceedings...** Gramado: ABCM, 2009.

PRESSMAN, R. S. **Software engineering: a practioner's approach**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, , 2001, 888 p.

RAMOS-C. Manuel; GIL-SOLLA, A. methodologies to evolve formal specifications through refinement and retrenchment in an analysis and revision cycle. Requirements Engineering Journal, vol 14, 2009, pages 192-153.

ROBINSON, P. **Trends in automotive PLM: enabling innovation through integration and collaboration**. Stamford: IBM Software Group, Collaborative Product at Development Associates , LLC, 2007.

SILVA, L. I. L. O Brasil não abdica da soberania na Amazônia. **Jornal da Ciência**. Rio de Janeiro: SBPC, 26 de set. de 2007.

SCHMIDT, M.; CALIO, E.; GEESNER, R.; KOLSTER, P.; PARKES, A.; PECCHIOLI, M.; RAGOT, A. The ECSS standard on space segment operability. In: CONFERENCE ON SPACE OPERATION (SPOACEOPS 2004), 8., 2004, Montreal. **Proceedings...** Monteval: NRCC, 2004.

SOMMERVILLE, I. Software engineering. 8. Ed. New York: Addison-Wesley,, 2007.

TALL, D. The psychology of advanced mathematical thinking. In: Tall D. O. (ed.) **Advanced mathematical thinking**. Kluwer: Holland,1991.

UPPAAL- Tool environment for validation and verification of real-time systems. Sweden: Uppsala University/ Denmark: Basic Research in Computer Science at Aalborg University, 2011.

VÉRAS, P.C.; VILLANI, E.; AMBROSIO, A.M.; SILVA, N.; VIEIRA, M.; MADEIRA, H. Errors on space software requirements: a field study and application scenarios. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOFTWARE RELIABILITY ENGINEERING (ISSRE), 21., 2010, San Jose. **Proceedings...** San Jose, IEEE, 2010.

WASSON, C. S. **System analysis, design and development**: concepts, principles, and practices. new York: Wiley-Interscience publication, 1948. 832 p.

WINTER, O. C.; PRADO, A. F. B. A. **A Conquista do Espaço do Sputnik à Missão Centenário**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007. 320 p. ISBN 9788588325890. (INPE--/). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/11.28.11.13>>. Acesso em: 08 fev. 2011..

XEXÉO G. **Modelagem de sistemas de informação**: análise essencial moderna. San Francisco: Creative Commons, 2004.

YAMAGUTI, W.; ORLANDO, V.; PEREIRA, S. P. Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Status e planos futuros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1633-1640. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-16070-PRE/10679). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.20.46>>. Acesso em: 08 fev. 2011.

YONEYAMA, T.; JUNIOR, CAIRO L. N. **Inteligência artificial em controle e automação**. São José dos Campos: Editora Edgard Blucher Ltda/ Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2000.

YOURDON, E. **Análise estruturada moderna**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1990. 836p.

## **APÊNDICE A - Descrição da Metodologia CoFi simplificada**

A Metodologia de teste CoFI - Conformance and Fault Injection, orienta um testador a gerar casos de teste; suas principais características são:

- a) Define de forma sistemática, passos para criação de casos de teste de software ou de sistema reativos.
- b) Projetada visando atender as necessidade de validação de software espacial por isso leva em conta falhas físicas que podem ser provocadas pelo hardware sob radiação. Porém permite que outros tipos de falhas sejam levadas em conta.
- c) Por se basear no uso de modelos de estados que traduzem o comportamento do Sistema em Teste (SUT- system under test), orienta os testes do tipo caixa-preta.
- d) A ferramenta CONDADO, para geração automática de casos de teste, possui as características ideais para aplicação da metodologia, uma vez que não requer máquinas de estados completa. Porém outras ferramentas podem ser usadas para geração de casos de teste a partir dos modelos de estados.
- e) Combina duas abordagens de teste: teste de conformidade e injeção de falhas.

A decomposição do comportamento do SUT em modelos de estados é feita pela definição de serviços (mas pode também ser considerada uma função, sob o ponto de vista de um usuário do sistema em teste).

Cada serviço é descrito em (pelo menos) uma máquina de estado representando o “tipo de comportamento” frente a falhas que se deseja testar, assim, criam-se os modelos para mapear os seguintes comportamentos:

- a) normal (ausência de falhas),

- b) frente as exceções especificadas,
- c) frente as entradas inoportunas ou caminhos furtivos,
- d) dos mecanismos de tolerância a falhas (disparados pelas falhas de hardware).

Uma descrição dos passos da CoFI é dada a seguir:

### **1) Identificação**

O testador deve identificar, baseado na documentação fornecida:

- a) Serviços que um usuário reconhece e pode usar do SUT.
- b) Falhas físicas que podem ocorrer no hardware (e que o SUT deveria resistir).
- c) Facilidades/restrições do Sistema de teste + os pontos de controle e observação (PCO), endereços físicos e lógicos, etc.
- d) Eventos (comandos) e as ações (respostas) do SUT.

### **2) Criação dos modelos parciais**

Para cada serviço, o testador deve definir o comportamento:

- a) Normal.
- b) Frente as exceções especificadas.
- c) Frente aos eventos normais ocorridos em momentos inesperados (caminhos furtivos).
- d) Frente as falhas de hardware.

Para isso, criar máquinas de estados que represente o comportamento do SUT nas diferentes situações normais e anormais que podem ocorrer.

### **3) Criação do(s) modelo(s) Normal(is)**

A definição de um modelo do comportamento normal de um serviço depende da seqüência de eventos que o SUT normalmente espera para ser operado em rotina. Para isso o testador deve:

- a) Identificar a operação normal, rotineira a que o SUT vai ser submetido.
- b) Identificar os eventos e as ações esperadas para esta operação.

Se esta informação não estiver contida nos documentos, o testador deve requisitá-la.

### **4) Criação do(s) modelo(s) de Exceções Especificadas**

Levantar as exceções que foram citadas nos documentos (o que acontece se temporizações são excedidas, se comandos errôneos chegam ao invés de comandos corretos, etc..)

Identificar os eventos e as ações esperadas neste contexto, definindo assim os eventos de exceções.

Tomar um modelo do comportamento normal do serviço (definido no passo anterior) e modificá-lo: (i) incluindo os eventos de exceções em novas transições e (ii) excluindo caminhos já reconhecidos no passo anterior, mas mantendo o modelo conexo, com estado inicial e final

### **5) Criação do(s) modelo(s) de Caminhos Furtivos**

Tomar um modelo normal e escrevê-lo na forma tabular: evento X estados.

Identificar as células em branco da tabela.

Modificar o modelo normal: (i) incluindo os eventos nos estados onde eles não existiam e (ii) excluindo caminhos já reconhecidos nos passos anteriores.

## **6) Criação do(s) modelo(s) de Tolerância a Falhas**

Identificar as falhas físicas e definir os eventos de falhas correspondentes

Para cada tipo de falha física: tomar um modelo do comportamento normal do serviço e modificá-lo: (i) incluindo os eventos de falhas em novas transições e (ii) excluindo caminhos já reconhecidos nos passos anteriores, mantendo o modelo conexo, com estado inicial e final.

## **7) Geração automática dos testes**

Submeter cada modelo (representado por uma máquina de estado) à ferramenta Condado.

Gerar um conjunto de casos de teste que corresponde a união dos casos de testes gerados para cada máquina.

Em síntese, afirma-se que:

Cada modelo dá origem a um arquivo de testes.

Cada arquivo de teste traduz um “objetivo de teste”.

Cada “objetivo de teste” contém vários de casos de teste.

Cada caso de teste contém vários passos de teste.

Cada passo de teste contém um evento a ser gerado para o SUT.

Cada evento tem associado a ele, 0 ou várias ações correspondentes que espera-se que sejam produzidas pelo SUT.

## APÊNDICE B - Especificação de Requisitos de uma Máquina de Café

### B.1 Introdução

Este documento possui a especificação de requisitos e uma descrição geral de uma máquina de café com o objetivo de permitir a elaboração de modelos que retratam seu funcionamento. O objetivo deste trabalho é realizar uma comparação de duas abordagens diferentes de verificação e validação, ambas baseadas no uso de modelos formais baseados em estados: a abordagem de model checking para análise do modelo e abordagem de geração automática de teste. Na primeira será usada a ferramenta UPPAAL e na segunda será aplicada a metodologia COFi e a ferramenta Condado. A partir da especificação descrita neste documento, duas equipes distintas aplicarão as abordagens citadas, posteriormente os resultados serão comparados em termos de número e tipo de falhas encontradas.

Um modelo em Statecharts gerado por uma terceira equipe foi gerado a partir desta especificação e um código gerado na ferramenta Rational Rose RealTime. Este código será usado para aplicação dos testes.

### B.2 Descrição Física

A máquina de café oferece ao usuário a possibilidade de escolha de dois diferentes variáveis: o tipo de produto e a forma de adoçar, que podem ser escolhidos de acordo com a Tabela B.1.

Tabela B.1 - Opções do usuário.

| <i>Variáveis</i> | <i>Opções</i>  |
|------------------|----------------|
| Tipo de produto  | Café puro      |
|                  | Cappuccino     |
|                  | Café com leite |
| Forma de adoçar  | Pouco açúcar   |
|                  | Muito açúcar   |

Uma vez que o processo de escolha foi iniciado, não há como abortar. Este processo se inicia com a inserção de uma ficha na máquina.

A Figura 1 ilustra o diagrama conceitual básico de um sistema de controle sistema (MIYAGI, 1996). De acordo com este diagrama o dispositivo de realização de controle interage com o ambiente físico (objeto de controle, ou planta controlada) através de sensores e atuadores. Além disso, ele interage ainda com o usuário ou operador através de dispositivos de monitoração e comando. O dispositivo de realização do controle computa os dados provindos dos sensores e dos dispositivos de comando de acordo com lógica implementada e envia os dados de resposta para os atuadores (GUERROUAT, 2005), além de informar ao usuário sobre o estado atual do sistema através dos dispositivos de monitoração.

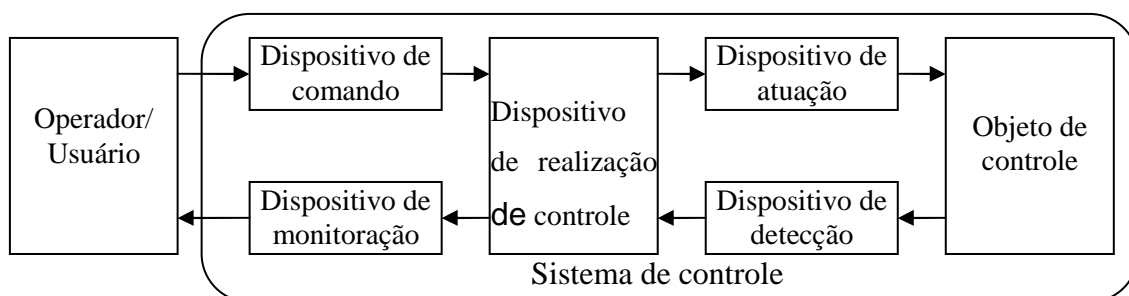


Figura B.1 - Diagrama conceitual básico de um sistema de controle.

A Figura B.2 especifica o diagrama da Figura B.1 para o sistema da máquina de café em estudo.

Neste caso, o usuário do sistema é a própria pessoa que solicita o café, cujos dados de entrada são dados através da inserção de uma ficha na máquina e do acionamento de botões. O usuário pode monitorar ou visualizar o estado da máquina (as escolhas feitas por ele) através das lâmpadas existentes. O dispositivo que realiza o controle da planta é um sistema embarcado, formado por um circuito eletrônico e um software embarcado (será modelada apenas a lógica de controle deste sistema, sem ser levado em consideração o tipo de processador, velocidade de processamento, linguagem de programação utilizada, etc.). A atuação na planta (máquina de café) é feita através de



válvulas que controlam a liberação de um copo do estoque para o suporte e a adição dos produtos a ele. A detecção do estado da máquina é feita através dos sensores de nível dos produtos e da presença de copos no estoque.

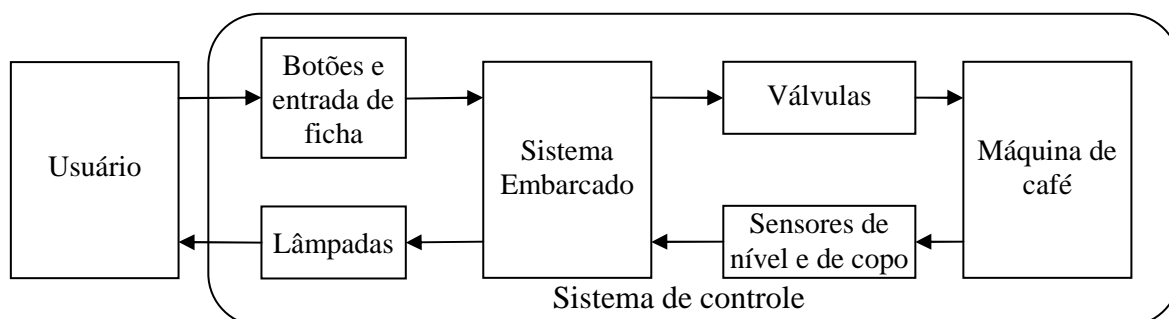


Figura B.2 - Diagrama conceitual básico do sistema de controle da máquina de café.

### B.2.1 Dispositivos de Comando

A máquina possui um total de 6 botões e uma entrada para fichas, que constituirão os possíveis eventos do sistema. Há um botão para cada uma das opções listadas na Tabela B.1 e um botão de liga e desliga, que pode produzir estes dois eventos.

### B.2.2 Dispositivos de Monitoração

A máquina possui 9 lâmpadas que indicam seu estado ao usuário, como pode ser observado na Tabela B.2.

Tabela B.2 - Possíveis saídas da máquina para o usuário.

| <b>Lâmpadas</b>                                | <b>Denominação</b> |
|--|--------------------|
| Lâmpada que indica que a máquina está ligada   | LuzOn              |
| Lâmpada que indica que uma moeda foi inserida  | LuzCredito         |
| Lâmpada que indica a escolha de café puro      | LuzCafePuro        |
| Lâmpada que indica a escolha de cappuccino     | LuzCappuccino      |
| Lâmpada que indica a escolha de café com leite | LuzCafeLeite       |
| Lâmpada que indica a escolha de pouco açúcar   | LuzPoucoAcucar     |
| Lâmpada que indica a escolha de muito açúcar   | LuzMuitoAcucar     |
| Lâmpada que indica processamento da escolha    | LuzProcessando     |
| Lâmpada que indica finalização do processo     | LuzCafePronto      |

### **B.3 Dispositivos de Atuação**

A máquina possui uma válvula para controlar a liberação de um copo por vez do seu estoque para o suporte onde é recebido o produto, e uma válvula para o controle da liberação de cada um dos produtos (café, leite e chocolate).

### **B.4 Dispositivos de Detecção**

Existe um sensor de nível para cada um dos três produtos (estes sensores indicam apenas se há ou não produto suficiente para a produção do pedido do usuário) e um sensor de presença de copo no estoque (que não indica a quantidade de copos, apenas se há ou não copo).

### **B.5 Eventos e Ações**

Os eventos existentes no sistema são produzidos pelas entradas do usuário através do acionamento dos botões e da inserção da ficha, e também produzidos pelos sensores existentes.

As ações a serem tomadas pelo sistema consistem do acendimento das diversas lâmpadas, da liberação de um copo por vez do estoque para o suporte e da abertura e fechamento das válvulas que liberam os produtos utilizados para produzir a escolha do usuário. Porém, a abertura destas válvulas não será considerada no modelo a ser elaborado. Por simplificação, será considerado o evento “processando”, que engloba a abertura e fechamento de todas as válvulas necessárias.

## **B.6 Requisitos**

Os requisitos são numerados para facilitar o mapeamento para propriedades a serem verificadas nos modelos.

### **R1**

O sistema deverá permanecer desligado até que o botão de liga/desliga seja passado para o estado On.

### **R2**

Sempre que o sistema for ligado, ele deverá verificar se há copo no estoque e se há café, leite e chocolate nos reservatórios. Em caso positivo para todos eles, o sistema poderá aceitar a inserção de fichas na máquina. Caso não haja copo ou qualquer um dos produtos na quantidade suficiente para a produção do pedido, a máquina não poderá aceitar a inserção de fichas até que seja repostos o que está em falta.

### **R3**

Após a inserção da ficha, a máquina só deverá aceitar os seguintes comandos das seguintes escolhas nesta ordem:

Escolha do tipo de produto (café puro, café com leite ou cappuccino);

Escolha da forma de adoçar (pouco ou muito açúcar).

### **R4**

Caso o usuário forneça um comando não esperado (fora da ordem especificada no requisito R3), o sistema deverá permanecer no estado corrente, ou seja, não deverá responder a nenhum evento não esperado.

**R5**

O processamento de determinado pedido não poderá ser abortado. Uma vez que uma ficha é inserida na máquina, um ciclo de processamento de produto deverá ser concluído para se voltar ao estado inicial.

**R6**

Após a inserção de uma ficha, a máquina não poderá receber a inserção de uma nova ficha até a finalização do processamento do pedido em andamento.

**R7**

À medida que as escolhas são feitas pelo usuário, as lâmpadas correspondentes à opção desejada deverão ser acesas no momento da escolha. Ou seja, quando o usuário escolher o tipo de produto (café puro, café com leite ou cappuccino), a lâmpada que indica sua escolha deverá acender no momento em que ele aperta o botão e assim por diante.

**R8**

Quando o processamento de um pedido for finalizado, deverá ser acendida uma lâmpada para indicação de tal situação e que só deverá ser apagada quando o copo for retirado do suporte.

**R9**

Ao ser retirado o copo do suporte após a finalização de um pedido, todas as lâmpadas da máquina (exceto a lâmpada que indica que a máquina está ligada) deverão ser apagadas.

**R10**

Após todas as lâmpadas serem apagadas devido à retirada de um copo do suporte após a finalização do processamento de um pedido, a presença ou não dos recursos (produtos e copos) deverá ser verificada. Caso pelo menos um dos produtos esteja em falta, a máquina não poderá aceitar a inserção de uma nova ficha até que este produto em falta seja repostado.

**R11**

Caso a máquina seja desligada antes do início do processamento efetivo do produto, ao ser ligada novamente, ela deve ir para seu estado inicial. Ou seja, o

usuário perderá a ficha e o pedido que estava em andamento será descartado. Um novo pedido deverá ser feito com uma nova ficha.

#### **R12**

A máquina sempre demorará dez segundos para processar o pedido feito (este é o tempo entre o acionamento do botão da última escolha e o pedido estar dentro do copo pronto para ser consumido).

#### **R13**

Caso a máquina seja desligada durante os dez segundos de processamento do produto, ela deverá continuar funcionando até a finalização do processamento. Apenas após sua finalização é que a máquina será efetivamente desligada.

#### **R14**

Quando a máquina for desligada, a lâmpada que indica seu ligamento (On) deverá ser apagada. Se houver quaisquer outras lâmpadas acesas, todas elas também deverão ser apagadas.

### **B.7 Referências**

GUERROUAT, Abdelaziz; RICHTER, Harald. A Formal Approach for Analysis and Testing of Reliable Embedded System. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, v. 141, n. 3, p. 91-106, Dec. 2005.

MIYAGI, Paulo Eigi. *Controle Programável: Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos*. São Paulo, SP: Edgard Blücher LTDA, 1996, 194 p.



## **ANEXO A - Documento de Especificação de Requisitos dos Ciclos de Missão e Modos de Operação do ITASAT-1**

### **A.1 Ciclos de Missão**

In this section the phases of the mission cycle are described.

The following phases belong to the mission cycle:

- c) Assembly, Integration and Test Phase (AITP)
- d) Launch Readiness Phase (LRP)
- e) Pre-launch Phase (PLP)
- f) Launch and Early Orbit Phase (LEOP)
- g) Commissioning Phase (CP)
- h) Operational Phase (OP)
- i) Decommissioning Phase (DP)

During the Assembly, Integration and Test Phase (AITP) the s/c is, as the name says, being integrated and tested. Also the ground segment is being prepared for the mission.

The Launch Readiness Phase (LRP) contains the finishing of all acceptance tests, the transportation to the launch site and the demonstration of the ground segments scope of operation. In this phase the staff for operation shall be instructed and trained.

The Pre-Launch Phase (PLP) contains the transportation at the launch site as well as the launch campaign which includes the servicing and the check-out of

the s/c, its integration to the launcher and the last checks after integration to the launcher.

The Launch and Early Orbit Phase (LEOP) contains the launch itself, the satellite separation from the launcher, the first initialization of the s/c as well as the first acquisition of the s/c.

During the Commissioning Phase (CP) the s/c has its first contact to a ground segment including the first transmission of telemetry data and the receiving of the first commands. Within this phase all subsystems and devices are tested and the attitude control subsystem starts to de-tumble the s/c for attitude stabilization. Also the payloads are tested. The ground segment proves the operability and the customer confirms the functionality of the space segment as well as the functionality of the ground segment. After this confirmation the s/c will be passed to the customer and changes to the Operational Phase.

The Operational Phase (OP) contains the operational use of the payload and the testing of the experimental payloads. If possible the operational phase can be larger than the given two years of lifetime in orbit.

If the operational lifetime is over and if the customer decides that the s/c shall be decommissioned, he signs an enactment for decommissioning. With this event the Decommissioning Phase (DP) starts. If necessary, a de-orbiting maneuver will be executed and the whole s/c will be decommissioned. Not later than after 25 years the s/c will reentry in the Earth atmosphere and burn up.

### **A.1.1 Operational modes**

#### **A.1.1.1 Launch mode**

During the launch the s/c stays in the launch mode. It fulfills the launch provider requirements. There is no electric power supply for all subsystems and all mechanisms are securely locked.



#### **A.1.1.2 Survival mode**

After ejection the s/c changes into the survival mode. In this mode, the attitude of the s/c and its spin rate is undefined. In this mode all payloads (operational and experimental) are turned off. The same is ACS. In this mode the task of the s/c is to keep a positive energy budget over one orbit and to ensure its ability to communicate well. In the case of failure or malfunction that affects the whole s/c it switches into the survival mode automatically, independent of the current mode.

#### **A.1.1.3 Testing mode**

From the survival mode the s/c switches into the testing mode. This mode is a possibility to test all the subsystems and payloads before passing the s/c to the customer. The testing mode provides all the functions of the survival mode and in this mode the first telecommand data will be received. After this mode the s/c can change to the alignment mode or the payload mode. Starting from this mode it also can be decommissioned.

#### **A.1.1.4 Alignment mode**

The alignment mode is for de-tumbling the s/c and to align it to specified orientations in the flight coordinate system. It is an intermediate mode from the Testing mode to the Payload mode, the Experimental mode, the Operational mode or the Propulsion mode (if it exists).

#### **A.1.1.5 Payload mode**

In this mode, achieved from Alignment mode by ground command, all satellite subsystems including the payload, but excluding the possible propulsion system, are in their final operating configuration. The mission technological data is being collected and transmitted to Earth during visible passes.

### A.1.1.6 Experimental mode

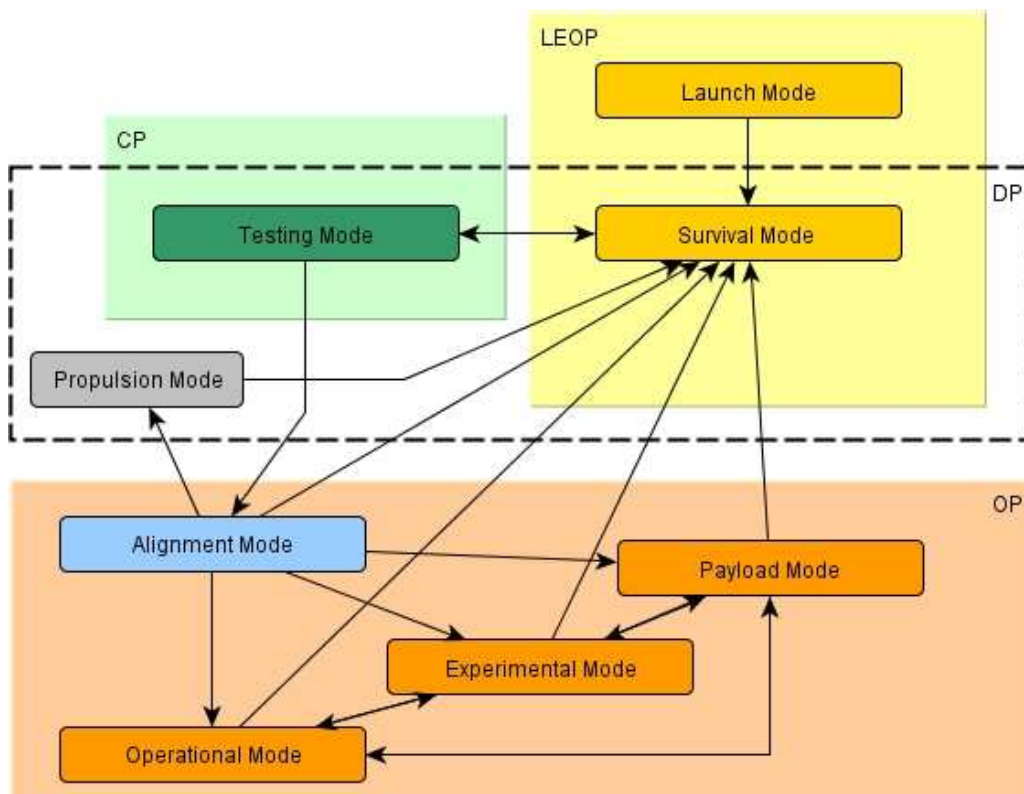
In this mode besides the subsystems just the experimental payloads are working. This mode provides time to do experiments and to test for example the new onboard computer.

### A.1.1.7 Operational mode

In this mode the experimental payload is turned off and just the operational payload is working, besides the subsystems.

### A.1.1.8 Propulsion mode

If there exists a propulsion system in this mode it is running. The Propulsion Subsystem is used for de-orbiting and therefore belongs to the Disposal Phase.



|       |                   | subsystems |     |      |           |            |     |              |                     |                   |
|-------|-------------------|------------|-----|------|-----------|------------|-----|--------------|---------------------|-------------------|
|       |                   | TCS        | EPS | TT&C | ACDH/OBDH | Mechanisms | ACS | Exp. Payload | Operational Payload | Propulsion System |
| Modes | launch mode       | off        | off | off  | off       | off        | off | off          | off                 | off               |
|       | survival mode     | on         | on  | on   | on        | on         | off | off          | off                 | off               |
|       | testing mode      | on         | on  | on   | on        | on         | on  | test         | test                | off               |
|       | alignment mode    | on         | on  | on   | on        | on         | on  | off          | off                 | off               |
|       | payload mode      | on         | on  | on   | on        | on         | on  | on           | on                  | off               |
|       | experimental mode | on         | on  | on   | on        | on         | on  | on           | off                 | off               |
|       | operational mode  | on         | on  | on   | on        | on         | on  | off          | on                  | off               |
|       | propulsion mode   | on         | on  | on   | on        | on         | on  | off          | off                 | on                |



## ÍNDICE POR ASSUNTO

- ABSTRACT, 13
- ANEXO, 55
  - Abreviaturas dos meses, 55
- APÊNDICE, 47
  - Figuras, 47
  - Tabela modo paisagem, 48
  - Tabelas, 48
- CITAÇÃO
  - Citação dentro do texto, 31
- CONCLUSÃO, 33
- GLOSSÁRIO, 45
- INTRODUÇÃO, 25
- LISTA DE FIGURAS, 17
- LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS, 21
- LISTA DE SÍMBOLOS, 23
- LISTA DE TABELAS, 19
- PREPARAÇÃO DO TRABALHO, 27
  - Citação, 31
  - Elaborando as referências bibliográficas, 31
  - Equações e fórmulas, 30
  - Estrutura, 28
  - Figuras e tabelas, 29
  - Glossário, 31, 32
- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, 35
  - Artigo de revista, 38
  - Imagens de satélite, 41
  - Livro, 35
  - Revista, 37
  - Tese ou Dissertação, 36

## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.