



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/07.09.00.26-TDI

**ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM  
MODELOS (MBSE) APLICADA A EQUIPAMENTOS DE  
SUPORTE ELÉTRICO DE SOLO (EGSE) PARA A  
MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES (AIT) DE  
SATÉLITES**

Marcelo de Almeida Coicev

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Geilson Loureiro, aprovada em 25 de maio de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/42QSMAP>>

INPE  
São José dos Campos  
2020

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA N° 176/2018/SEI-INPE):**

### **Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

### **Membros:**

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

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

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

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

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

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

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

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

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

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/07.09.00.26-TDI

**ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM  
MODELOS (MBSE) APLICADA A EQUIPAMENTOS DE  
SUPORTE ELÉTRICO DE SOLO (EGSE) PARA A  
MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES (AIT) DE  
SATÉLITES**

Marcelo de Almeida Coicev

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Geilson Loureiro, aprovada em 25 de maio de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/42QSMAP>>

INPE  
São José dos Campos  
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Coicev, Marcelo de Almeida.

C664e Engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE) aplicada a equipamentos de suporte elétrico de solo (EGSE) para a montagem, integração e testes (AIT) de satélites / Marcelo de Almeida Coicev. – São José dos Campos : INPE, 2020.  
xxxviii + 216 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/07.09.00.26-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.

Orientador : Dr. Geilson Loureiro.

1. Engenharia de sistemas. 2. Engenharia de sistemas baseada em modelos. 3. MBSE. 4. SysML. 5. Equipamento de suporte elétrico de solo. I.Título.

CDU 629.78:621.31

---



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

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

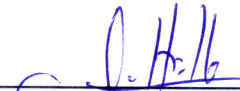
Aluno (a): **Marcelo de Almeida Coicev**

Título: "ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM MODELOS (MBSE) APLICADA A EQUIPAMENTOS DE SUPORTE ELÉTRICO DE SOLO (EGSE) PARA A MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES (AIT) DE SATÉLITES"

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

**Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng. Gerenc. de Sistemas Espaciais**

Dra. **Maria de Fátima Mattiello-Francisco**

  
\_\_\_\_\_  
Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Participação por Video - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

Dr. **Geilson Loureiro**

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

Participação por Video - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

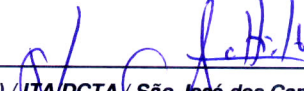
Dr. **Walter Abrahão dos Santos**

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Participação por Video - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

Dr. **Luis Gonzaga Trabasso**

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

Participação por Video - Conferência

Aprovado ( ) Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

unanimidade



*“Siga em frente! Não pare, não se demore em sua jornada, mas lute pelos marcos estabelecidos antes de você”.*

*George Whitefield*





*A meu pai **Walter Coicev** (in memoriam).*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado vida, forças e capacitação para lutar por este objetivo, que parecia tão inalcançável, mas ele movimentou as engrenagens dos acontecimentos para que tudo chegasse a um bom final.

Em segundo lugar, a meus pais, Walter Coicev e Eunice de Almeida Coicev, por terem me dado amor, e lutado pela minha educação, formação de caráter e de valores. Pelo tanto que lutaram durante toda a vida, com muitas provações para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a minha esposa Janice Bárbara Walkey Coicev, pelas longas horas em que teve que abrir mão do esposo para que ele se dedicasse ao mestrado, e pelo amor e dedicação com que cuidou de mim.

A minhas filhas, Heloisa, Nicole e Emily, que agitam meu dia-a-dia, me trazem tanta alegria, e me motivam a lutar por elas a cada novo dia.

Ao Dr. Geilson Loureiro, por ter aceitado orientar este trabalho e a todos os colegas do INPE, em especial do LIT pelo exemplo e trabalho dedicado que tem sido minha inspiração de melhorar sempre.

Ao Mestre Otavio Luiz Bogossian (*in memoriam*), por ter me desafiado a continuar quando por vezes bateu aquela vontade de desistir.



## RESUMO

Esta dissertação visa a aplicação de uma abordagem de engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE) no processo de referência do LSIS, aliado à utilização do processo de desenvolvimento integrado de EGSE (Equipamentos de Suporte Elétrico em Solo), com o propósito de apoiar as atividades de AIT de satélites. Para que seja possível utilizar as técnicas de engenharia de sistemas no desenvolvimento de EGSEs para produtos espaciais, é fundamental que as necessidades das partes interessadas relacionadas às fases de Montagem, Integração e Testes, bem como os requisitos de missão, de sistema e de subsistemas sejam considerados de forma antecipada nas fases do produto espacial como um todo, e possam ser mantidas e ajustadas ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento do produto e da organização. O INPE / LIT, desde 2012, vem desenvolvendo um processo de referência para o desenvolvimento de sistemas espaciais por meio de seu Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas (LSIS), que está sendo empregado gradualmente em projetos espaciais nos quais o LIT tem se envolvido. Também foi desenvolvido um guia de desenvolvimento de GSEs, aplicável ao desenvolvimento de sistemas de satélite mais complexos, que busca correlacionar de forma simultânea e colaborativa o desenvolvimento de GSEs ao desenvolvimento do produto espacial e seu processo de AIT. A presente dissertação aplicou o processo de referência do LSIS, aliado à utilização do guia de desenvolvimento do EGSE, porém utilizando uma abordagem baseada em modelos (MBSE). Por último, aplicou-se a abordagem em um exemplo de aplicação, pela modelagem de um equipamento real do EGSE para o satélite Amazonia 1. Como conclusão pode-se ressaltar que a abordagem MBSE acrescentou valor aos processos já estabelecidos, pela validação dos mesmos e estendendo a sua utilização com ferramentas de modelagem atuais.

Palavras-chave: Engenharia de Sistemas. Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos. MBSE. SysML. Equipamento de Suporte Elétrico de Solo. EGSE.



**MODEL BASED SYSTEMS ENGINEERING (MBSE) APPLIED TO  
ELECTRICAL GROUND SUPPORT EQUIPMENT (EGSE) FOR SATELLITE  
ASSEMBLY, INTEGRATION AND TESTING (AIT).**

**ABSTRACT**

This dissertation aims to apply a Model-Based Systems Engineering (MBSE) approach in the LSIS reference process, combined with the use of the EGSE (Electrical Ground Support Equipment) integrated development process, with the purpose of supporting satellites AIT activities. In order to be able to use systems engineering techniques in the development of Electrical Ground Support Equipment for space products, it is essential that the needs of stakeholders related to the Assembly, Integration and Test phases, as well as the mission, system and subsystem requirements to be considered in advance in the phases of the space product as a whole, and can be maintained and adjusted throughout the product and organization development life cycle. INPE / LIT, since 2012, has been developing a reference process for the development of space systems through its Simultaneous Systems Engineering Laboratory (LSIS), which is being gradually employed in space projects in which LIT has been involved. A GSEs development guide was also developed, applicable to the development of more complex satellite systems, which seeks to correlate simultaneously and collaboratively the development of GSEs to the development of the space product and its AIT process. This dissertation applied the LSIS reference process, combined with the use of the EGSE development guide, but using a model-based approach (MBSE). Finally, the approach was applied in an application example, by modeling a real EGSE equipment for the Amazonia 1 satellite. As a conclusion, it can be emphasized that the MBSE approach added value to already established processes, by validating them and extending their use with modern modeling tools.

**Keywords:** Systems Engineering. Model Based Systems Engineering. MBSE. SysML. Electrical Ground Support Equipment. EGSE.





## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Processos técnicos simplificados de engenharia de sistemas. ....	8
Figura 2.2 - Definição das fronteiras (contexto) do sistema. ....	9
Figura 2.3 - Requisitos funcionais e de desempenho. ....	9
Figura 2.4 - Decomposição do sistema de um automóvel em seus componentes. ....	10
Figura 2.5 - Interação entre componentes para satisfazer os requisitos de sistema. ....	10
Figura 2.6 - Rastreabilidade das necessidades dos <i>stakeholders</i> até os requisitos de sistema e de componentes. ....	11
Figura 2.7 - Típica equipe multidisciplinar de engenharia de sistemas. ....	11
Figura 2.8 - Taxonomia parcial de padrões de engenharia de sistemas. ....	12
Figura 2.9 - Processos de ciclo de vida de projeto segundo a NASA. ....	15
Figura 2.10 - Processos de ciclo de vida de projeto segundo a ECSS. ....	17
Figura 2.11 - Relacionamento entre as medidas técnicas. ....	21
Figura 2.12 - Estrutura hierárquica do método GQM. ....	23
Figura 2.13 – Modelo de meta/questão/métrica pelo método GQM. ....	23
Figura 2.14 - Taxonomia dos diagramas de SysML. ....	28
Figura 2.15 - Exemplos de Diagramas da SysML em uso. ....	29
Figura 2.16 - EGSE na decomposição dos segmentos de solo e espacial. ....	34
Figura 2.17 - Grupos de conjuntos de teste principais de um EGSE. ....	37
Figura 2.18 - Diagrama em Blocos de um EGSE típico. ....	37
Figura 2.19 - Ciclo de vida do EGSE dentro do ciclo de vida de produtos espaciais - fluxograma em Vee. ....	39
Figura 2.20 - O modelo em Vee "Wedge Model". ....	40
Figura 2.21 - Desenvolvimento do processo de Engenharia de Sistemas do LSIS. ....	42
Figura 2.22 - Processo de referência macro do LSIS SE. ....	43
Figura 2.23 - Visão detalhada das atividades do LSIS SE. ....	43
Figura 2.24 - Abordagem de Engenharia de Sistemas do LSIS SE. ....	44
Figura 2.25 - Processo de Desenvolvimento Integrado de GSE – PDIG. ....	47
Figura 3.1 - Diagrama de Blocos Interno (IBD) na definição do Conceito de Operação. ....	51
Figura 3.2 - Diagrama de Atividades na análise do ciclo de vida do <i>Sistema de Interesse</i> . ....	52
Figura 3.3 - Diagrama de Atividades para a análise de cenários de ciclo de vida. ....	53
Figura 3.4 - Meta-modelo SysML estendido com estereótipos do tipo “ <i>organization</i> ” para análise de <i>stakeholders</i> . ....	53
Figura 3.5 - BDD na Identificação de <i>stakeholders</i> . ....	54
Figura 3.6 - Meta-modelo SysML estendido para “ <i>Concerns</i> ”. ....	55

Figura 3.7 - Preocupações de Stakeholders do <i>sistema de interesse</i> em determinado cenário.....	56
Figura 3.8 - Meta-modelo SysML estendido para de MoEs, MoPs e TpMs. ....	57
Figura 3.9 - Rastreabilidade/derivação de especificações de medidas técnicas às suas origens.....	58
Figura 3.10 - Capturas de Medidas Técnicas como <i>Value Types</i> em um BDD. ....	59
Figura 3.11 - Simultaneidade das medidas de efetividade e requisitos de <i>stakeholders</i> no processo de análise de requisitos. ....	60
Figura 3.12 - Meta-modelo SysML estendido para análise GQM.....	61
Figura 3.13 - Exemplo de análise de MoEs usando GQM. ....	61
Figura 3.14 - Meta-modelo SysML estendido com estereótipos e <i>value types</i> para análise dos requisitos de <i>stakeholders</i> . ....	63
Figura 3.15 - Diagrama para análise dos requisitos de <i>stakeholders</i> . ....	63
Figura 3.16 - Meta-modelo SysML estendido com estereótipos e <i>value types</i> para análise dos requisitos técnicos para o sistema de interesse. ....	64
Figura 3.17 - Requisitos Técnicos para o Sistema de Interesse.....	65
Figura 3.18 - Meta-modelo SysML estendido com <i>Constraint “Circumstance”</i> para análise de circunstâncias dos elementos dos cenários. ....	66
Figura 3.19 - Modelagem do Ambiente do sistema de interesse em um dado cenário e suas circunstâncias.....	67
Figura 3.20 - Meta-modelo SysML estendido para <i>“FunctionCandidate”</i> . ....	69
Figura 3.21 – Diagrama de atividades com eventos e respostas do sistema de interesse nos cenários.....	69
Figura 3.22 - Meta-modelo SysML estendido para <i>“function”</i> ....	70
Figura 3.23 – Definição final das funções do sistema de interesse.....	70
Figura 3.24 - Diagrama funcional N <sup>2</sup> elaborado por meio do Diagrama de Blocos Internos. ....	73
Figura 3.25 - Exemplo de análise de estados de uma função. ....	74
Figura 3.26 - identificação e rastreamento de Estados e Modos às funções. ....	75
Figura 3.27 – Exemplo de proposta de arquitetura física genérica do sistema de interesse (PBS). ....	76
Figura 3.28 – Exemplo de proposta de arquitetura genérica de fluxos do sistema de interesse. ....	78
Figura 3.29 – Exemplo de proposta de arquitetura genérica de interconexões do sistema de interesse. ....	79
Figura 4.1 – Diagrama de Contexto do EGSE nos cenários relevantes de AIT – Caso Geral.....	80
Figura 4.2 – Conceito de Operação do UMB SCOE. ....	82
Figura 4.3 – Ciclo de vida do UMB SCOE.....	82
Figura 4.4 – Cenários do ciclo de vida do UMB SCOE. ....	83

Figura 4.5 - Identificação dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE.....	84
Figura 4.6 - Exemplo de preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE” . ....	86
Figura 4.7 – Exemplo de análise GQM e MoEs para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.....	88
Figura 4.8 – Exemplo de MoEs Values para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.....	89
Figura 4.9 – Exemplo de análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE” . ....	91
Figura 4.10 – Exemplo de análise de requisitos funcionais do UMB SCOE” . ....	96
Figura 4.11 – Exemplo de modelagem de ambiente para cenário U33 e suas circunstâncias (Cenário Operacional). ....	98
Figura 4.12 – Exemplo de modelagem de ambiente para Cenário U11 e suas circunstâncias ( cenário não operacional).....	99
Figura 4.13 – Exemplo de eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U13 (cenário operacional). ....	101
Figura 4.14 – Exemplo de eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U36 (cenário não-operacional). ....	101
Figura 4.15 – Exemplo de definição final das funções do UMB SCOE. ....	102
Figura 4.16 – Exemplo de análise de estrutura das funções operacionais principais do UMB SCOE. ....	104
Figura 4.17 – Exemplo de análise de estrutura das funções não operacionais do UMB SCOE (funções e contexto). ....	105
Figura 4.18 – Transições de Estados para a função F9: Gerar / Simular Comandos / Sinalizações.....	106
Figura 4.19 – Exemplo de diagrama de atividades com detalhamento do comportamento da função F8 e F3 (parcial).....	107
Figura 4.20 – Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE (PBS). ....	109
Figura 4.21 – Proposta de arquitetura genérica de fluxos do UMB SCOE. ....	111
Figura 4.22 – Proposta de arquitetura genérica de interconexões do UMB SCOE. ....	112
Figura 5.1 – Destaque dos processos exercitados para aplicação do PDIG no desenvolvimento do UMB SCOE.....	114
Figura 5.2 – Visão geral do processo de Análise Funcional. ....	117
Figura 5.3 – Utilização de sub-projetos pelo recurso de “ <i>Project Usages</i> ” da ferramenta Cameo Systems Modeler.....	120
Figura A.1 - Repositório de modelagem “Modelo_EGSE_Generico_Final” na ferramenta Cameo Systems Modeler.....	128
Figura A.2 - Repositório de modelagem “Modelo_EGSE_Final” (UMB SCOE) na ferramenta Cameo Systems Modeler. ....	129
Figura B.1 - SysML profile MBSE4EGSE completo. ....	130

Figura C.1 - Artigo apresentado em 2019 no 10º WETE. ....	132
Figura C.2 - Poster do artigo apresentado em 2019 no 10º WETE. ....	133
Figura C.3 - Artigo aceito no IJAERS) [Vol-6, Issue-7, Jul- 2019. ....	134
Figura D.1 - Conceito de Operação do UMB SCOE. ....	135
Figura D.2 - Ciclo de vida do UMB SCOE. ....	136
Figura D.3 - Cenários do ciclo de vida do UMB SCOE. ....	136
Figura D.4 - Identificação dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE. ....	136
Figura D.5 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE" .....	138
Figura D.6 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE ". ....	138
Figura D.7 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE ". ....	139
Figura D.8 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U13: Verificação do UMB SCOE". ....	139
Figura D.9 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U2: Transição do UMB SCOE". ....	140
Figura D.10 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U31: Validação do UMB SCOE". ....	140
Figura D.11 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U32: Operação do UMB SCOE em AIT". ....	141
Figura D.12 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento". ....	141
Figura D.13 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U34: UMB SCOE em aferição/calibração". ....	142
Figura D.14 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U35: UMB SCOE em manutenção" .....	142
Figura D.15 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U36: UMB SCOE em transporte" .....	143
Figura D.16 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo para o cenário "U4: Decomissionamento do UMB SCOE". ....	143
Figura D.17 - Preocupações dos <i>stakeholders</i> de organização do UMB SCOE para o cenário "O0: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE". ....	144
Figura D.18 - Análise GQM e MoEs para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE" .....	149
Figura D.19 - MoEs Values para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE" .....	150
Figura D.20 - Análise GQM para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE" .....	150
Figura D.21 - MoEs Values para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE" .....	151

Figura D.22 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE".	153
Figura D.23 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de processo do UMB SCOE para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE".	154
Figura D.24 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE".	155
Figura D.25 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de processo do UMB SCOE para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE".	156
Figura D.26 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de processo do UMB SCOE para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE".	157
Figura D.27 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE para o cenário "U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE".	158
Figura D.28 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de processo do UMB SCOE para o cenário "U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE".	159
Figura D.29 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE para o cenário "U13: Verificação do UMB SCOE".	160
Figura D.30 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de processo do UMB SCOE para o cenário "U13: Verificação do UMB SCOE".	161
Figura D.31 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de produto do UMB SCOE para o cenário "U2 : Transição do UMB SCOE".	162
Figura D.32 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de processo do UMB SCOE para o cenário "U2 : Transição do UMB SCOE".	162
Figura D.33 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Produto do UMB SCOE para o cenário "U31: Validação do UMB SCOE".	163
Figura D.34 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Processo do UMB SCOE para o cenário "U31: Validação do UMB SCOE".	164
Figura D.35 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Produto do UMB SCOE para o cenário "U32: Operação do UMB SCOE em AIT".	165
Figura D.36 - Requisitos dos <i>stakeholders</i> de Processo do UMB SCOE para o cenário "U32: Operação do UMB SCOE em AIT".	166
Figura D.37 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Produto do UMB SCOE para o cenário "U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento".	167
Figura D.38 - Requisitos dos <i>stakeholders</i> de Processo do UMB SCOE para o cenário "U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento".	168
Figura D.39 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Produto do UMB SCOE para o cenário "U34: UMB SCOE em aferição/calibração".	169
Figura D.40 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Processo do UMB SCOE para o cenário "U34: UMB SCOE em aferição/calibração".	170
Figura D.41 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Produto do UMB SCOE para o cenário "U35: UMB SCOE em manutenção".	171

Figura D.42 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Processo do UMB SCOE para o cenário "U35: UMB SCOE em manutenção".	172
Figura D.43 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Produto do UMB SCOE para o cenário "U36: UMB SCOE em transporte".	173
Figura D.44 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Processo do UMB SCOE para o cenário "U36: UMB SCOE em transporte".	174
Figura D.45 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Produto do UMB SCOE para o cenário "U4: Decomissionamento do UMB SCOE".	175
Figura D.46 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de Processo do UMB SCOE para o cenário "U4: Decomissionamento do UMB SCOE".	175
Figura D.47 - Análise de requisitos dos <i>stakeholders</i> de organização do UMB SCOE para o cenário "00: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE".	176
Figura D.48 - Análise de requisitos funcionais do UMB SCOE".	186
Figura D.49 - Análise de requisitos de interface do UMB SCOE".	187
Figura D.50 - Análise de requisitos de dependabilidade do UMB SCOE".	188
Figura D.51 - Análise de requisitos de transportabilidade do UMB SCOE".	189
Figura D.52 - Análise de requisitos de desempenho do UMB SCOE".	190
Figura D.53 - Modelagem de ambiente para cenário U13 e suas circunstâncias (operacional).	191
Figura D.54 - Modelagem de ambiente para cenário U31 e suas circunstâncias (operacional).	191
Figura D.55 - Modelagem de ambiente para cenário U32 e suas circunstâncias (operacional).	192
Figura D.56 - Modelagem de ambiente para cenário U33 e suas circunstâncias (operacional).	192
Figura D.57 - Modelagem de ambiente para cenário U11 e suas circunstâncias (não operacional).	193
Figura D.58 - Modelagem de ambiente para cenário U34 e suas circunstâncias (não operacional).	193
Figura D.59 - Modelagem de ambiente para cenário U36 e suas circunstâncias (não operacional).	194
Figura D.60 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U13.	196
Figura D.61 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U31.	197
Figura D.62 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U32.	198
Figura D.63 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U33.	199
Figura D.64 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U11.	199
Figura D.65 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U34.	199
Figura D.66 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U36.	200
Figura D.67 - Definição final das funções do UMB SCOE.	201

Figura D.68 – Estrutura funcional das funções operacionais principais do UMB SCOE. .....	203
Figura D.69 – Estrutura funcional das funções operacionais do UMB SCOE com seus elementos externos. ....	204
Figura D.70 - Estrutura funcional das funções não operacionais do UMB SCOE (funções e contexto).....	205
Figura D.71 - Estrutura funcional das funções relacionadas à proteção no UMB SCOE. .....	206
Figura D.72 - Máquina de estados para as funções F1: condicionar / distribuir energia AC e F2: prover alimentação DC. ....	207
Figura D.73 - Máquina de estados para as funções F8: proteger UMB SCOE e satélite e F3: monitorar sinais. ....	207
Figura D.74 - Diagrama de atividades com detalhamento do comportamento da função F8 e F3 (parcial).....	208
Figura D.75 - Máquina de estados para as funções F5: prover interface / controle local e F7: prover interface / controle remoto. ....	209
Figura D.76 - Máquina de estados para a função F9: gerar / simular comandos / sinalizações. ....	209
Figura D.77 - Máquina de estados para as funções F6: processar eventos / automatizar tarefas e F11: ler/armazenar informações.....	210
Figura D.78 - Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE (PBS). ....	213
Figura D.79 - Alocação de funções para a arquitetura física.....	214
Figura D.80 - Proposta de arquitetura genérica de fluxos do UMB SCOE. ....	215
Figura D.81 - Proposta de arquitetura genérica de interconexões do UMB SCOE. ....	216





## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Categorias de padrões de engenharia e sistemas. ....	13
Tabela 2.2 – Linhas de base técnicas típicas para sistemas e missões espaciais. ....	16
Tabela 2.3 – Categorias de Medidas Técnicas .....	21
Tabela 2.4 – Diagramas da linguagem SysML .....	27
Tabela 2.5 – Categorias de GSE’s.....	33
Tabela 2.6 – Requisitos Técnicos Típicos de um EGSE.....	35
Tabela 2.7 – Tipos de EGSE ao longo dos níveis de integração / testes. ....	38
Tabela 3.1 - Fases dos processos de análise e abordagem de modelagem.....	48
Tabela 3.2 – Exemplo de lista preliminar de estados e modos do sistema de interesse. .....	68
Tabela 3.3 – Exemplo de lista X-Y de eventos e respostas. ....	68
Tabela 3.4 - Lista de definição final das funções do sistema de interesse. ....	71
Tabela 3.5 – Consolidação de estados e modos a partir das funções em tabela de alocação SysML .....	75
Tabela 3.6 - Exemplo de alocação de funções para a arquitetura física do sistema de interesse. ....	77
Tabela 4.1 - Extrato do detalhamento dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE (gerada por meio da ferramenta de modelagem).....	85
Tabela 4.2 – Extrato da lista geral das preocupações dos <i>stakeholders</i> (gerada pela ferramenta de modelagem). ....	87
Tabela 4.3 – Extrato da lista consolidada de QGM/MoEs. ....	89
Tabela 4.4 – Extrato da lista consolidada dos requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE. .....	92
Tabela 4.5 – Exemplo da matriz de rastreabilidade dos requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE (gerada por meio da ferramenta de modelagem).....	93
Tabela 4.6 – Lista de pressupostos para o satélite Amazonia 1 e seu EGSE.....	94
Tabela 4.7 - Cenários Relevantes do UMB SCOE. ....	97
Tabela 4.8 – Extrato da lista preliminar de estados e modos derivados das circunstâncias para o UMB SCOE.....	100
Tabela 4.9 - Lista de definição final das funções do UMB SCOE. ....	103
Tabela 4.10 – Exemplo de lista consolidada de estados, subestados e modos derivados das funções para o UMB SCOE. ....	108
Tabela 4.11 - Exemplo de alocação de funções para a arquitetura física. ....	110
Tabela D.1 - Detalhamento dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE (gerada por meio da ferramenta de modelagem). ....	137

Tabela D.2 - Lista geral das preocupações dos <i>stakeholders</i> (gerada pela ferramenta de modelagem).....	145
Tabela D.3 - Lista Consolidada de QGM/MoEs.....	151
Tabela D.4 - Consolidação dos requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE.....	177
Tabela D.5 - Matriz de rastreabilidade dos requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE (gerada por pela ferramenta de modelagem).....	185
Tabela D.6 - Lista preliminar de estados e modos derivados das circunstâncias para o UMB SCOE. ....	194
Tabela D.7 - Lista de definição final das funções do UMB SCOE. ....	202
Tabela D.8 - Lista consolidada de estados, sub-estados e modos derivados das funções para o UMB SCOE.....	211

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AADL	Architecture Analysis & Design Language
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Alternate Current (Corrente Alternada)
act	Activity Diagram
AEB	Agência Espacial Brasileira
AIT	Assembly, Integration and Testing
AIV	Assembly, Integration and Verification
ASM	Acquisition Strategy Meeting
ASP	Acquisition Strategy Planning Meeting
bdd	Block Definition Diagram
C4ISR	Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
CAD	Computer Aided Design
CDR	Critical Design Review
CERR	Critical Events Readiness Review
CONAIT	Conceito de AIT
CREA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CSE	Área de Concentração de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais
DAQ	Data Acquisition
DC	Direct Current
DESV	Desenvolvedor (a)
DoDAF	Department of Defense Architecture Framework
DR	Decommissioning Review

DRB	Design Review Board
DSL	Domain Specific Language
DSML	Linguagem de Modelagem Específica De Domínio
EC	Emissão Conduzida
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
EGSE	Electrical Ground Support Equipment
EMI	Eletromagnetic Interference
ESA	European Space Agency
ESA-AF	European Space Agency Architectural Framework
ESE	Electric Support Equipment
ETE	Engenharia e Tecnologias Espaciais
FAD	Formulation Authorization Document
FGSE	Fluids Ground Support Equipment
FRR	Flight Readiness Review
GP	Garantia do Produto
GQM	Goal-Question-Metric
GSE	Ground Support Equipment
GSTS	Ground Station System
HCI	Human-Computer Interaction
HLA	High Level Architecture
HW	Hardware
Ibd	Internal Block Diagram
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFC	Interface

IHM	Interface Humano-Máquina
INCOSE	International Council on Systems Engineering
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO	International Organization for Standardization
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KDP	Key Decision Point
LAN	Local Area Network
LIT	Laboratório de Integração e Testes
LRR	Launch Readiness Review
LSIS	Laboratório de Engenharia de Sistemas
LV	Launch Vehicle
MathML	Mathematical Markup Language
MBSE	Model Based Systems Engineering
MBSE4EGSE	Model Based Systems Engineering for Electrical Ground Support Equipment
MCR	Mission Concept Review
MCS	Mission Control System
MDA®	Model Driven Architecture
MGSE	Mechanical Ground Support Equipment
MODAF	Ministry of Defense Architecture Framework
MoE	Measure of Effectiveness
MoP	Measure of Performance
MTTF	Mean Time To Failure
NAF	Nato Architecture Framework
NAR	Non-Advocate Review
NASA	National Aeronautics and Space Administration

NC	Non-Conformance
NRB	Non-Conformance Review Board
OCOE	Overall Checkout Equipment
OMG	Object Management Group
OOSEM	Object-Oriented Systems Engineering Method
OPM	Object Process Method
ORR	Operational Readiness Review
OSC	Organizational Stakeholder Concern
OWL	Web Ontology Language
PBS	Product Breakdown Structure
PDR	Preliminary Design Review
PDIG	Processo de Desenvolvimento Integrado de GSEs
PFAR	Post Flight Assessment Review
PLAR	Post Launch Assessment Review
PNAR	Preliminary Non-Advocate Review
PNL	Panel
PPO	Produto, Processo ou Organização
PROT	Proteção
PRR	Production Readiness Review
PW / PWR	Power
QVT	OMG Query View Transformation
REQ	Requisito
RF	Rádio-Frequência
ROT	Roteamento
RS-422	Differential Serial Interface Standard 422









RUP-SE	Rational Unified Process for Systems Engineering
SAR	System Acceptance Review
SAS	Solar Array Simulator
SAT	Satellite
SC	SpaceCraft
SCOE	Specific Checkout Equipment
SDR	System Definition Review
SEP	Separation
SH	Stakeholder
SHC	Stakeholder Concern
SHR	Stakeholder Requirement
SID	Serviço de Informação e Documentação
SIG / SIGN	Signal
SIM	Simulation
SIR	System Integration Review
SIS	Satellite Interface Simulator
SMSR	Safety and Mission Success Review
S.O.I	System Of Interest
SPC	Specification
SPG	Serviço de Pós-Graduação
SRR	System Requirements Review
SW	Software
SYS	System
SysML	Systems Modeling Language
TC	Telecommand

TDI	Teses e Dissertações Internas
TM	Telemetry
TM&TC	Telemetry and Telecommand
TOGAF	The Open Group Architecture Framework
TPM	Technical Performance Measurement
TRB	Test Review Board
TRR	Test Readiness Review Board
TT&C / TTC	Telemetry, Telecommand and Control
UMB	Umbilical
UML	Unified Modeling Language
VHDL	VHSIC Hardware Description Language






## LISTA DE SÍMBOLOS





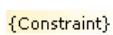




### **Símbolos utilizados em diagramas de caso de uso**

-  Ator (*actor*)
-  Ator do tipo *stakeholder* (*stakeholder actor*)
-  Caso de uso (*usecase*)
-  Comentário (*comment*)
-  Associação (*association*)
-  Âncora (*anchor*)
-  Estereótipo (*stereotype*)
-  Pacote (*package*)





### **Símbolos utilizados em diagramas de requisitos**



-  Requisito (*requirement*)
-  Relacionamento (*relationship*)
-  Estereótipo (*stereotype*)

### **Símbolos utilizados em diagramas de blocos internos**









-  Propriedade (*property*)
-  Propriedade com subpropriedade (*property with subproperty*)
-  Conexão (*connection*)
-  Item de fluxo de informação (*item flow or information item*)
-  Restrição (*constraint*)
-  Porta de fluxo de entrada (*input flow port*)
-  Porta de fluxo de saída (*output flow port*)
-  Indicador de estrutura interna (*internal structure indicator*)
-  Estereótipo (*stereotype*)

### **Símbolos utilizados em diagramas de atividades**













-  Nó inicial (*initial node*)
-  Fusão (*merge*)
-  Decisão (*decision*)
-  Atividade (*activity*)

-  Ação de envio de sinal (*send signal action*)
-  Estereótipo (*stereotype*)

### **Símbolos utilizados em diagramas de atividades (cont.)**

-  Port de entrada / saída (*input / output port*)
-  Fluxo de objeto (*object flow*)
-  Fluxo de controle (*control flow*)
-  Âncora (*anchor*)
-  Manipulador de exceção (*exception handler*)
-  Bifurcação (*fork*)
-  Junção (*junction*)
-  Raias (*swimlanes*)

### **Símbolos utilizados em diagramas de estado**

-  Estado (*state*)
-  Estado com ações (*state with actions*)
-  Transição de estados (*state transition*)
-  Auto-transição de estados (*state self-transition*)
-  Pseudo-estado inicial (*initial pseudo-state*)
-  Pseudo-estado final (*final pseudo-state*)
-  Pseudo-estado terminal (*terminate pseudo-state*)
-  Ponto de entrada (*entry point*)
-  Histórico Profundo (*deep history*)
-  Bifurcação (*fork*)
-  Junção (*junction*)
-  Escolha (*choice*)

# SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação .....	1
1.2 Definição do problema .....	2
1.3 Solução proposta.....	3
1.4 Objetivo da dissertação .....	4
1.5 Metodologia .....	4
1.6 Estrutura do documento.....	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	7
2.1 Processos de engenharia de sistemas .....	7
2.1.1 Visão geral de engenharia de sistemas.....	7
2.1.2 O processo de engenharia de sistemas .....	8
2.2 Processos de engenharia de sistemas espaciais .....	14
2.3 Medição técnica em engenharia de sistemas.....	18
2.4 O método <i>goal-question-metric</i> (GQM) .....	21
2.5 Engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE).....	24
2.6 SysML.....	26
2.6.1 Visão geral dos diagramas SysML.....	27
2.7 Equipamentos de suporte em solo (GSE's).....	32
2.7.1 Equipamentos de suporte elétrico em solo (EGSEs) .....	33
2.7.2 Processos de engenharia de EGSEs .....	38
2.8 Trabalhos anteriores.....	41
2.8.1 Processo de referência LIT/LSIS.....	41
2.8.2 Desenvolvimento integrado de GSE's.....	45
3 MBSE4EGSE - abordagem MBSE para desenvolvimento de EGSE .....	48
3.1 Fases da MBSE4EGSE .....	48
3.2 Guia de aplicação da MBSE4EGSE .....	51
3.2.1 Análise de missão .....	51
3.2.1.1 Análise de contexto / conceito de operações.....	51

3.2.1.2	Análise do ciclo de vida .....	52
3.2.1.3	Análise de cenários do ciclo de vida .....	52
3.2.2	Análise de <i>stakeholders</i> .....	53
3.2.2.1	Identificação de <i>stakeholders</i> .....	53
3.2.2.2	Preocupações dos <i>stakeholders</i> .....	55
3.2.2.3	Medidas de efetividade (MoEs) .....	56
3.2.2.4	Requisitos de <i>stakeholders</i> .....	62
3.2.3	Análise de requisitos do sistema .....	64
3.2.4	Análise funcional.....	65
3.2.4.1	Identificação de fronteiras, interfaces e análise de ambiente .....	65
3.2.4.2	Definição de estados e modos de operação do sistema de interesse 67	
3.2.4.3	Identificação de eventos e respostas do sistema de interesse.....	68
3.2.4.4	Definição de funções .....	70
3.2.4.5	Análise de estrutura funcional .....	71
3.2.4.6	Análise de comportamento funcional .....	73
3.2.4.7	Consolidação da definição de estados e modos .....	74
3.2.5	Análise de implementação.....	76
3.2.5.1	Proposta de arquitetura física genérica.....	76
3.2.5.2	Alocação de funções .....	76
3.2.5.3	Proposta de arquitetura física genérica de fluxos.....	77
3.2.5.4	Proposta de arquitetura física genérica de interconexões.....	78
4	EXEMPLO DE APLICAÇÃO .....	80
4.1	Análise e modelagem do UMB SCOE.....	81
4.1.1	Análise de missão do UMB SCOE.....	81
4.1.1.1	Análise de contexto / conceito de operação do UMB SCOE.....	82
4.1.1.2	Análise de ciclo de vida do UMB SCOE .....	82
4.1.1.3	Análise dos cenários do ciclo de vida do UMB SCOE.....	83
4.1.2	Análise de <i>stakeholders</i> do UMB SCOE.....	83
4.1.2.1	Identificação dos <i>stakeholders</i> de do UMB SCOE .....	83
4.1.2.2	Preocupações dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE .....	85

4.1.2.3	Medidas de efetividade do UMB SCOE.....	87
4.1.2.4	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE .....	90
4.1.3	Análise de requisitos do UMB SCOE .....	94
4.1.4	Análise funcional do UMB SCOE.....	97
4.1.4.1	Identificação das fronteiras, interfaces e análise de ambiente do UMB SCOE.....	97
4.1.4.2	Estados e modos de operação do UMB SCOE derivados das circunstâncias.....	99
4.1.4.3	Eventos e respostas do UMB SCOE nos cenários .....	100
4.1.4.4	Definição de funções do UMB SCOE.....	102
4.1.4.5	Análise de estrutura funcional do UMB SCOE .....	103
4.1.4.6	Análise de comportamento funcional do UMB SCOE .....	105
4.1.4.7	Consolidação dos estados e modos do UMB SCOE a partir das funções	108
4.1.5	Análise de implementação do UMB SCOE .....	109
4.1.5.1	Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE.....	109
4.1.5.2	Alocação de funções do UMB SCOE .....	110
4.1.5.3	Proposta de arquitetura física genérica de fluxos do UMB SCOE ...	111
4.1.5.4	Proposta de arquitetura física genérica de interconexões do UMB SCOE	112
5	DISCUSSÃO.....	113
5.1	Diferenças entre PDIG e MBSE4EGSE.....	113
5.2	Diferenças entre a MBSE4EGSE final e artigos publicados.....	115
5.2.1	Análise de <i>stakeholders</i> - medidas de efetividade .....	115
5.2.2	Análise funcional - identificação de fronteiras, interfaces e análise de ambiente.....	116
5.2.3	Análise funcional – definição de estados e modos .....	116
5.2.4	Análise funcional – estrutura e comportamento funcional.....	117
5.3	Limitações .....	118
5.3.1	Modelos paramétricos.....	118
5.3.2	Análise de perigos e FMEA.....	118
5.3.3	Limitações da ferramenta de modelagem .....	119

5.3.4	Validação externa .....	120
6	CONCLUSÃO .....	121
6.1	Consecução dos objetivos da dissertação .....	121
6.2	Contribuições .....	122
7	TRABALHOS FUTUROS.....	123
7.1	Análises de <i>trade-off</i> :.....	123
7.2	Simulações de processos organizacionais .....	123
7.3	Reuso de modelos .....	124
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125
	APÊNDICE A - REPOSITÓRIO DE MODELAGEM .....	128
	APÊNDICE B - SysML PROFILE MBSE4EGSE COMPLETO .....	130
	APÊNDICE C - PUBLICAÇÕES.....	131
	APÊNDICE D - MODELAGEM COMPLETA DO UMB SCOE .....	135
D.1	Análise de missão do UMB SCOE .....	135
D.1.1	Conceito de operação do UMB SCOE .....	135
D.1.2	Ciclo de vida do UMB SCOE .....	136
D.1.3	Cenários do ciclo de vida do UMB SCOE .....	136
D.2	Análise de <i>stakeholders</i> do UMB SCOE .....	136
D.2.1	Identificação dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE .....	136
D.2.2	Preocupações dos <i>stakeholders</i> de produto e processo do UMB SCOE .....	138
D.2.3	Preocupações dos <i>stakeholders</i> de organização do UMB SCOE .....	144
D.2.4	Lista geral das preocupações dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE.....	145
D.2.5	Medidas de efetividade / desempenho do UMB SCOE .....	149
D.2.5.1	MoEs para o cenário U0: desenvolvimento do UMB SCOE .....	149
D.2.5.2	MoEs para para o cenário U11: fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE.....	150
D.2.6	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE .....	153
D.2.6.1	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U0: desenvolvimento do UMB SCOE” .....	153
D.2.6.2	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U11: fabricação/aquisição de componentes” .....	155

D.2.6.3	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U12: montagem e integração de componentes do UMB SCOE” .....	158
D.2.6.4	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U13: verificação do UMB SCOE” .....	160
D.2.6.5	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U2: transição do UMB SCOE” .....	162
D.2.6.6	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U31: validação do UMB SCOE” .....	163
D.2.6.7	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U32: operação do UMB SCOE em AIT” .....	165
D.2.6.8	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U33: operação do UMB SCOE em lançamento” .....	167
D.2.6.9	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U34: UMB SCOE em aferição/calibração” .....	169
D.2.6.10	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U35: UMB SCOE em manutenção” .....	171
D.2.6.11	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U36: UMB SCOE em transporte” .....	173
D.2.6.12	Requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE para o cenário “U4: decomissionamento do UMB SCOE” .....	175
D.2.6.13	Requisitos dos <i>stakeholders</i> de organização do UMB SCOE para o cenário “OO: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE” .....	176
D.2.7	Consolidação de requisitos dos <i>stakeholders</i> do UMB SCOE.....	177
D.3	Análise de requisitos do UMB SCOE .....	186
D.3.1	Requisitos funcionais do UMB SCOE .....	186
D.3.2	Requisitos de interface do UMB SCOE.....	187
D.3.3	Requisitos de dependabilidade do UMB SCOE .....	188
D.3.4	Requisitos de transportabilidade do UMB SCOE.....	189
D.3.5	Requisitos de desempenho do UMB SCOE .....	190
D.4	Análise Funcional do UMB SCOE .....	191
D.4.1	Identificação das fronteiras, interfaces e análise de ambiente do UMB SCOE	191
D.4.1.1	Cenários Operacionais .....	191

D.4.1.2	Cenários não-operacionais.....	193
D.4.2	Estados e modos do UMB SCOE derivados das circunstâncias.....	194
D.4.3	Eventos e respostas do UMB SCOE nos cenários .....	196
D.4.3.1	Cenários operacionais.....	196
D.4.3.2	Cenários não-operacionais.....	199
D.4.4	Definição de funções do UMB SCOE.....	201
D.4.5	Análise de estrutura funcional do UMB SCOE.....	203
D.4.6	Análise de comportamento funcional do UMB SCOE .....	207
D.4.7	Consolidação dos estados e modos do UMB SCOE a partir das funções	211
D.5	Análise de implementação do UMB SCOE.....	213
D.5.1	Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE.....	213
D.5.2	Alocação de funções do UMB SCOE .....	214
D.5.3	Proposta de arquitetura física genérica de fluxos do UMB SCOE .....	215
D.5.4	Proposta de arquitetura física genérica de interconexões do UMB SCOE	216



# **1 INTRODUÇÃO**

O ciclo de vida de desenvolvimento de um produto aeroespacial envolve inúmeros processos complexos de desenvolvimento de produto e também processos organizacionais, que devem colaborar para a consecução dos objetivos tanto do desenvolvimento como da missão.

Dentro desse ciclo de vida, se encontram os processos de montagem, integração e testes. Esses processos necessitam de produtos de suporte para serem realizados. Tais produtos de suporte incluem EGSEs (Equipamento de Apoio Elétrico em Solo) e MGSEs (Equipamentos de Apoio Mecânico em Solo). Esses produtos são produtos complexos que também necessitam de um processo de engenharia de sistemas para serem desenvolvidos. A engenharia de sistemas usou originalmente uma abordagem baseada em documentos e cada vez mais se torna uma abordagem baseada em modelos. Esta dissertação versa sobre a engenharia de sistemas baseada em modelos para o desenvolvimento dos EGSEs.

## **1.1 Motivação**

Em uma missão espacial, geralmente o sistema do segmento espacial (ou de voo, que normalmente é o sistema de interesse), e os sistemas de suporte ou sistemas habilitantes (como é o caso dos EGSEs) são desenvolvidos por equipes e até mesmo por organizações diferentes.

Em um contexto cuja complexidade tende a aumentar ao longo do ciclo de vida de desenvolvimento, a dificuldade de gerenciamento também aumenta consideravelmente.

O aumento da complexidade do sistema exige práticas de engenharia de sistemas mais rigorosas e formalizadas. Em resposta a essa demanda, juntamente com os avanços na tecnologia computacional, a prática da engenharia de sistemas passa por uma transição fundamental de uma abordagem baseada em documentos, para uma abordagem baseada em modelos (FRIEDENTHAL et al, 2015).

## 1.2 Definição do problema

Devido ao processo de maturação comumente necessário desde a concepção até o momento de início da Integração e Testes de um Sistema Espacial, normalmente o ciclo de vida do desenvolvimento dos EGSEs acaba ficando "comprimido" em uma janela de tempo muito estreita, e boas práticas de engenharia de sistemas acabam sendo abandonadas, diante da urgência em se disponibilizar os meios de testes o quanto antes possível, com prejuízos ao projeto e ao reuso da arquitetura de testes e seus processos em missões futuras. (VENTICINQUE, 2017).

Para que se tenha como viável a utilização das técnicas de engenharia de sistemas no desenvolvimento de EGSEs para produtos espaciais é necessário que as necessidades dos *stakeholders* ligados às fases de montagem, integração e testes, assim como os requisitos de missão, de sistema e de subsistemas relativos a tais equipamentos sejam considerados mais cedo nas fases do produto espacial como um todo.

Previamente ao surgimento das abordagens com MBSE e linguagens de modelagem descritivas como SysML, muitos processos de engenharia de sistemas tendiam a ser documento-intensivos (também conhecidos como centrados em documentos), e empregavam uma mistura variada de técnicas e de diagramas e uma diversidade de fontes de informações, que são em geral imprecisos e inconsistentes. Isso por vezes acaba estendendo os prazos necessários à concepção e desenvolvimento da solução espacial em si, e causando dificuldades no entendimento das informações para o desenvolvimento dos EGSEs que irão testá-la, além do desencontro e dificuldade da comunicação dos requisitos e projetos arquiteturais entre as equipes envolvidas.

No contexto de buscas por melhorias no campo da Engenharia de Sistemas, organizações como o OMG (*Object Management Group*) e o INCOSE (*International Council on Systems Engineering*) têm elaborado diversas especificações da linguagem SysML, que é uma linguagem de modelagem de uso geral para aplicações de engenharia de sistemas, e apoia a especificação,

análise, projeto, verificação e validação de uma ampla gama de sistemas complexos. Estes sistemas podem incluir hardware, software, informações, processos, pessoal e instalações (OMG, 2015). SysML pode ser descrito resumidamente como um perfil da especificação UML 2.0.

Embora a SysML tenha se tornado o padrão de fato para o uso de MBSE, tendo sido adotada por uma ampla gama de fornecedores de ferramentas, ainda é necessária uma melhor base metodológica para seu uso, pois a SysML, como uma linguagem gráfica em si, define um conjunto de diagramas, elementos de modelagem, sintaxe e semântica e, como qualquer linguagem, formal ou informal, pode ser usada de muitas maneiras diferentes, incluindo maneiras inadequadas. Mais notavelmente, é possível utilizar a linguagem para criar modelos não representativos dos sistemas reais envolvidos.

### **1.3 Solução proposta**

Algumas das vantagens mais importantes da abordagem de MBSE são: (1) Controle de configuração menos oneroso; (2) A apresentação é desacoplada de dados; (3) Melhora da integração entre as disciplinas e a troca de dados por meio dos processos de ES; (4) Os dados do sistema são compreensíveis por máquinas e (5) A vantagem de se ter um modelo executável do sistema que descreve o seu comportamento (KONING et al, 2010).

A fim de se criar uma base metodológica adequada para uso em engenharia de sistemas, em específico direcionada ao uso no desenvolvimento de equipamentos de testes elétricos de em solo (EGSE), a solução proposta nesta dissertação cria uma abordagem padronizada para uso da linguagem SysML, aliada a frameworks de teor processual, e com uso de ferramentas de modelagem bem estabelecidas no mercado, que ajude a direcionar o uso da mesma seguindo processos consagrados e comprovados de desenvolvimento de produtos e de organizações.

A demonstração da abordagem proposta é feita por meio da aplicação prática do método desenvolvido em um caso de uso real representativo da área de conhecimento em questão, com adequada didática de sua aplicação, de forma

que se mostre uma forma de aplicação do método, que possa ser seguido e aplicado posteriormente a outros casos de análise.

#### **1.4 Objetivo da dissertação**

O objetivo principal deste trabalho é propor uma abordagem de *Model Based Systems Engineering* (MBSE), que seja aplicável a Equipamentos de Suporte Elétrico de Solo (EGSE) para a Montagem, Integração e Testes (AIT) de Sistemas Espaciais.

Ao final, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Propor uma abordagem genérica de engenharia de sistemas baseada em modelos, especializada para EGSEs, devidamente documentada;
- b) Propor um guia para a aplicação da abordagem baseada em modelos para EGSEs;
- c) Aplicar o guia em um exemplo de aplicação documentado. O exemplo foi a modelagem de um elemento do EGSE para o satélite Amazônia 1;

#### **1.5 Metodologia**

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho baseou-se no estudo de trabalhos anteriores efetuados no campo de aplicação de desenvolvimento de equipamentos de testes de solo, e de dissertações prévias ligadas a frameworks de processos de engenharia de sistemas, cujos princípios podem ser diretamente aplicados ao desenvolvimento de EGSEs. Destacam-se os trabalhos de Loureiro (1999), que estabeleceu o Framework de Visão Total, o Processo de Análise Estruturada de Sistemas (PAES), e Venticinque (2017) o qual estabeleceu o Processo de Desenvolvimento Integrado de GSE's (PDIG), com aspectos da engenharia simultânea e da engenharia de sistemas, prontamente utilizável em programas e produtos da área aeroespacial.

Esta dissertação, de certa forma, complementa este último trabalho, oferecendo uma abordagem MBSE para o PDIG, com certas adequações e reformulações para viabilizar o uso da SysML e de ferramentas de modelagem atuais.

Para tanto, as seguintes etapas foram seguidas de forma ordenada:

- a) Pesquisa em literaturas e publicações científicas sobre os assuntos pertinentes ao tema abordado (Engenharia de Sistemas, Frameworks de Processos e Desenvolvimento de Equipamentos Elétricos de Solo);
- b) Pesquisa em obras e publicações sobre uso de SysML e MBSE, bem como de documentações pertinentes da ferramenta de desenvolvimento escolhida para a modelagem;
- c) Desenvolvimento de uma abordagem e guia para uso de MBSE e SysML aplicada ao desenvolvimento de EGSE's;
- d) Aplicação da abordagem MBSE desenvolvida (modelagem de um caso prático). O modelo foi refinado de forma iterativa ao longo do estudo, conforme necessário;
- e) Análise dos resultados obtidos e conclusões.

Não fez parte do escopo dessa dissertação a análise de diversas ferramentas de modelagem MBSE ou SysML existentes no mercado ou mesmo a sua comparação, sendo que o autor decidiu pelo uso da ferramenta considerada de menor curva de aprendizado e disponibilidade à época da elaboração do exemplo de aplicação.

## 1.6 Estrutura do documento

Este trabalho está estruturado em 07 capítulos, da seguinte forma:

**Capítulo 1 - Introdução:** introduz o assunto do qual trata esta dissertação, o problema a ser resolvido, a solução proposta para resolver este problema, o objetivo esperado e a metodologia a ser utilizada;

**Capítulo 2 - Fundamentação Teórica:** aborda a fundamentação teórica dos principais assuntos e conceitos básicos abordados por esta dissertação e trabalhos anteriores que fundamentam o conhecimento para a realização deste trabalho;

**Capítulo 3 - Abordagem MBSE para desenvolvimento de EGSE:** apresenta a abordagem genérica para desenvolvimento de EGSE's baseada em modelos proposto na presente dissertação e seu guia de aplicação, com as diretivas genéricas para a aplicação da abordagem MBSE na modelagem de EGSE's;

**Capítulo 4 - Exemplo de Aplicação:** apresenta um exemplo de aplicação utilizando-se a abordagem MBSE na modelagem de um elemento do EGSE do satélite Amazonia 1;

**Capítulo 5 - Discussão:** apresenta as discussões sobre as dificuldades encontradas, limitações e comparações entre esta dissertação e outras literaturas e dissertações publicadas.

**Capítulo 6 - Conclusão:** apresenta os resultados obtidos durante os estudos realizados e analisando a consecução dos objetivos dessa dissertação.

**Capítulo 7 – Trabalhos futuros:** apresenta as perspectivas e propostas do autor para a continuação deste trabalho em pesquisas futuras.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais conceitos e definições utilizados no desenvolvimento desta dissertação.

### **2.1 Processos de engenharia de sistemas**

#### **2.1.1 Visão geral de engenharia de sistemas**

“Engenharia de Sistemas é uma abordagem multidisciplinar para desenvolver soluções de sistema balanceadas, em resposta a necessidades de *stakeholders*” (Friedenthal, 2015).

Uma outra definição estabelece que “Engenharia de sistemas é a arte e a ciência de desenvolver um sistema operável que satisfaz requisitos dentro de restrições impostas” (Larson, 2015).

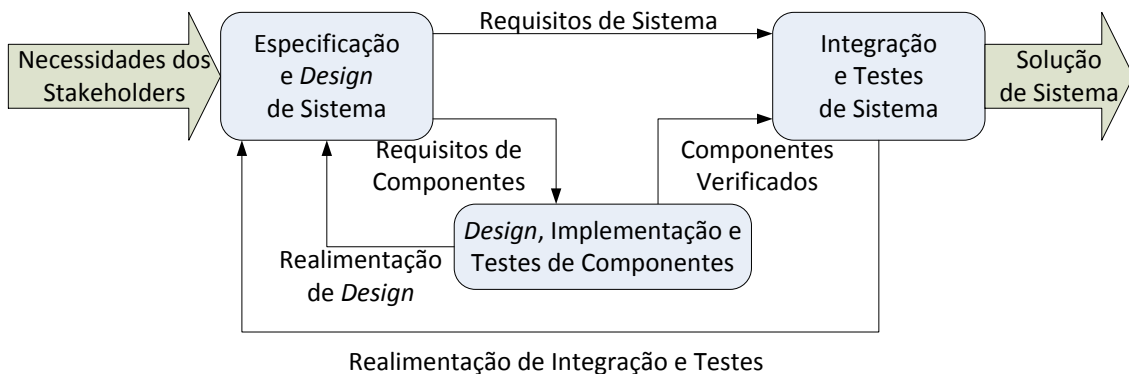
Existem diversas motivações para a utilização da Engenharia de Sistemas. Algumas são apresentadas a seguir:

- Sistemas com expectativa de desempenhar níveis mais altos atualmente do que a uma geração atrás;
- Aumento contínuo de capacidade;
- Requisitos para maior funcionalidade, interoperabilidade, desempenho, confiabilidade e tamanhos menores;
- Maior demanda de interconectividade entre os sistemas;
- Aumento da complexidade de Sistemas de Sistemas interligados (SoS).

## 2.1.2 O processo de engenharia de sistemas

A Figura 2.1 a seguir apresenta de maneira simplificada os processos técnicos comumente envolvidos na engenharia de sistemas.

Figura 2.1 - Processos técnicos simplificados de engenharia de sistemas.



Fonte: Friedenthal (2015).

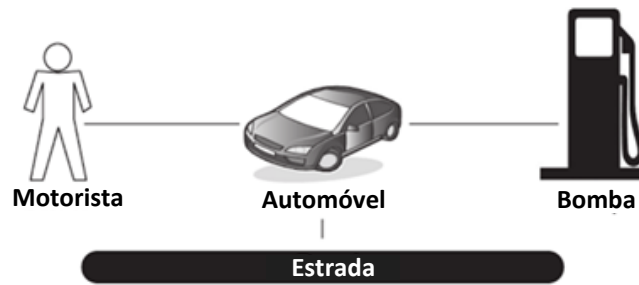
No exemplo citado, o Processo de Especificação de Sistema e Projeto (*System Specifications and Design*) normalmente pressupõe ao menos as seguintes atividades:

- Elicitar e analisar necessidades e *stakeholders*;
- Especificar os requisitos do sistema;
- Sintetizar soluções alternativas de arquitetura de sistema;
- Executar análises de trade-off entre as alternativas e decidir a melhor;
- Manter rastreabilidade.

Uma aplicação típica do processo de engenharia de sistemas seria o projeto (Design) de um automóvel. Neste caso, de forma simplificada, uma das primeiras análises a serem feitas seria a definição do contexto ou fronteiras do sistema, conforme ilustrado na Figura 2.2.



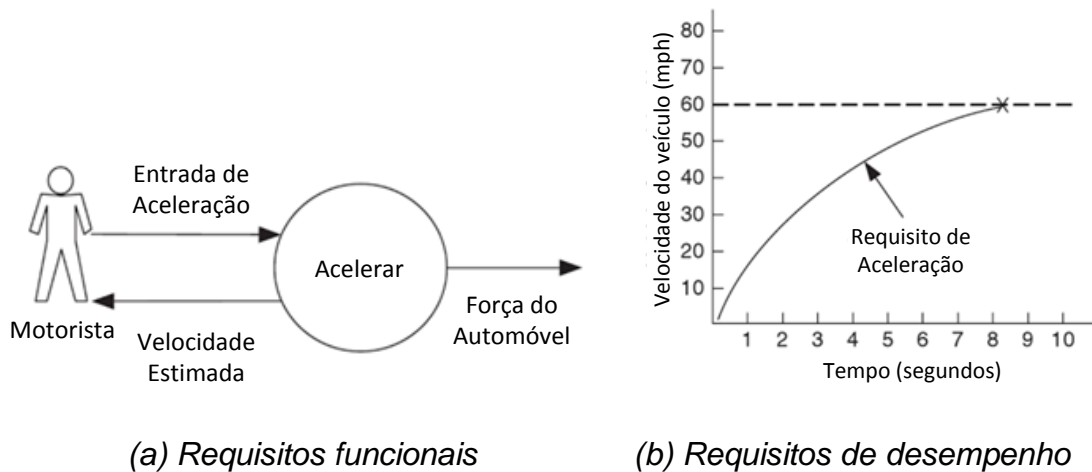
Figura 2.2 - Definição das fronteiras (contexto) do sistema.



Fonte: Friedenthal (2015).

Em seguida, seria necessário definir os requisitos funcionais e de desempenho, conforme mostrado pela Figura 2.3.

Figura 2.3 - Requisitos funcionais e de desempenho.



Fonte: Friedenthal (2015).

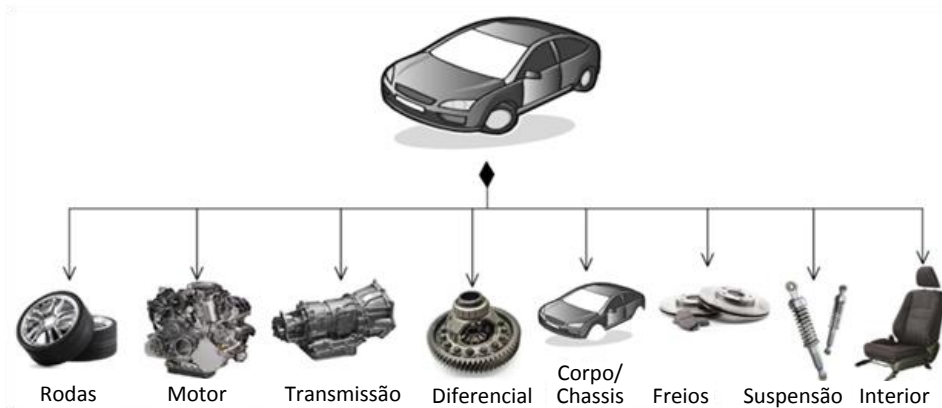
Requisitos adicionais a serem definidos seriam, por exemplo:

- Condução confortável
- Eficiência de consumo de combustível;
- Confiabilidade;
- Manutenibilidade;

- Segurança
- Emissões

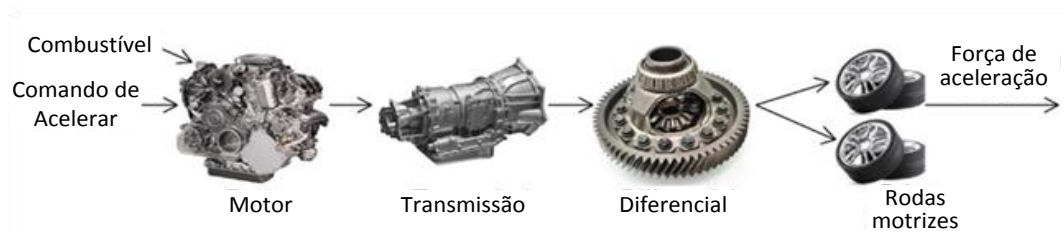
A Figura 2.4 apresenta a identificação dos componentes do sistema:

Figura 2.4 - Decomposição do sistema de um automóvel em seus componentes.



Fonte: Friedenthal (2015).

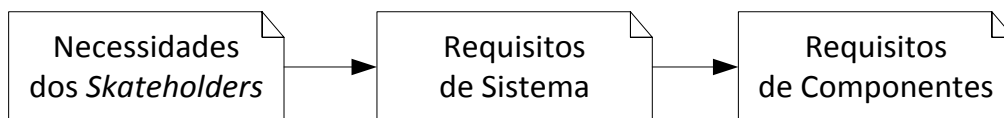
Figura 2.5 - Interação entre componentes para satisfazer os requisitos de sistema.



Fonte: Friedenthal (2015).

Requisitos de sistema e de seus componentes devem ser claramente rastreáveis até as necessidades dos *stakeholders*, conforme ilustrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Rastreabilidade das necessidades dos *stakeholders* até os requisitos de sistema e de componentes.



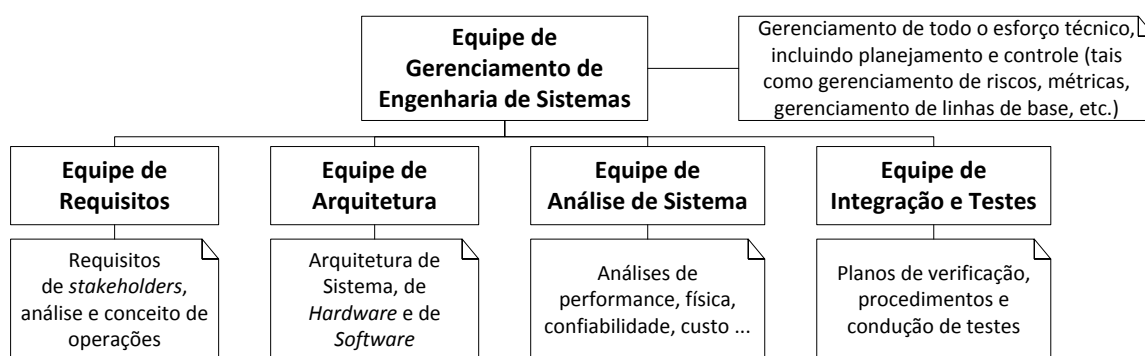
Fonte: Adaptado de Friedenthal (2015).

Alternativas de design são avaliadas para atingir um *design* balanceado ao mesmo tempo em que se visa atender múltiplos requisitos que competem entre si por recursos (análise de *trade-off*).

Uma equipe de projetos multidisciplinar deve incluir representantes de cada uma das perspectivas do domínio de usuário final e domínios técnicos envolvidos, com expertises variadas, a fim de representar adequadamente diversas perspectivas de *stakeholders* do sistema. Uma equipe típica de engenharia de sistemas é ilustrada na

Figura 2.7:

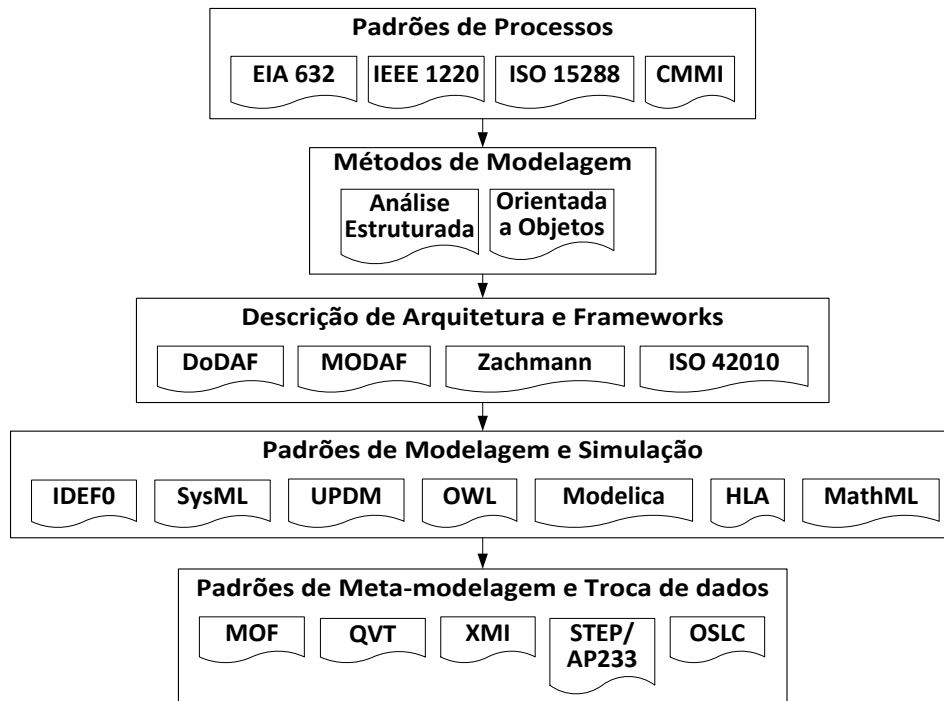
Figura 2.7 - Típica equipe multidisciplinar de engenharia de sistemas.



Fonte: Friedenthal (2015).

Os padrões de engenharia de sistemas igualmente evoluíram ao longo dos últimos anos. A Figura 2.8 abaixo mostra uma taxonomia parcial das normas existentes.

Figura 2.8 - Taxonomia parcial de padrões de engenharia de sistemas.



Fonte: Friedenthal (2015).

Um processo de engenharia de sistemas geralmente define quais atividades são realizadas, mas não detalha sobre como elas são executadas. Já um método de engenharia de sistemas descreve como as atividades são desempenhadas e os tipos de artefatos de engenharia de sistemas que devem ser produzidos.

Adicionalmente, surgiram diversos Frameworks destinados a apoiar o desenvolvimento da arquitetura de sistemas. Padrões de modelagem é outra classe de padrões de engenharia de sistemas que inclui linguagens de modelagem comuns para descrever sistemas.

A Tabela 2.1 apresenta alguns exemplos de categorias de padrões atualmente existentes.

Tabela 2.1 – Categorias de padrões de engenharia e sistemas.

Categoria	Exemplos
Métodos de engenharia de sistemas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harmony;</li> <li>• Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM);</li> <li>• Rational Unified Process for Systems Engineering (RUP SE);</li> <li>• State Analysis Method;</li> <li>• Vitech Model-Based Systems Engineering Method;</li> <li>• Object Process Method (OPM);</li> </ul>
Frameworks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zachman Framework;</li> <li>• C4ISR framework;</li> <li>• Department of Defense Architecture Framework (DoDAF);</li> <li>• Ministry of Defense Architecture Framework (MODAF);</li> <li>• IEEE 1471-2000;</li> <li>• ISO/IEC 42010:2007;</li> <li>• The Open Group Architecture Framework (TOGAF);</li> <li>• Nato Architecture Framework (NAF);</li> <li>• ESA-AF (European Space Agency Architectural Framework);</li> </ul>
Padrões de modelagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zachman Framework;</li> <li>• C4ISR framework;</li> <li>• Department of Defense Architecture Framework (DoDAF);</li> <li>• Ministry of Defense Architecture Framework (MODAF);</li> <li>• IEEE 1471-2000;</li> <li>• ISO/IEC 42010:2007;</li> <li>• The Open Group Architecture Framework (TOGAF);</li> <li>• Arcadia (Thales Group)</li> </ul>
Outros padrões relevantes de modelagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelica;</li> <li>• High Level Architecture (HLA);</li> <li>• Mathematical Markup Language (MathML);</li> <li>• Architecture Analysis &amp; Design Language (AADL);</li> <li>• Web Ontology Language (OWL);</li> </ul>
Padrões de troca de modelos e dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Model Driven Architecture (MDA®)</li> <li>• OMG Query View Transformation (QVT)</li> </ul>
Padrões de linguagens de modelagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SysML</li> <li>• Arcadia/Capella DSL (Arcadia/Capella Domain Specific Language)</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Friedenthal (2015).

A linguagem SysML destina-se a suportar diferentes métodos de engenharia de sistemas. Arcadia/Capella DSL é uma linguagem em desenvolvimento pelo grupo Thales, específica para o método Arcadia, criado em 2007, o qual deve em breve ser tornado um padrão aberto. Foi publicado em 7 de Março de 2018, e Capella foi lançada como uma solução MBSE Open-Source, em um esforço conduzido pelo consórcio Clarity.

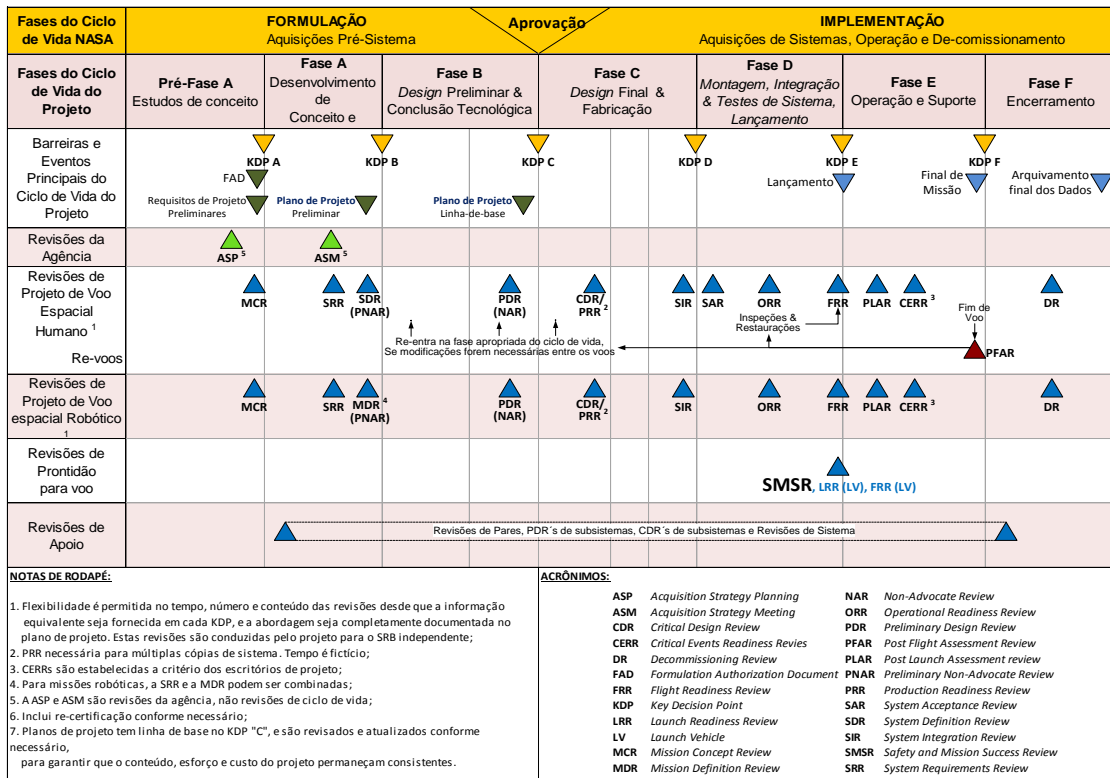
## **2.2 Processos de engenharia de sistemas espaciais**

Sistemas espaciais, por natureza, constituem-se em sistemas complexos, ou conjuntos de sistemas de sistemas interagindo entre si em condições sujeitas a diversas restrições, além de estarem sujeitos a ciclos de vida de projeto e desenvolvimento longos.

Inúmeras instituições ligadas ao setor aeroespacial mundial desenvolveram, ao longo dos anos, processos de ciclo de vida baseados em fases, conforme as necessidades de seus programas espaciais, tais como NASA, DOD, ECSS, entre outras. A Figura 2.9 apresenta a abordagem de ciclo de vida baseada em fases especificada pela NASA.

Nesse modelo, o projeto é segregado em duas partes principais ou fases "nível-agência", que são as de "Formulação" e "Implementação", e estas são subdivididas em fases de projeto, que são onde a equipe do projeto realiza seu trabalho, e são também onde processos, procedimentos e produtos são submetidos a revisões externas e pontos de decisão chave.

Figura 2.9 - Processos de ciclo de vida de projeto segundo a NASA.



Fonte: Adaptado de Larson (2015).

Nos pontos de revisões externas e de decisão chave, quando o conjunto de trabalho atingir o nível de maturidade necessário para que o projeto possa oficialmente progredir para a próxima fase, são estabelecidas "linhas de base", que dividem o trabalho já realizado do trabalho futuro e em andamento. A Tabela 2.2 apresenta algumas linhas de base técnicas típicas para sistemas e missões espaciais.

Tabela 2.2 – Linhas de base técnicas típicas para sistemas e missões espaciais.

Linha de Base	Descrição	Artefatos técnicos representativos	Estabelecida em
Missão	Objetivos e necessidades de missão plenamente articulados e afirmados pelas partes interessadas, bem como o conceito para atingir esses objectivos	Necessidades, metas e objetivos; Requisitos da missão	MCR
Sistema	Requisitos funcionais e de desempenho caracterizando sistemas que executam o conceito de missão,	Conceito de operações; Requisitos do sistema; SEMP; IMP; Definição do ambiente natural; Plano de segurança e de garantia de missão	SRR
Funcional	O design do sistema, com requisitos funcionais e de desempenho alocados aos seus elementos	Configuração da linha de base; Requisitos de interface; Requisitos alocados; Plano mestre de teste e avaliação; Plano de gerenciamento de software; Plano de desenvolvimento tecnológico	SDR
Desenhado -para (Design to)	O projeto completo do sistema especificado, com requisitos funcionais e de desempenho e padrões de projeto ou construção totalmente alocados e derivados aos itens de configuração (hardware e software)	Especificações dos componentes; Especificações do Software; Documentos de controle de interface; Especificações dos equipamentos de suporte em solo; Planos de verificação; Planos de fabricação	PDR
Construído-para ou codificado-para	O design completo do sistema, conforme descrito por desenhos de engenharia ou modelos CAD, documentos de projeto de software e planos para fabricação, montagem, integração e teste	Desenhos de engenharia; Limites operacionais e restrições; Procedimentos de verificação; Requisitos do processo de fabricação; Plano de treinamento; Planos e critérios de aceitação; Plano de integração e montagem; Planos de Teste	CDR
Como construído ou Como codificado	O sistema realizado como verificado, validado e certificado, e pronto para implantação	Produtos finais; Pacotes de dados de aceitação; Procedimentos de operação; Plano de checagem em voo; Produtos ativadores	SAR
Como implantado	O sistema operacional como lançado ou de outra forma implantado, ativado e checado, incluindo a calibração e pronto para prosseguir com operações de rotina completas	Resoluções de anomalias de teste e de integração; Resultados de calibração de instrumentos científicos; Resultados dos treinamentos e simulações de suporte à missão; Resultados de ativação do sistema	ORR FRR PLAR

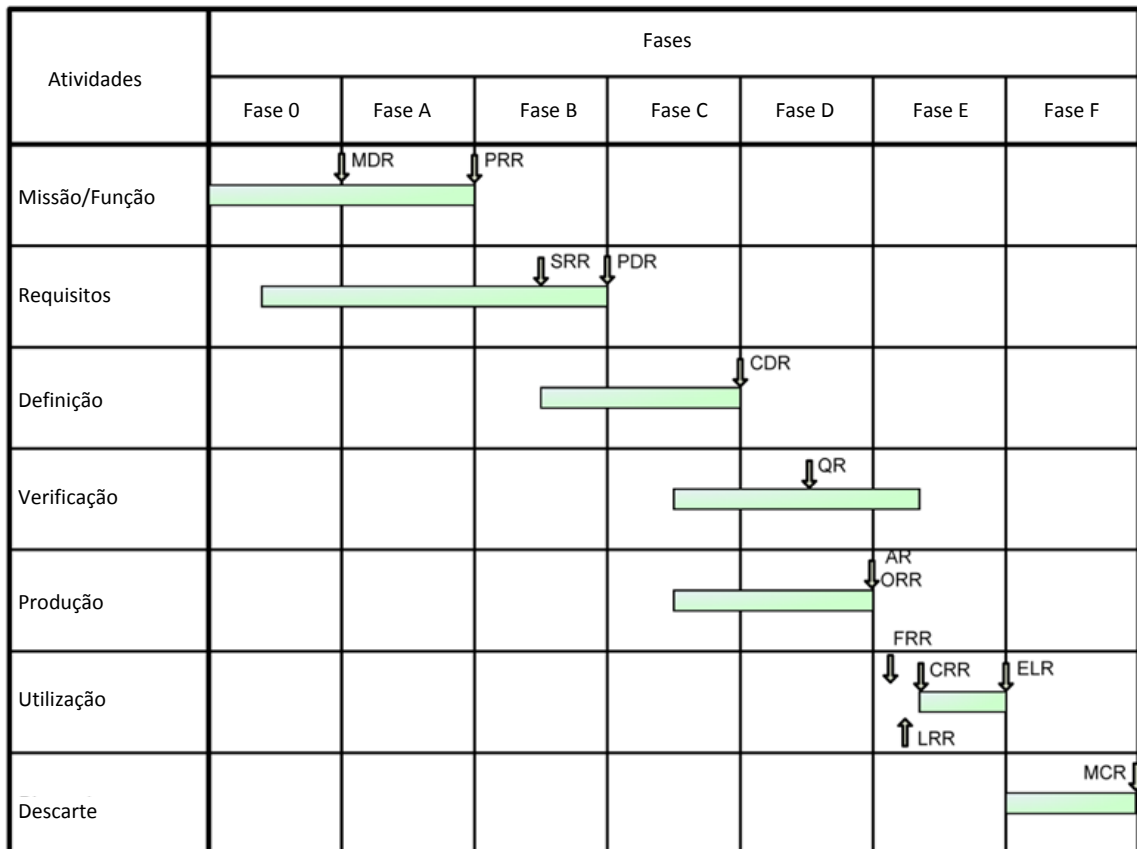
Fonte: Larson (2015).

A Figura 2.10 apresenta as fases dos processos de ciclo de vida na concepção da ECSS, na qual o ciclo de vida de projetos espaciais é subdividido em 7 fases, como se segue:



- Fase 0 - Análise da missão / identificação das necessidades
- Fase A - Viabilidade
- Fase B - Definição Preliminar
- Fase C - Definição Detalhada
- Fase D - Qualificação e Produção
- Fase E - Utilização
- Fase F - Descarte

Figura 2.10 - Processos de ciclo de vida de projeto segundo a ECSS.



Fonte: ECSS-M-ST-10C (2009).

### 2.3 Medição técnica em engenharia de sistemas

Ao longo dos processos de ciclo de vida do desenvolvimento de uma solução de sistemas, existe a necessidade de medir de forma objetiva o progresso do andamento e desempenho dos produtos obtidos com o empreendimento como um todo. Para isso são definidas medidas técnicas estratégicas.

Medição Técnica é o conjunto de atividades usado para prover visibilidade ao fornecedor ou cliente quanto ao progresso da definição e desenvolvimento da solução técnica e de seus riscos e questões associadas. Esta visibilidade também auxilia à gerência de projeto a tomar melhores decisões ao longo do ciclo de vida para aumentar a probabilidade de entregar uma solução técnica que satisfaça tanto os requisitos especificados quanto as necessidades da missão (ROEDLER, 2005).

Medidas técnicas incluem: Medidas de Efetividade (MoEs), Parâmetros Chave de Desempenho (KPPs), Medidas de Desempenho (MoPs) e/ou Medidas Técnicas de Desempenho (TPMs). Os conceitos de cada medida pode ser melhor entendido pelas seguintes definições:

**Medidas de Efetividade (MoEs):** São as medidas "operacionais" de sucesso que estão intimamente relacionadas à conquista do objetivo de missão ou objetivo operacional que está sendo avaliado, no ambiente operacional pretendido, sob um conjunto especificado de condições; isto é, quão bem a solução alcança o objetivo pretendido.

As MoEs, que são declaradas do ponto de vista do adquirente (cliente/usuário), são os principais indicadores do mesmo para atingir as necessidades da missão em termos de desempenho, adequação e acessibilidade ao longo do ciclo de vida. Embora sejam independentes de qualquer solução específica, os MoEs são os critérios gerais de sucesso operacional (por exemplo, desempenho da missão, segurança, operabilidade, disponibilidade operacional, etc.) a serem usados pelo adquirente para o sistema, serviços e / ou processos entregues (ROEDLER, 2005).

**Medidas de desempenho (MoPs):** São as medidas que caracterizam atributos físicos ou funcionais relacionados à operação do sistema, medidas ou estimadas sob condições de teste e/ou ambiente operacional especificados.

As MoPs medem atributos considerados importantes para garantir que o sistema tenha a capacidade de atingir os objetivos operacionais. São usadas para avaliar se o sistema atende aos requisitos de projeto ou desempenho necessários para satisfazer as Medidas de Efetividade (MoEs). MoPs devem ser derivadas das MoEs ou de outras necessidades do usuário, ou ainda acrescentar informações às mesmas.

As MoPs são derivadas do ponto de vista do fornecedor e avaliam quão bem o sistema entregue desempenha ou é esperado desempenhar com relação aos requisitos no nível de sistema. Elas abordam algum aspecto de desempenho ou capacidade do sistema. As MoPs geralmente são mapeadas aos principais parâmetros de desempenho (KPPs) ou aos requisitos na especificação do sistema. Elas são expressas em termos de recursos de desempenho quantificáveis, como velocidade, carga útil, alcance ou frequência. Elas são monitoradas progressivamente e usadas durante a execução do projeto como entradas para o gerenciamento, inclusive como indicadores para auxiliar no gerenciamento de riscos técnicos (ROEDLER, 2005).

**Medidas de desempenho técnico (TPMs):** Medem os atributos de um elemento do sistema para determinar quão bem um sistema ou elemento do sistema está satisfazendo ou espera-se que satisfaça a um requisito ou objetivo técnico.

Essas medidas são usadas para avaliar o progresso do projeto, a conformidade com os requisitos de desempenho ou os riscos técnicos. As TPMs são derivadas de ou fornecem informações para as MoPs, concentrando-se nos parâmetros técnicos críticos de elementos

arquitetônicos específicos do sistema, conforme ele é projetado e implementado.

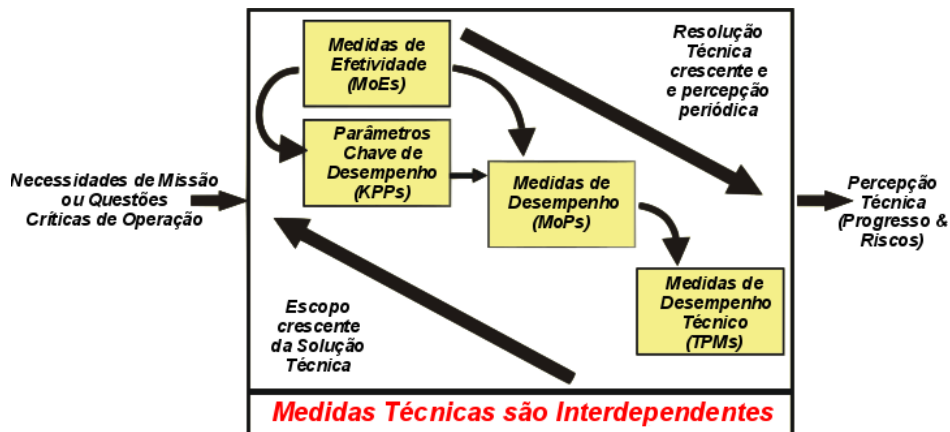
A seleção de TPMs deve se limitar a faixas ou parâmetros técnicos críticos que, se não forem atendidos, colocam o projeto em risco de custo, cronograma ou desempenho. As TPMs não são uma lista completa dos requisitos do sistema ou elemento do sistema.

As TPMs incluem o desempenho projetado, como um perfil de desempenho com faixas de tolerância de variação aceitável. O desempenho do sistema ou elemento do sistema é rastreado ao longo do ciclo de vida e comparado aos valores projetados e necessários. No início do ciclo de vida do produto, os valores de desempenho podem ser estimados com base em simulação e modelagem. À medida que o ciclo de vida prossegue, dados reais substituem as estimativas e aumentam a fidelidade das informações. Essa medição da solução de design, conforme ela evolui, permite que ações sejam tomadas no início do processo, em vez de esperar até o teste do sistema para solucionar problemas de desempenho. As TPMs permitem uma avaliação do design do produto estimando os valores dos principais parâmetros de desempenho do design por meio de análises e testes de engenharia. A análise dessas medidas fornece indicadores de risco para os principais parâmetros de desempenho.

As TPMs podem incluir, entre outros, alcance, precisão, peso, tamanho, potência, tempo (taxa de transferência, tempo de resposta, tempo de processamento, etc.), requisitos de segurança e as características de qualidade do produto relacionadas a requisitos operacionais críticos (confiabilidade, figura de mérito, taxa de falhas, tempo médio para falha / reparo / restauração, disponibilidade, tolerância a falhas, etc.) (ROEDLER, 2005).

A Figura 2.11 ilustra o relacionamento entre as medidas técnicas.

Figura 2.11 - Relacionamento entre as medidas técnicas.



Fonte: Adaptado de Roedler (2005).

O quadro da Tabela 2.3 resume estas diferentes categorias de medidas:

Tabela 2.3 – Categorias de Medidas Técnicas

Medida Técnica	Ponto de Vista	Foco	Objetivos	O que Avalia
MoE	adquirente (cliente final /usuário)	Capacidade da missão (independente da solução técnica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Satisfazer os objetivos da missão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A missão / operação</li> </ul>
MoP	Fornecedor do sistema (programa)	Capacidade do sistema/solução técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atender Requisitos de Design</li> <li>Satisfazer as MoEs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O desempenho do sistema / solução</li> </ul>
TPM	Fornecedor do subsistema (projeto)	Capacidade de elementos do sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Satisfazer as MoPs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O desempenho do sistema / elemento do sistema</li> <li>Progresso do design</li> <li>Conformidade com requisitos de desempenho</li> <li>Qualidade da solução</li> <li>Riscos técnicos</li> </ul>

Fonte: Produção do autor.

## 2.4 O método *goal-question-metric* (GQM)

O método GQM originalmente foi desenvolvido para uso na área de Software, visando de medida dos processos, de produto e da organização, e baseia-se na premissa de que, para que uma organização consiga medir de maneira

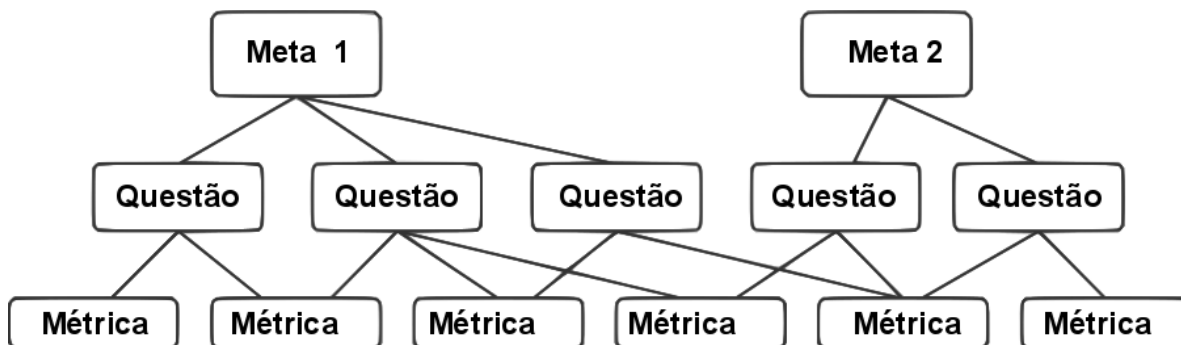
significativa, primeiro deve especificar as metas para si e para seus projetos; depois, deve rastrear essas metas até os dados que se destinam a definir essas metas operacionalmente e, finalmente, fornecer uma estrutura para interpretar os dados com respeito aos objetivos declarados (BASILI, 1994).

GQM define um modelo de medidas em três níveis:

- a) **Nível conceitual - meta (*goal*)** - Uma meta é definida para um objeto por uma série de razões, com respeito a vários modelos de qualidade, sob vários pontos de vista, relativo a um ambiente particular. Objetos de medidas podem ser produtos, processos ou recursos.
- b) **Nível operacional - questão (*question*)** - Um conjunto de questões usadas para caracterizar a forma com que a avaliação e conquista de uma determinada meta é realizada, baseada em algum modelo de caracterização; Questões procuram caracterizar o objeto de medida (produto, processo ou recurso) com relação a uma dada questão de qualidade selecionada, e a determinar sua qualidade sob um ponto de vista também selecionado;
- c) **Nível quantitativo - métrica (*metric*)** - Um conjunto de dados é associado a cada questão, visando respondê-la de uma forma quantitativa. OS dados podem ser:
  - **Objetivos:** Se dependem apenas do objeto que está sendo mensurado, e não do ponto de vista no qual as medidas são tomadas. Exemplos: número de versões de um documento, pessoas-horas gastas em uma tarefa, tamanho de um software.
  - **Subjetivos:** Se dependem de ambos, objeto que está sendo mensurado e ponto de vista no qual as medidas são tomadas. Exemplos: Legibilidade de um texto, nível de satisfação do usuário.

GQM possui uma estrutura hierárquica, iniciando com uma Meta, que é refinada em várias questões, cada qual é refinada em métricas, algumas objetivas e outras subjetivas, conforme mostrado na Figura 2.12.

Figura 2.12 - Estrutura hierárquica do método GQM.



Fonte: Adaptado de Basili (1994).

Um modelo completo de meta/questão/métrica é mostrado na Figura 2.13

Figura 2.13 – Modelo de meta/questão/métrica pelo método GQM.

Meta (Goal)	Propósito: Matéria: Objeto (processo): Ponto de Vista:	Reduzir o atraso no processamento de solicitações de mudança do ponto de vista do gerente de projeto
Questão (Question)		Qual é a velocidade atual de processamento de solicitações de mudança?
Métricas (Metrics)		Tempo médio de ciclo Desvio padrão % de casos fora do limite superior
Questão (Question)		O desempenho do processo está aumentando?
Métricas (Metrics)		$\frac{\text{Tempo médio de ciclo atual}}{\text{Tempo médio de ciclo da linha de base}} * 100$ Classificação subjetiva da satisfação do gerente

Fonte: Adaptado de Basili (1994).

Embora tenha debutado na área de Software, o método GQM vêm sendo utilizado em diversos ramos de conhecimento, e é altamente aplicável na área de Engenharia de Sistemas, e foram particularmente úteis no desenvolvimento da abordagem MBSE objeto desse estudo.

## **2.5 Engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE)**

A abordagem baseada em modelos tem sido prática padrão em design elétrico e mecânico e outras disciplinas específicas da engenharia há muitos anos. A engenharia mecânica fez a transição da prancheta para instrumentos de desenho assistidos por computador, cada vez mais sofisticados, bidimensionais e tridimensionais, a partir da década de 1980. A engenharia elétrica passou de um desenho de circuito manual para uma captura esquemática automatizada e análise de circuitos em um período de tempo semelhante. Engenharia de software assistida por computador tornou-se popular na década de 1980, usando modelos gráficos para representar software em níveis de abstração acima da linguagem de programação.

O uso da modelagem para o desenvolvimento de software se tornou mais amplamente adotado, a partir do advento da UML nos anos 90.

Entretanto, a prática de engenharia de sistemas ainda se baseia fortemente na abordagem baseada em documentos, na qual as atividades de engenharia de sistemas visam gerar e manter todo o conjunto de documentação e o progresso é medido pelo estado de conclusão dos mesmos. Diagramas tais como fluxo funcional e diagramas de blocos são usados e armazenados como arquivos separados, e a rastreabilidade de requisitos é estabelecida e mantida rastreando-se os mesmos entre as especificações em diferentes níveis da hierarquia de especificação.

Ferramentas de gerenciamento de requisitos por vezes são usadas, para capturar os requisitos contidos nos documentos e armazená-los em um banco de dados, onde também se mantém a rastreabilidade entre requisitos e design com os procedimentos utilizados para verificar o requisito.

Essa abordagem baseada em documentos possui limitações naturais, tais como:



- a) A integridade, a consistência e as relações entre requisitos, design, análise de engenharia e informações de teste são difíceis de avaliar porque a informação está espalhada por vários documentos;
- b) Entender um aspecto particular do sistema e realizar a rastreabilidade necessária e as avaliações de impacto de mudança tornam-se difíceis;
- c) Falta de sincronização entre requisitos, design de nível de sistema e projetos detalhados de nível inferior, como software, projeto elétrico e mecânico;
- d) Dificuldade em se manter ou reutilizar os requisitos do sistema e as informações de projeto para um sistema em evolução ou sujeito a muitas variações;
- e) O progresso do esforço de engenharia de sistemas baseia-se no status da documentação, que é difícil de manter e não reflete adequadamente a qualidade dos requisitos e do projeto do sistema;
- f) Pode resultar em ineficiências que afetam custo e cronograma;
- g) Potenciais problemas de qualidade que frequentemente aparecem durante a integração e testes ou, pior, depois que o sistema é entregue ao cliente;

Recentemente a abordagem baseada em modelos se popularizou na engenharia de sistemas (MBSE), e espera-se que ela se torne uma prática padrão e se integre plenamente com ferramentas de modelagem, como ocorreu com as disciplinas específicas de engenharia.

"A engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE) é a aplicação formalizada de modelagem para apoiar as necessidades de sistemas, concepção, análise, verificação e validação das atividades iniciando na fase de

projeto conceitual e continuando durante o desenvolvimento e fases do ciclo de vida posterior" (FRIEDENTHAL, 2015).

Com o MBSE, a saída das atividades de engenharia de sistemas é um modelo coerente do sistema que faz parte da linha de base de engenharia, e a ênfase é colocada na definição e na evolução do sistema usando métodos e ferramentas baseados em modelos. O resultado é uma especificação aprimorada e maior qualidade de projeto, com reuso de artefatos de projeto no modelo, simplificando a comunicação entre as equipes de desenvolvimento.

## **2.6 SysML**

SysML é uma linguagem de modelagem gráfica, derivada inicialmente da linguagem UML (*Unified Modeling Language*), de propósito geral, e que dá suporte à análise, especificação, desenho, verificação e validação de sistemas complexos. Esses sistemas podem incluir hardware e equipamentos, software, dados, pessoas, procedimentos, instalações e outros elementos de sistemas naturais ou feitos pelo homem (OMG, 2015).

A linguagem SysML destina-se a ajudar a especificar e arquitetar sistemas e a especificar componentes que podem ser projetados usando outras linguagens específicas de domínio, como UML para design de software, VHDL para projeto elétrico e modelagem geométrica tridimensional para projeto mecânico (FRIEDENTHAL, 2015).

A adoção de uma abordagem MBSE não implica no uso da SysML, podendo-se empregar outras linguagens e diferentes métodos de modelagem, como por exemplo o método Arcadia, que utiliza uma linguagem de modelagem específica de domínio (DSML) própria. SysML pode representar os seguintes aspectos de sistemas, componentes e outras entidades (FRIEDENTHAL, 2015):

- a) Composição, interconexão e classificação estruturais;
- b) Comportamento baseado em fluxo, baseado em mensagem e baseado em estado;
- c) Restrições nas propriedades físicas e de desempenho;
- d) Alocações entre comportamento, estrutura, restrições e requisitos, bem como e sua relação com outros requisitos, elementos de design e casos de teste.

### 2.6.1 Visão geral dos diagramas SysML

A linguagem SysML inclui nove diagramas, conforme resumido na Tabela 2.4:

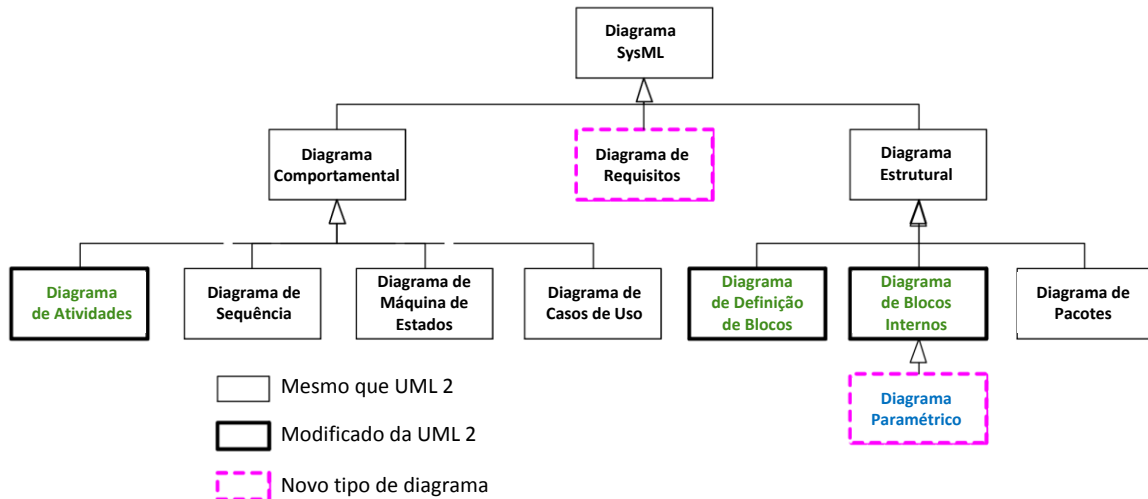
Tabela 2.4 – Diagramas da linguagem SysML

Diagrama	Função	Equivalência com UML
Diagrama de pacotes	Apresenta a organização de um modelo em termos de pacotes que contêm elementos	Diagrama de pacotes UML
Diagrama de requisitos	Apresenta requisitos baseados em texto e suas relações com outros requisitos, elementos de design e casos de teste para suportar a rastreabilidade de requisitos	N/A
Diagrama de atividades	Apresentar o comportamento do sistema e seus componentes, baseado em fluxos que indicam a ordem na qual as ações são executadas com base na disponibilidade de suas entradas, saídas e controle, e como as ações transformam as entradas em saídas	Modificação do diagrama de atividade UML
Diagrama de sequência	Apresenta comportamento em termos de uma sequência de mensagens trocadas entre sistemas ou partes de sistemas	Diagrama de sequência UML
Diagrama de máquina de estados	Apresenta o comportamento de uma entidade em termos de suas transições entre estados desencadeados por eventos.	Diagrama de máquina de estados UML
Diagrama de casos de uso	Apresenta a funcionalidade em termos de como um sistema é usado por entidades externas (ou seja, atores) para realizar um conjunto de metas	Diagrama de casos de uso UML
Diagrama de definição de blocos	Apresentar a hierarquia do sistema, por meio de elementos estruturais, denominados blocos, e sua composição e classificação.	Modificação do diagrama de classes UML
Diagrama de blocos internos	Apresentar a interconexão do sistema e interfaces entre as partes de um bloco.	Modificação do diagrama de estrutura composta UML
Diagrama paramétrico	Apresentar a relação entre as propriedades do sistema, dando suporte a análises de engenharia, com as restrições sobre valores das propriedades (como, por exemplo, $F = m * a$ ).	N/A

Fonte: Friedenthal (2015).

A Figura 2.14 a seguir ilustra a taxonomia dos diagramas utilizados na linguagem SysML.

Figura 2.14 - Taxonomia dos diagramas de SysML.

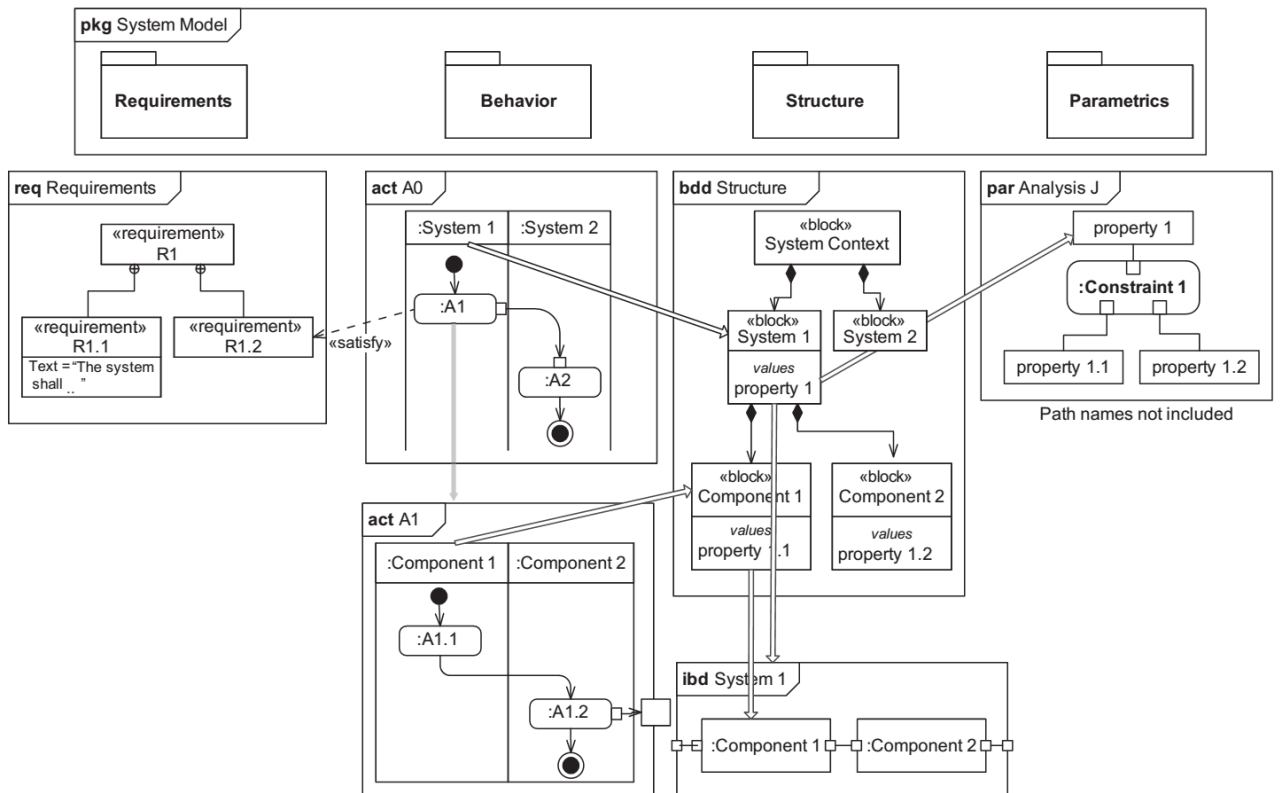


Fonte: Adaptado de OMG SysML™ (2015).

Os tipos de elementos de modelo e símbolos associados que podem aparecer em um diagrama são restringidos pelo tipo do diagrama. Por exemplo, um diagrama de atividade pode incluir elementos de diagrama que apresentam ações, fluxo de controle e fluxo de entrada / saída (isto é, fluxo de objeto), mas não elementos de diagrama para conectores e portas. As apresentações tabulares, como tabelas de alocação, também são suportadas no SysML como complemento aos diagramas.

Alguns dos recursos do SysML, para alguns dos tipos de diagramas, podem ser vistos na Figura 2.15, a qual mostra também linhas “vazadas” com pontas de seta que não fazem parte da linguagem, mas são usadas apenas para destacar algumas das importantes relações entre diagramas, os quais apoiam métodos clássicos de engenharia de sistemas, como decomposição e alocação funcionais.

Figura 2.15 - Exemplos de Diagramas da SysML em uso.



Fonte: Friedenthal (2015).

As seguintes observações ajudam a explicar melhor alguns dos usos dos elementos nos diagramas:

- O diagrama de pacotes ("pkg") é usado para organizar os elementos contidos no modelo. Neste diagrama, o Modelo do Sistema aparece no cabeçalho e há pacotes para Requisitos, Comportamento, Estrutura e Paramétricas. Cada um desses pacotes, por sua vez, contém elementos de modelo que são apresentados nos diagramas de requisitos, de atividades, de definição de bloco, de blocos internos e paramétrico, respectivamente. Observe que os elementos do modelo para o diagrama de definição de bloco e o diagrama de blocos internos estão contidos no pacote "Estrutura";

- b) O diagrama de requisitos ("req") apresenta uma hierarquia simples de requisitos baseados em texto que normalmente fazem parte de um documento de especificação. O requisito de nível superior chamado R1 contém dois requisitos, R1.1 e R1.2. A declaração de requisito correspondente para R1.1 é uma propriedade de texto do requisito (corresponde ao texto que seria encontrado em um documento de especificação de requisitos clássico);
- c) Para os diagramas de atividade ("act"):
- A0 apresenta a interação entre o Sistema 1 e o Sistema 2. O nó inicial (representado pelo círculo escuro) indica o início da atividade e o nó final (representado pelo "olho-de-touro") indica o fim da atividade. A atividade especifica uma sequência simples de ações, começando com a execução da ação :A1, que é seguida pela execução da ação :A2;
  - Os dois pontos (:) nos nomes das ações e em outros símbolos indicam uma definição reutilizável (que pode ser reutilizada em outros diagramas do mesmo modelo);
  - A saída de :A1 e a entrada de :A2 possuem retângulos em seus limites de ação chamado "pinos". Além disso, as raias verticais delimitam os responsáveis pela execução das ações (no caso, :Sistema 1 ou :Sistema 2);
  - A ação :A1 satisfaz o requisito R1.2, o que é representado pela relação em linha tracejada <<satisfy>>;
  - A ação :A1 no diagrama de atividades A0 é também decomposta (no diagrama de atividades denominado "A1") nas ações :A1.1 e :A1.2 (executadas por :Componente 1 e :Componente 2);

- A saída da atividade A1 (representada pelo retângulo em sua borda), corresponde ao pino de saída da ação :A1 na atividade A0;
  - Conforme indicado nos diagramas de atividades para A0 e A1, as saídas e entradas são consistentes de um nível de decomposição para o seguinte.
- d) O diagrama de definição de blocos ("bdd") é frequentemente usado para descrever a hierarquia de um sistema, semelhante a uma árvore de partes. Um bloco é usado para definir um sistema ou componente em qualquer nível da hierarquia do sistema. O diagrama de definição de blocos na Figura 2.15 mostra o bloco denominado "Contexto de Sistema", que é composto por Sistema 1 e Sistema 2. O Sistema 1 é ainda decomposto em Componente 1 e Componente 2. Os blocos do Sistema 1 e seus componentes contêm uma propriedade de valor que pode corresponder a uma característica física ou de desempenho, como por exemplo seu peso ou tempo de resposta;
- e) O diagrama de blocos interno ("ibd") e a borda subjacente do seu diagrama corresponde ao Sistema 1, e mostra como as partes do mesmo estão interligadas. Os pequenos quadrados no Sistema 1 (na borda) e em suas partes (Componente 1 e Componente 2) são chamados "portas" e representam as suas interfaces. As linhas que conectam as portas são chamadas de conectores. O Sistema 1 é também representado pela raia vertical na atividade A0, e os componentes, de forma semelhante, são representados como raias verticais na atividade A1.
- f) O diagrama paramétrico ("par") descreve as relações paramétricas que são usadas na análise de engenharia, tais como desempenho, confiabilidade e análise de propriedades de massa. Neste exemplo, o diagrama paramétrico inclui uma única restrição

chamada Restrição 1 que expressa uma equação ou conjunto de equações. Os pequenos quadrados no interior da restrição representam os parâmetros da equação. As propriedades do sistema e blocos de componentes podem ser ligadas aos parâmetros das equações para estabelecer uma relação de igualdade. Desta forma, os parâmetros de uma determinada análise podem ser alinhados com as propriedades do projeto do sistema. Muitas vezes, uma única restrição é usada para especificar uma análise em termos de seus parâmetros de entrada e saída, sem especificar as equações detalhadas contidas pela análise.

Nos diagramas anteriores, apenas um pequeno subconjunto dos recursos de linguagem SysML foram ilustrados para indicar algumas das construções-chave usadas para modelar sistemas.

## **2.7 Equipamentos de suporte em solo (GSE's)**

Durante o ciclo de vida de um produto espacial, muitos outros produtos podem ser necessários para complementar ou mesmo viabilizar a execução de estágios deste ciclo, inclusive sistemas completos. Sistemas dessa natureza são denominados "Sistemas Habilitantes" (*Enabling Systems*).

Um sistema habilitante é definido como "Um sistema que complementa um sistema de interesse durante seus estágios de ciclo de vida, mas não necessariamente contribui diretamente para sua função durante sua fase de operação". (INCOSE, 2012)

Nenhum programa espacial de AIT pode ser executado sem equipamentos de suporte em solo (GSE), ou seja, o equipamento necessário para manusear e testar o dispositivo espacial até o lançamento. Projetar, adquirir, testar e verificar o GSE em si é uma parte significativa do processo de AIV. Pode ser crítico no cronograma, pois será necessário no programa de AIT quando os primeiros componentes espaciais chegarem, mas o projeto GSE não pode ser finalizado até que o projeto do segmento espacial esteja aprovado (FORTESCUE, 2011).



GSEs podem ser classificados nas categorias descritas na Tabela 2.5. Nesta dissertação, iremos nos concentrar na categoria "EGSE" de equipamentos de suporte em solo.

Tabela 2.5 – Categorias de GSE's.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição / Uso</b>
Mechanical Ground Support Equipment (MGSE)	Manter, levantar, mover, armazenar e transportar o hardware de voo, protegendo-o de danos e degradação em todos os momentos, e garantir a segurança para o pessoal que trabalha com ele ou nas proximidades.
Fluids Ground Support Equipment (FGSE)	Atender o subsistema de propulsão, para carregar e drenar propelentes e pressurizantes simulados durante o programa de ensaios, e a carregar (e numa situação de contingência para drenar) o propulsor de voo durante as preparações de lançamento. Também serve para pressurizar o sistema de propulsão, para testes de vazamento e para lançamento. Podem ser necessários outros FGSE em programas específicos para o carregamento e drenagem de fluidos criogênicos.
Electrical Ground Support Equipment (EGSE)	Fornecer todo o suprimento de potência elétrica e dados de <i>uplink</i> para a segmento espacial para testes de solo, e recebe e analisa todos os dados de <i>downlink</i> .

Fonte: Fortescue (2011).

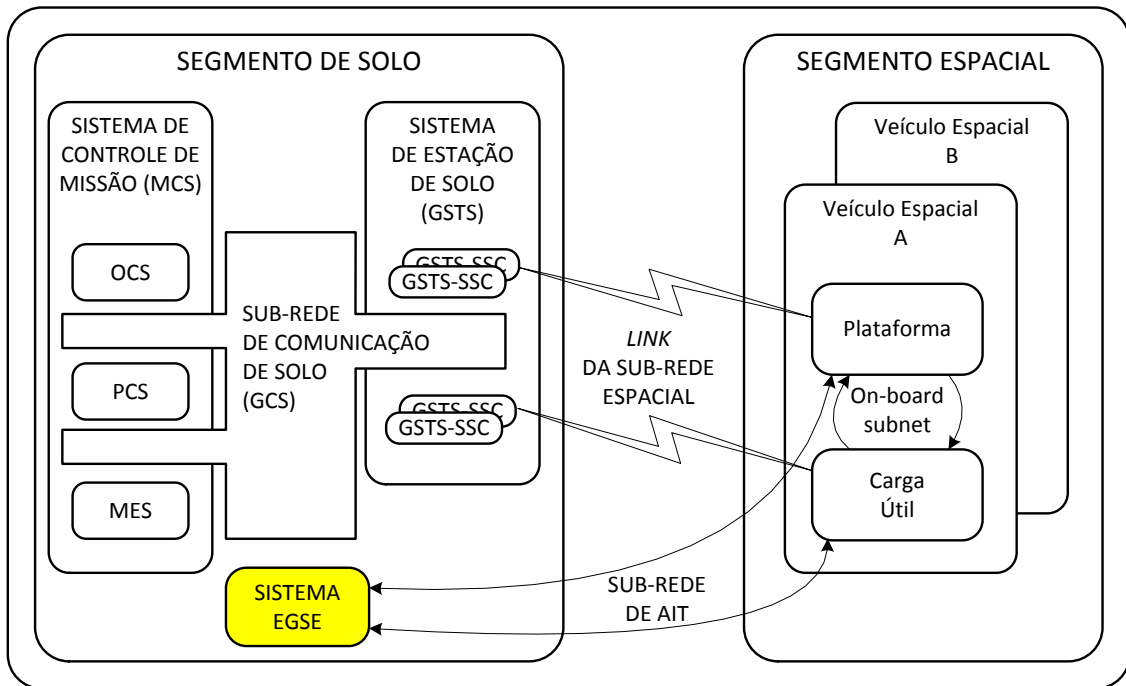
### 2.7.1 Equipamentos de suporte elétrico em solo (EGSEs)

Todos os projetos espaciais exigem equipamentos de suporte ao solo para o manuseio e teste de elementos do segmento espacial. Uma parte significativa é o EGSE que fornece diversos serviços e funções para as atividades de AIT, normalmente executadas sob o controle de processadores centrais e por meio de sequências de teste automáticas, consistentes e repetitivas.

A norma ECSS-E-70 Part 1A, versão do ano de 2000, definia o EGSE como parte do segmento de solo, porém apoiando a verificação do segmento espacial durante a fase de montagem, integração e testes (AIT), conforme ilustrado na Figura 2.16.

Em versões mais recentes dessa norma, o EGSE foi retirado do contexto do segmento de solo no que tange à operação do sistema, passado a ser tratado apenas pela norma ECSS-E-ST-70-32C, que trata da linguagem para procedimentos de teste e operações.

Figura 2.16 - EGSE na decomposição dos segmentos de solo e espacial.



**ACRÔNIMOS:**

OCS: Operation Control System  
 PCS: Payload Control System  
 MES: Mission Exploitation System  
 MCS: Mission Control System

GSTS: Ground Station System  
 GCS: Ground Communications Subnet  
 GSTS-SSC: Space Segment Control Station  
 GSTS-ME: Mission Exploitation Station  
 EGSE: Electrical Ground Support Equipment

Fonte: Adaptado de ECSS-E-70 Part 1A (2000).

A norma ECSS-E-70 Part 1A, na versão do ano de 2000 trazia definições e requisitos técnicos típicos importantes para o EGSE, conforme exposto na Tabela 2.6. Obviamente que estes requisitos não cobrem todas as situações, que devem ser analisadas caso a caso, mas servem como guia de implementação.

Tabela 2.6 – Requisitos Técnicos Típicos de um EGSE

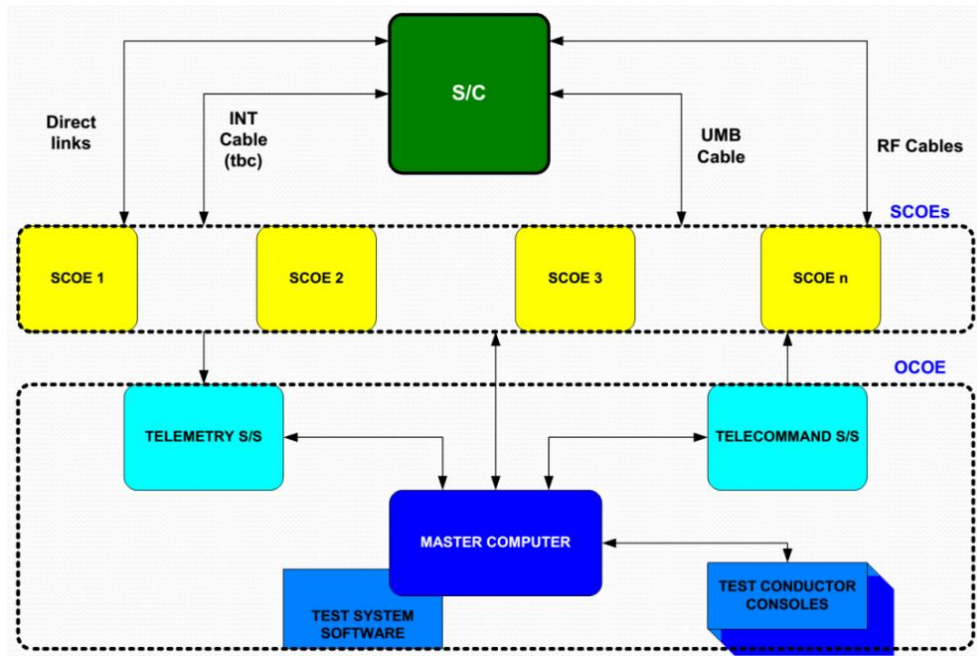
Área	Tipo	Funções
Requisitos de Interface	Interfaces de ligação espacial	<p>O EGSE utilizado durante os testes de solo e o GSTS têm interfaces com o segmento espacial por meio da ligação espacial. Ainda que essas interfaces geralmente difiram na camada de interface física, uma parte significativa das funções de interface é comum. Devem ser consideradas as semelhanças entre EGSE e GSTS para as seguintes funções de interface de ligação espacial:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Recepção de sinal de <i>downlink</i>, telemetrias e dados de <i>housekeeping</i>;</li> <li>b) Transmissão de sinal de <i>uplink</i> e telecomandos;</li> <li>c) Transmissão / recepção de sinais de <i>ranging</i>;</li> <li>d) Processamento de dados de <i>downlink</i>;</li> <li>e) Processamento de dados de <i>uplink</i>.</li> </ul>
	Interfaces de potência	Alimentar o dispositivo espacial, simulando painéis solares e baterias;
	Interfaces de dados	<p>As principais interfaces de entrada são dados de telemetria e dados de medição de pontos de teste; Os principais dados de saída são telecomandos e dados de estimulação.</p> <p>A estimulação deve ser realizada usando sistemas informatizados separados chamados de SCOE (<i>Specific Check-out Equipment</i>), enquanto que a telemetria e telecomando requerem equipamentos similares aos usados em uma estação terrestre para o dispositivo espacial.</p>
Requisitos de Operação	Dados de operações da missão	<p>O EGSE e o MCS partilham um subconjunto significativo dos dados de operações da missão (por exemplo, telemetria, dados de telecomando, procedimentos de controle, telas) que se originam do domínio do segmento espacial. Devem ser levadas em conta, por razões técnicas e econômicas, a possibilidade de reutilização dos dados;</p> <p>O MCS e o EGSE devem ser compatíveis em termos do banco de dados operacional, de modo que os dados relacionados ao segmento espacial possam ser totalmente reutilizados em vários domínios.</p>
Requisitos Funcionais	Monitoração	Fornecer a extração de dados para uma gama de fontes de entrada, calibração em unidades de engenharia, verificação de validade, verificação de limites, alarmes e ações de controle automático sobre violação de limites e visualização de relatórios de erros;
	Comando	Fornecer a capacidade de enviar dados para o objeto de teste para fins de controle e carregamento de dados, tanto a partir de terminais de usuário e de outros softwares. Abrange a preparação de mensagens de controle, a sua validação, a sua liberação e a sua verificação. As mesmas unidades de dados de protocolo utilizadas nas ligações de dados espaço-terra operacionais são utilizadas para telecomando.

Área	Tipo	Funções
Requisitos Funcionais (cont)	Execução dos procedimentos de teste	Fornecer a capacidade de automatizar, usando uma linguagem específica de domínio, a execução de procedimentos de testes necessários.
	Avaliação de desempenho	Fornecer a funcionalidade necessária para avaliar os resultados do teste e, em particular, o desempenho dos elementos do segmento espacial testado.
	Gestão de software embarcado	Fornecer os meios para armazenar, realizar <i>upload/download</i> e comparar imagens de diferentes versões do software embarcado. O <i>uplink</i> deve ser realizado utilizando o canal de telecomando e com pontos de teste de acesso rápido (para carregamento em alta velocidade).
	Gerenciamento de banco de dados	O banco de dados é o repositório de descrições de todos os dados usados no sistema de teste. Inclui dados que definem todos os parâmetros de monitoração, telecomandos e parâmetros associados e que definem as suas condições de extração, interpretação, validade e verificação. Também inclui a definição dos procedimentos. A coerência dos dados deve ser mantida. O banco de dados deve ser exportado para o domínio de operações de vôo para uso nos sistemas de controle de missão.
	Geração de procedimentos de teste	Fornecer a funcionalidade necessária para preparar os procedimentos de teste. A linguagem deve fornecer capacidades algorítmicas (isto é, programação procedural) e funcionais.
	Arquivamento de dados	Fornecer meios para registrar todos os dados de entrada e de saída em um formato adequado para reprodução ou processamento posterior ( <i>playback</i> ), juntamente com um meio para registrar todos os dados processados e resultados dos testes realizados.
	Distribuição dos dados	Fornecer um fluxo de dados em tempo real para a telemetria em relação a todos os equipamentos SCOE conectados (locais ou remotos do local de teste) para suportar testes de subsistema e experimentação no nível de sistema.
	Interação humano-computador (HCI)	Fornecer os meios para utilizar o EGSE para fins de teste. As principais interfaces são para telemetria e exibição de dados, relatórios de monitoramento, controle de execução de procedimentos e exibições gráficas e sinópticas do status do objeto de teste.

Fonte: ECSS-E-70 Part 1A (2000).

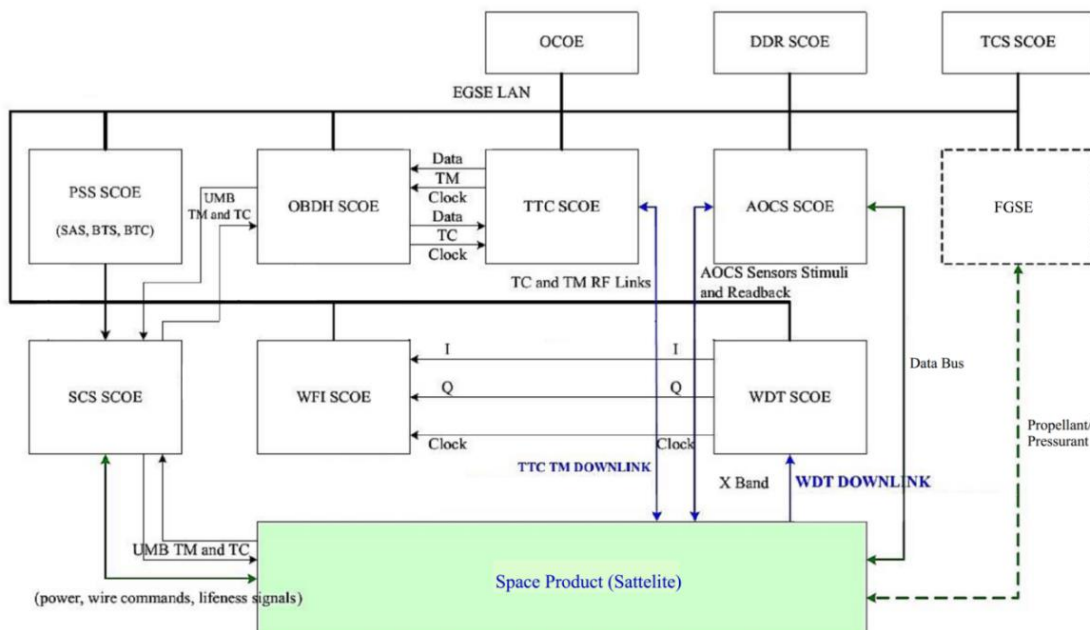
A Figura 2.17 apresenta os grupos de conjuntos de teste principais de um EGSE típico, e a Figura 2.18 apresenta um diagrama em blocos de um EGSE típico, mostrando as diversas interfaces envolvidas.

Figura 2.17 - Grupos de conjuntos de teste principais de um EGSE.



Fonte: Silva Júnior (2009).

Figura 2.18 - Diagrama em Blocos de um EGSE típico.



Fonte: Produção do autor.

### 2.7.2 Processos de engenharia de EGSEs

Do ponto de vista da engenharia de sistemas, os processos de ciclo de vida de EGSEs normalmente estão inseridos no ciclo de vida maior do produto espacial ao qual eles se aplicam, devendo ser produzidos para elementos do sistema espacial em cada nível de decomposição, para apoiar testes em cada nível, de acordo com a filosofia de modelos de projeto adotada. Tipicamente, compreendem os níveis de teste ilustrados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Tipos de EGSE ao longo dos níveis de integração / testes.

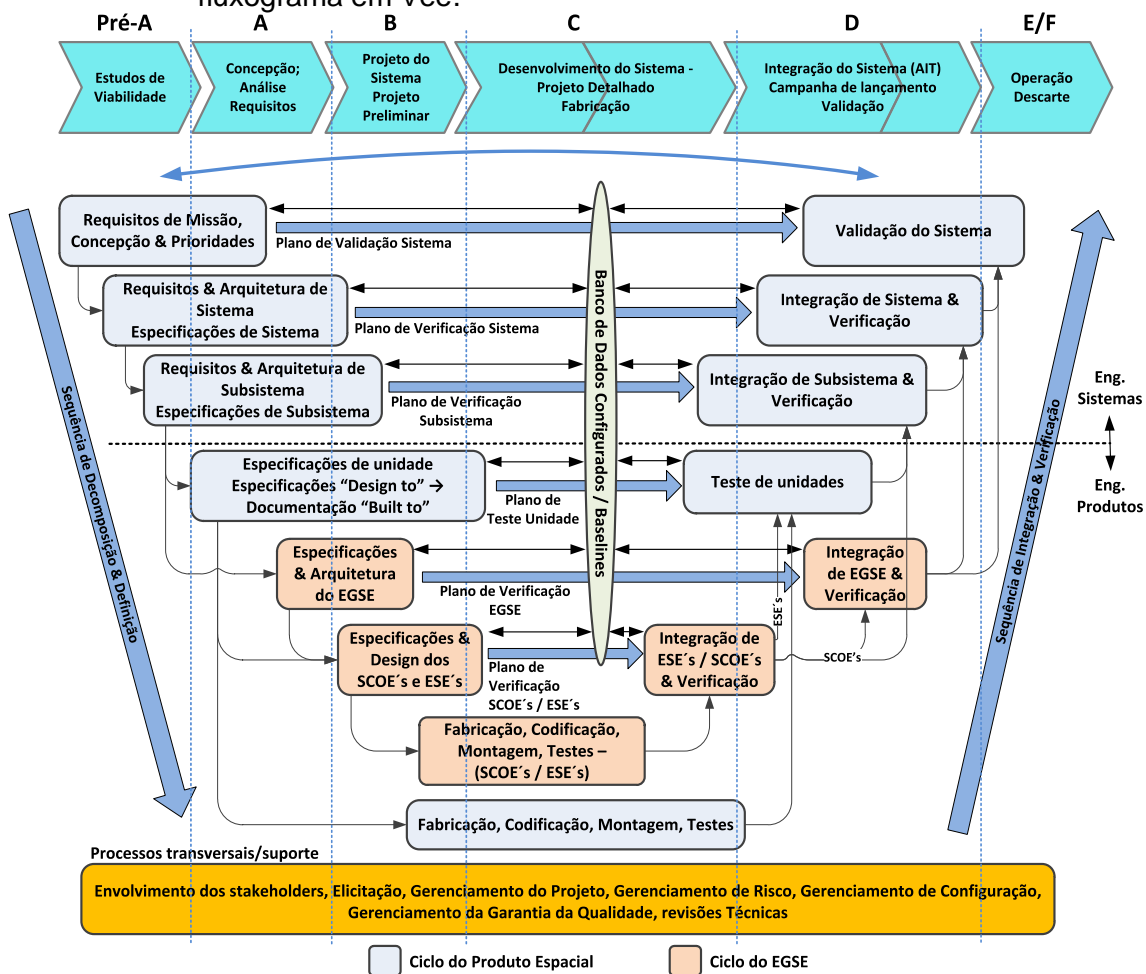
<b>Acrônimo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Nível de Teste</b>
ESE	<i>Electrical Support Equipment</i>	Equipamento de testes de "equipamento", ou "unidades" (Testes de "Bancada").
SCOE	<i>Specific Checkout Equipment</i>	Equipamento de testes de "subsistema", incluindo instrumentos ou cargas úteis.
EGSE	<i>Electrical Ground Support Equipment</i>	Equipamento de testes de "sistema"

Fonte: Produção do autor.

O ciclo de vida do processo de engenharia do EGSE normalmente se encontra deslocado no tempo em relação ao restante do segmento de solo, devido ao seu papel no processo de montagem, integração e verificação do dispositivo espacial.

A Figura 2.19 ilustra o ciclo de vida do EGSE dentro do ciclo de vida de um produto espacial típico, considerando o modelo de ciclo de vida da NASA.

Figura 2.19 - Ciclo de vida do EGSE dentro do ciclo de vida de produtos espaciais - fluxograma em Vee.

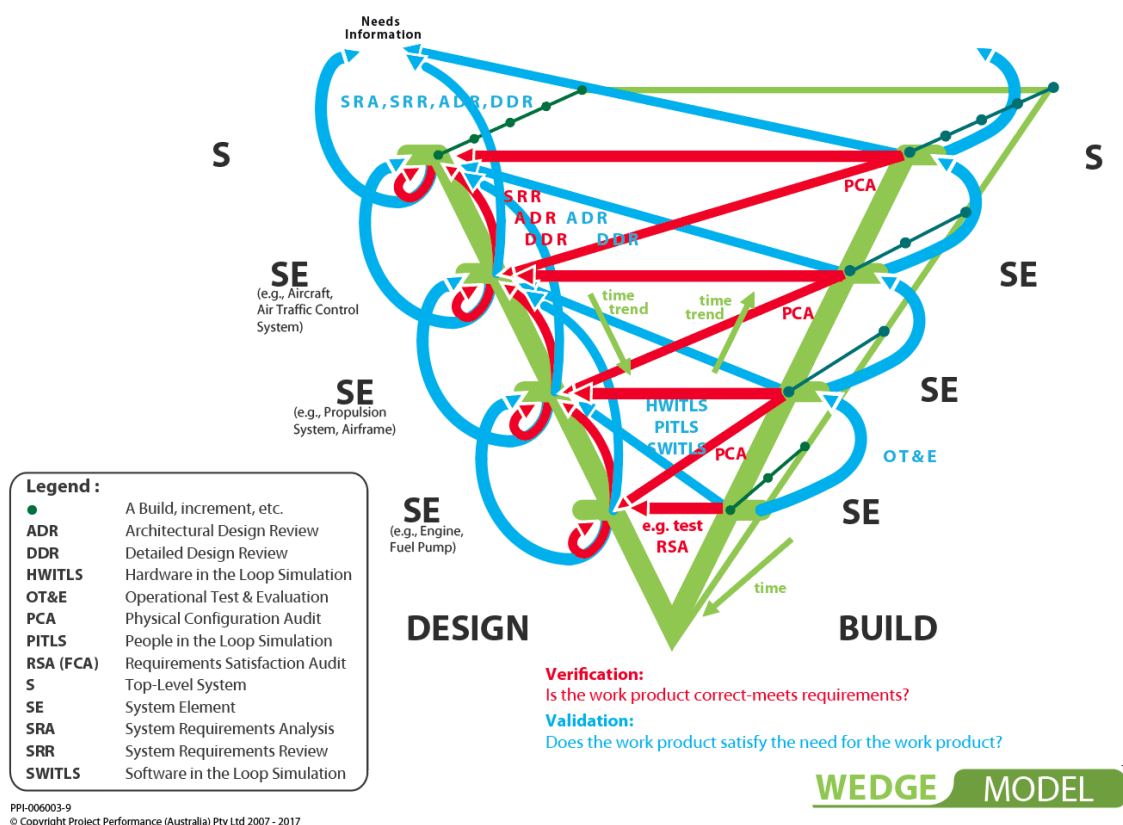


Fonte: Adaptado de Forsberg (1994) citado por Silva Júnior (2011).

Em alguns casos, para ter-se um EGSE em um estado utilizável na preparação das atividades de teste, é necessária a antecipação do início do desenvolvimento do mesmo com relação à fase normal do projeto do segmento espacial. Esta necessidade deve ser avaliada no processo de planejamento. Dependendo da filosofia de modelos adotada para o projeto, ou fases de um programa espacial mais amplo, o desenvolvimento do EGSE pode já ter ocorrido para modelos anteriores do produto espacial, e apenas deverão ser reaproveitados ou modernizados para o produto espacial em desenvolvimento no momento.

Existem limitações na representação gráfica do ciclo de vida do EGSE dentro do ciclo de vida de produtos espaciais em formato de fluxograma em Vee. De fato, esta visão, embora valiosa, não deixa claro alguns princípios fundamentais, tanto que Halligan propôs uma derivação do modelo em Vee original apresentado por Rook in 1986, ao qual denominou de "*Wedge Model*", e que é ilustrado na Figura 2.20.

Figura 2.20 - O modelo em Vee "*Wedge Model*".



Fonte: Halligan (2017).

O Wedge Model™ estende o modelo básico do Vee para incorporar a verificação e validação de requisitos, design, elementos e sistema de sistemas, dentro de uma estratégia de desenvolvimento de compilação múltipla. (HALLIGAN, 2017).

O Wedge Model™ procura mostrar várias construções na terceira dimensão - um segundo eixo de tempo com o tempo "saindo" da página em direção ao leitor. Portanto, a face do Wedge representa a última compilação (versão,



release etc.) em cada caso. Todas as preocupações de verificação e validação na face são replicadas novamente nas compilações anteriores.

Observe que nem todas as possíveis verificações e validações serão realizadas em todos os produtos associados a todas as construções.

É uma função de gerenciamento de engenharia decidir qual dos produtos estará sujeito a verificação e validação e em que grau (HALLIGAN, 2017).

Infelizmente, a representação destas interações para o ciclo de vida do EGSE que estamos focando não seria viável por meios de uma representação gráfica. Cabe porém atentarmos para o fato de que tal dinâmica das construções e realimentações cíclicas observada por Halligan também acontece no nosso caso.

## **2.8 Trabalhos anteriores**

Nesta seção é feita a análise resumida de alguns trabalhos publicados anteriormente, relevantes para o campo de estudos escolhido, e com aplicação direta na presente dissertação.

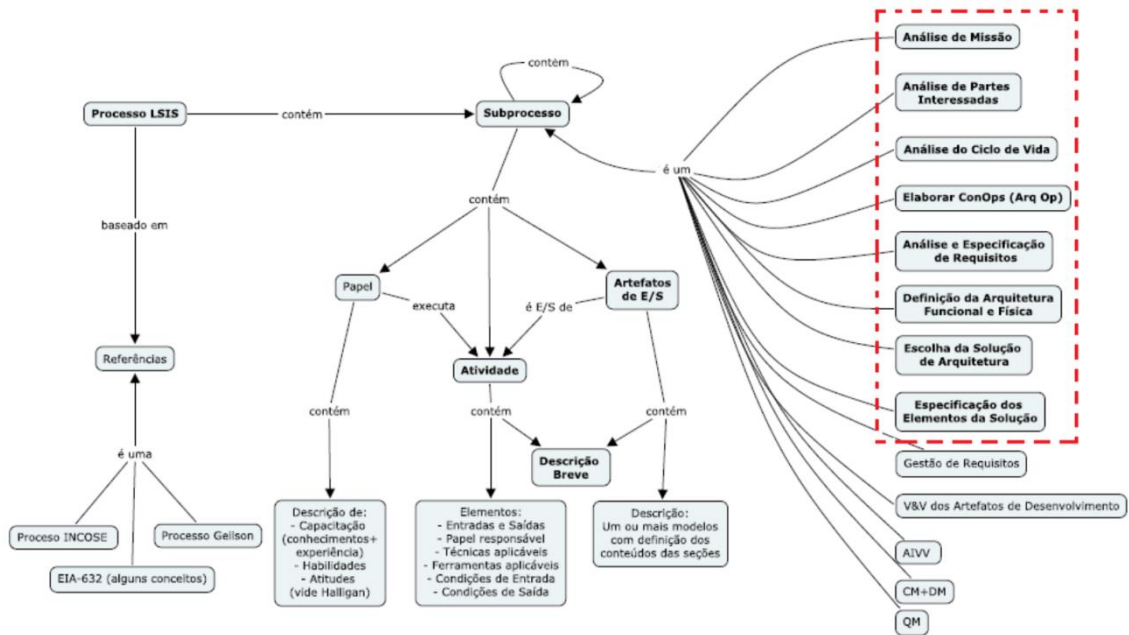
### **2.8.1 Processo de referência LIT/LSIS**

O LSIS (Laboratório de Engenharia Simultânea de Sistemas) é um grupo interno do LIT (Laboratório de Integração e Testes) que visa a desenvolver competências na aplicação de abordagens e técnicas de Engenharia. Este grupo desenvolveu o Processo de Referência de Engenharia de Sistemas do LSIS (doravante abreviado como “LSIS SE”).

Rodriguez (2016) declara que o LSIS SE foi definido baseado no INCOSE, em alguns conceitos da norma EIA-632, e no processo gerado na tese de doutorado de Geilson Loureiro. O processo descreve atividades e artefatos para elaborar os subprocessos de desenvolvimento. (RODRIGUEZ, 2016).

A Figura 2.21 apresenta os conceitos que deram origem ao processo do LSIS.

Figura 2.21 - Desenvolvimento do processo de Engenharia de Sistemas do LSIS.

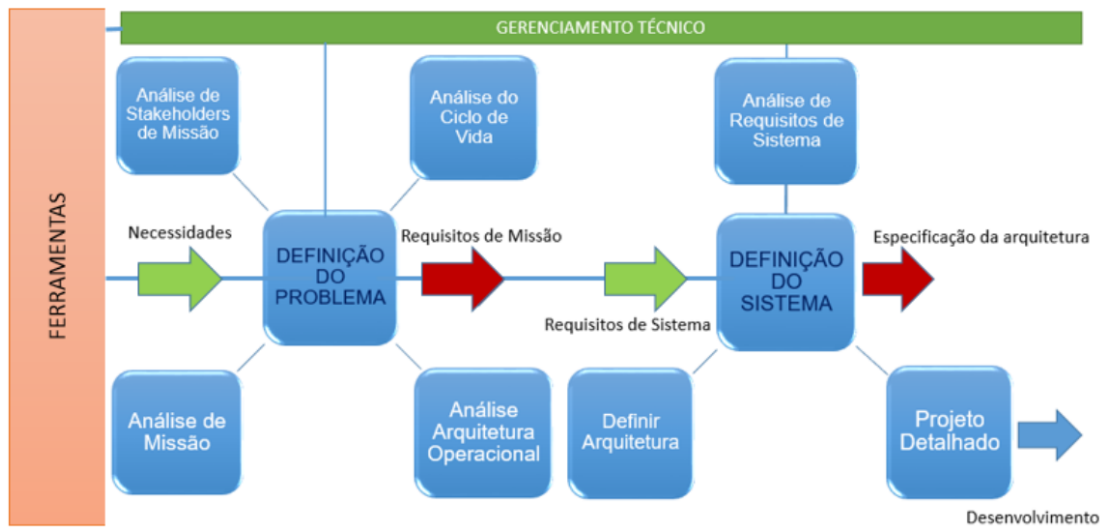


Fonte: Rodriguez (2016).

Rodriguez (2016) destaca, no quadro vermelho pontilhado, as atividades do processo LSIS SE, que são as de Análise de Missão, Análise de Partes Interessadas (*stakeholders*), Análise do Ciclo de Vida, Elaborar ConOps (ArqOp), Análise e Especificação de Requisitos, Definição de Arquitetura Funcional e Física, Escolha da Solução de Arquitetura e Especificação dos Elementos da Solução. Cabe notar que, no processo descrito por Rodriguez (2016), o escopo cobriu até o ponto do desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para pico e nano satélites e, aparentemente, os processos das fases de Implementação, Verificação/Validação e Implantação / Operação não foram incluídos no escopo da sua análise.

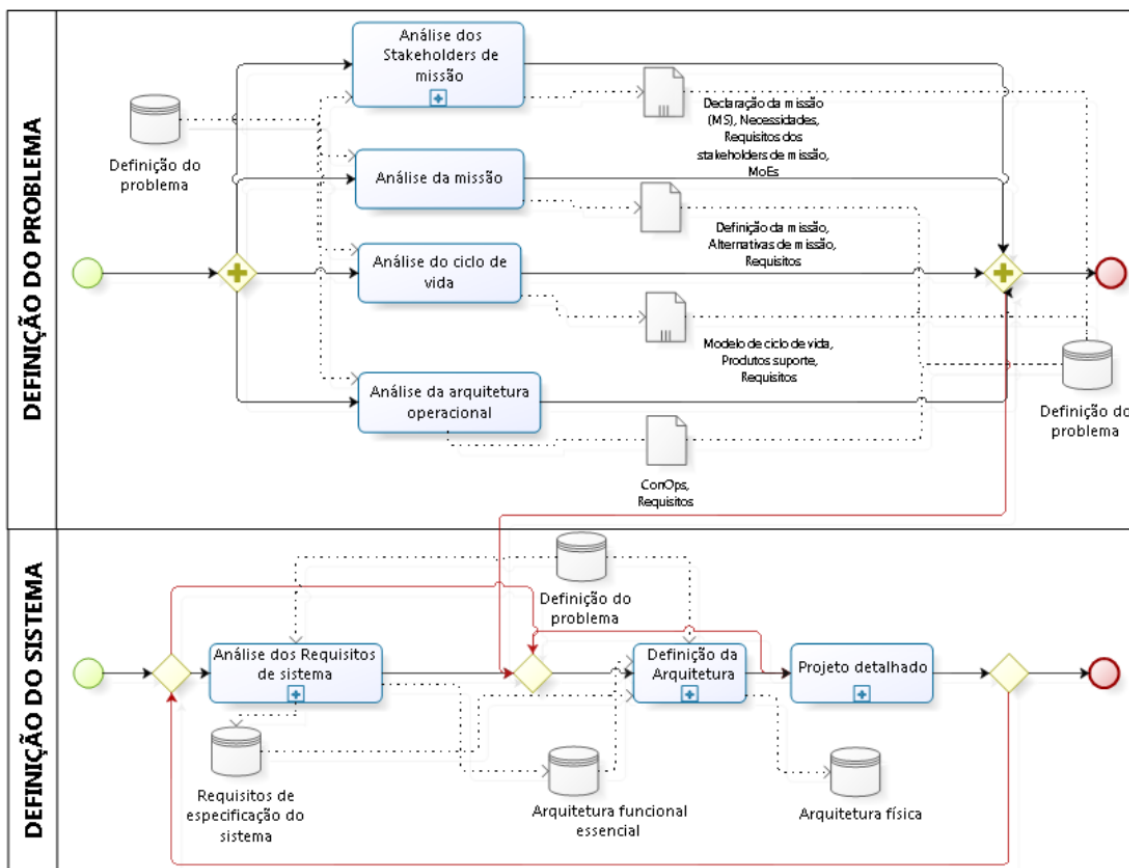
A Figura 2.22 ilustra de forma macro a sequência lógica dos processos do LSIS SE utilizada por Rodriguez (2016), e a Figura 2.23 ilustra de forma mais detalhada as atividades envolvidas, utilizando-se a notação BPMN.

Figura 2.22 - Processo de referência macro do LSIS SE.



Fonte: Rodriguez (2016).

Figura 2.23 - Visão detalhada das atividades do LSIS SE.



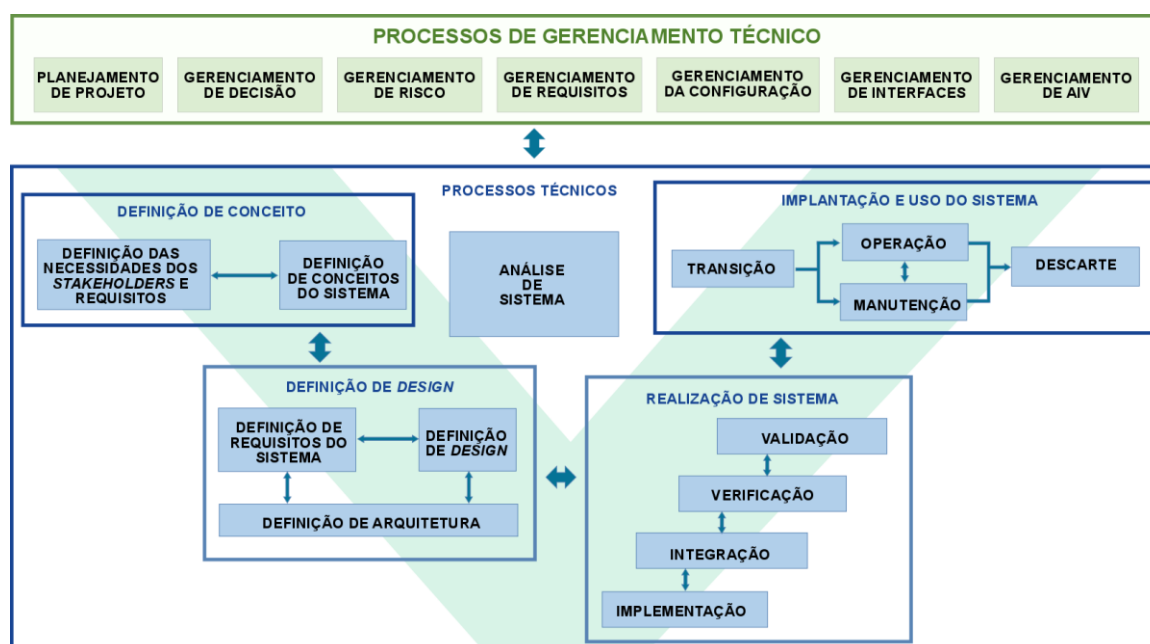
Fonte: Rodriguez (2016).

Já Coronel (2017) declara que o LSIS SE adota uma abordagem de engenharia de sistemas customizada a partir das normas ISO/IEC/IEEE 15288 “*Systems and software engineering - system life cycle processes*” e IEEE 15288.1-2014 “*Standard for application of systems engineering on defense programs*”, de acordo com as necessidades do LIT (como por exemplo recursos, pessoal e ferramental). O resultado é uma abordagem de Engenharia de Sistemas focada principalmente nos estágios iniciais de atividades de desenvolvimento e *design* conceitual. (CORONEL, 2017).

A abordagem do LSIS SE compreende em sua maioria processos técnicos e de gerenciamento técnico, conforme mostra a Figura 2.24.

As maiores mudanças afetaram o processo “Análise de Negócio e Missão” da do framework da ISO/IEC/IEEE 15288:2015, que foi redefinido para “Definição de Conceitos do Sistema” no LSIS SE (CORONEL, 2017).

Figura 2.24 - Abordagem de Engenharia de Sistemas do LSIS SE.



Fonte: Adaptado de Coronel (2017).

Os processos técnicos são aqueles que transformam as necessidades das *stakeholders* em um produto e serviço. Os processos técnicos são compostos pelos processos de definição de conceito, definição de design, realização do sistema, implantação e uso do sistema e de análise de sistema. Os processos de gerenciamento técnico são aqueles relacionados ao gerenciamento e aplicação dos recursos e ativos para cumprir os acordos os quais a organização celebra. Os processos de gerenciamento técnico incluem planejamento de projetos, gerenciamento de decisões, gerenciamento de riscos, gerenciamento de requisitos, gerenciamento de configurações, gerenciamento de interfaces e gerenciamento de Montagem, Integração e Verificação (AIV) (ISO/IEC/IEEE 15288, 2015) (CORONEL, 2017).

Observa-se, de forma geral, que a aplicação do LSIS SE, tem se baseado em abordagens com forte foco em artefatos documentais (documentos de entrada e de saída). Faz pouco uso de modelos representativos se comparado a uma abordagem MBSE, com foco mais forte em modelos.

### **2.8.2 Desenvolvimento integrado de GSE's**

Visando superar a dificuldade em se capturar os requisitos dos produtos de apoio, categoria em que se encontram os EGSE's, no momento da decomposição do produto de interesse, considerando-se que o produto de apoio possui seu design acoplado ao design do anterior, Venticinque (2017) elaborou o Processo de Desenvolvimento Integrado de GSE, (PDIG), que se propõe ao desenvolvimento de quaisquer categorias de GSE, tendo sido também desenvolvido um guia de desenvolvimento Integrado de EGSE (VENTICINQUE, 2017);

Segundo Venticinque (2017), o processo para desenvolvimento de GSE deve integrar os processos de desenvolvimento do GSE, do produto espacial, e de seu processo de AIT. Uma solução eficiente de GSE somente é possível quando desenvolvida simultaneamente com o produto espacial e seu processo de AIT e vice-versa, i.e., a solução do produto espacial somente é possível quando desenvolvido simultaneamente com seus processos de ciclo de vida

(incluindo o processo de AIT) e os produtos de apoio necessários (incluindo o GSE) (VENTICINQUE, 2017);

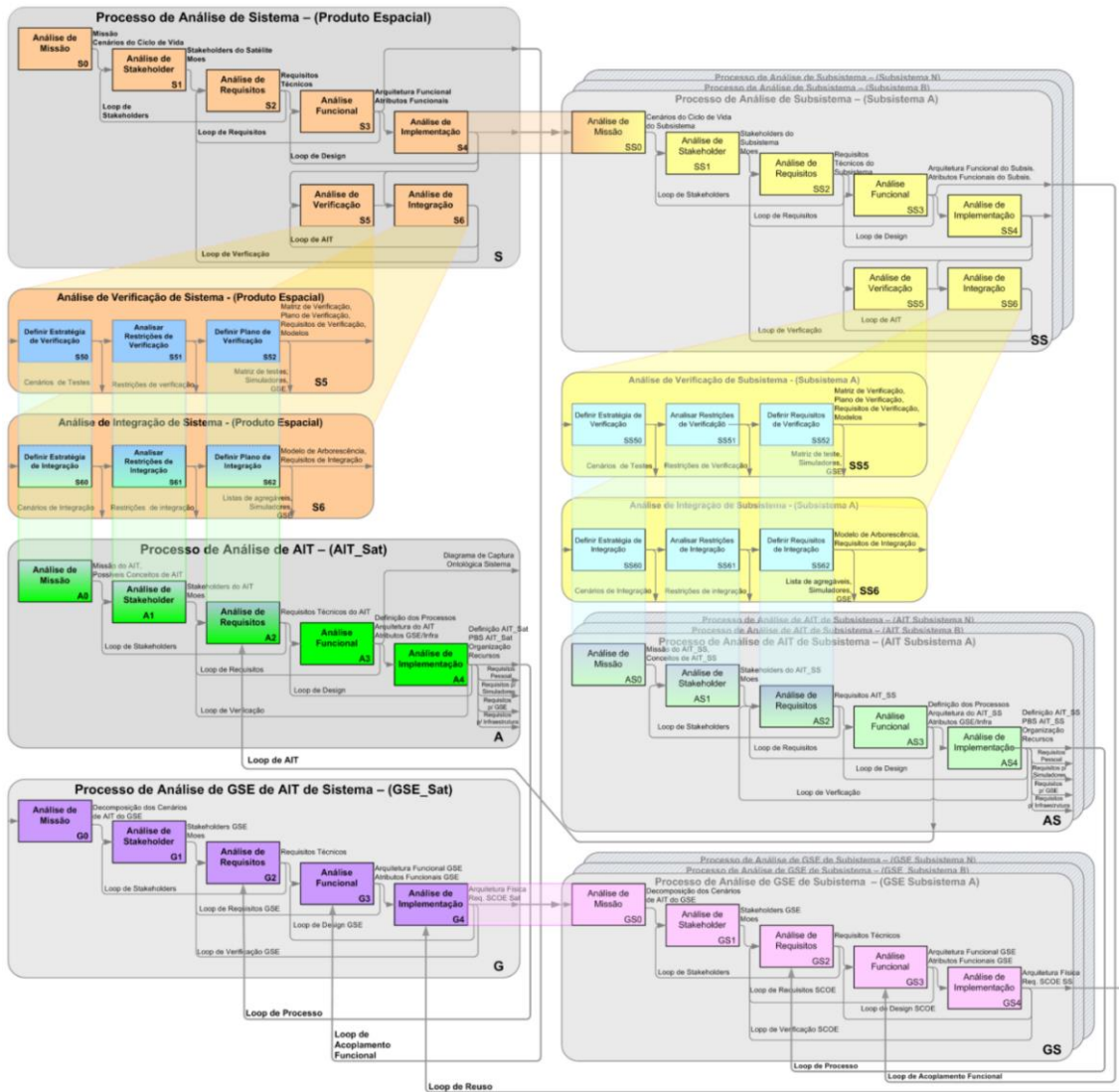
A Figura 2.25 ilustra o processo de Desenvolvimento Integrado de GSE.

Este processo baseia-se na aplicação ajustada do Processo de Análise Estruturada de Sistemas – PAES, idealizado por Loureiro (1999), aplicado recursivamente ao produto, aos processos do ciclo de vida do produto e às organizações que implementam esses processos, em todos seus níveis hierárquicos (VENTICINQUE, 2017);

Segundo Venticinque (2017), o diferencial do PDIG é que o processo de desenvolvimento do produto espacial, de seu AIT e do GSE são analisados em uma ótica mais aberta e portanto permitindo que os processos de análise de sistema de cada um dos elementos da tríade (produto espacial/AIT/GSE) interaja não apenas na entrada e saída do processo de análise de sistema, mas também entre seus sub-processos.

Note-se, portanto, os loops externos entre os processos de análise da tríade de elementos do sistema.

Figura 2.25 - Processo de Desenvolvimento Integrado de GSE – PDIG.



Fonte: Venticinque (2017).

### 3 MBSE4EGSE - abordagem MBSE para desenvolvimento de EGSE

A abordagem MBSE para o desenvolvimento de EGSE, doravante abreviada por MBSE4EGSE, consiste basicamente em:

- Selecionar um subconjunto adequado de diagramas e artefatos SysML a serem gerados de forma conveniente e pragmática;
- Definir semântica para garantir diagramas e regras significativas para verificar a consistência do modelo;
- Definir uma sequência lógica de diagramas que garanta a eficiência da modelagem em relação aos processos organizacionais e seja bem entendida por todas as partes interessadas ao longo do ciclo de vida;

#### 3.1 Fases da MBSE4EGSE

O fluxo do processo usado procura seguir as principais fases do processo do *Total Vision Framework* proposto por Loureiro (1999).

A Tabela 3.1, mostrada abaixo, ilustra a sequência básica do processo de análise que fazem parte da abordagem, e apresenta os diagramas do SysML que são utilizados e a forma da sua utilização:

Tabela 3.1 - Fases dos processos de análise e abordagem de modelagem.

Fase		
Subfase	Diagramas	Abordagem de Modelagem
1. Análise de Missão		
1.1 - Análise de Contexto / Conceito de operações	Diagrama de Definição de Blocos (BDD)	Definições de Tipos (Catálogo de Partes)
	Diagrama de Blocos Interno (IBD)	Descrição de Estruturas (blocos), componentes internos, relacionamentos e interfaces entre estruturas.
1.2 - Análise do Ciclo de Vida	Diagrama de Atividades	Definição do Faseamento dos processos e subprocessos.
1.3 - Análise dos Cenários do Ciclo de Vida	Diagrama de Atividades	Definição dos cenários existentes em cada processo ou subprocesso do ciclo de vida.



Fase		
Subfase	Diagramas	Abordagem de Modelagem
2. Análise de stakeholders		
2.1 - Identificação de <i>stakeholders</i>	Diagrama de Definição de Blocos (BDD)	Atores (usados em Diagramas de Casos de Uso) São criados como “tipos” em um BDD
2.2 - Preocupações de <i>stakeholders</i>	Diagramas de Caso de Uso	Preocupações de <i>stakeholders</i> descritas em diagramas de Casos de Uso, com o Sistema ou Organização de Interesse em diversos cenários
2.3 - Medidas de Efetividade (MoE)	Diagramas de Requisitos	Especificações de MoEs, MoPs e TpMs são representadas como requisitos em diagramas de Requisitos.
	Diagrama de Definição de Blocos (BDD)	MoEs, MoPs e TpMs são representadas como tipos de valor em BDD.
	Diagramas de Requisitos	Análise de MoEs, MoPs e TpMs em Diagramas de requisitos pelo método GQM
2.4 - Requisitos de <i>stakeholders</i>	Diagramas de Requisitos	Requisitos de <i>stakeholders</i> e suas dependências são representados em Diagramas de Requisitos.
	Tabela de Requisitos	Caso não haja dependências entre requisitos, pode ser usada apenas tabela de requisitos.
3. Análise de Requisitos do Sistema	Diagramas de Requisitos	Requisitos de sistema e suas dependências são representados em diagramas ou tabelas de requisitos.
4. Análise Funcional		
4.1 - Identificação de fronteiras, interfaces e análise de ambiente	Diagrama de Blocos Interno (IBD)	Cenários e circunstâncias para produto e organização de interesse são descritos como blocos e suas interfaces com o ambiente;
4.2 - Definição de Estados e Modos de Operação	Tabela genérica	Definição preliminar de estados e modos identificados a partir das circunstâncias.
4.3 - Identificação de Eventos e Respostas	Diagrama de Atividades (act)	Eventos, respostas e funções candidatas são mapeados por meio de diagramas de atividade;
4.4 - Definição de funções	Diagrama de casos de uso (uc) e Tabela Genérica	Funções candidatas e funções definitivas são mapeadas em diagramas de casos de uso e tabela genérica da SysML.
4.5 - Análise de estrutura funcional	Diagrama de Blocos Interno (IBD)	Para as funções definitivas são analisados fluxos de controle e de energia / material / informação entre as funções e elementos funcionais do ambiente são estabelecidos. (Gráfico N <sup>2</sup> )

Fase		
Subfase	Diagramas	Abordagem de Modelagem
4.6 - Análise de comportamento funcional	Diagrama de máquina de estados	Identificação de transições de estados e refinamento dos estados e modos para as funções
	Diagrama de Atividades	Detalhamento de comportamento de funções em nível mais profundo conforme necessidade.
4.7 - Consolidação de estados e modos	Diagrama de máquina de estados	Rastreamento dos estados e modos finais entre si e às funções definitivas.
<b>5. Análise de Implementação</b>		
5.1 - Proposta de arquitetura física genérica	Diagrama de definição de blocos (BDD)	Utilização do diagramas de definição de blocos para propostas de arquiteturas físicas genéricas (PBS)
5.2 - Alocação de Funções	Matriz de Alocação	Por meio de relacionamentos do tipo "Allocate" e geração automática pela ferramenta de modelagem
5.3 - Proposta de arquitetura física genérica de fluxos	Diagrama de blocos interno (IBD)	Os elementos arquiteturais são analisados e identificados os fluxos de controle e de energia / material / informação entre os mesmos. (Gráfico N <sup>2</sup> )
5.4 - Proposta de arquitetura física genérica de interconexões	Diagrama de blocos interno (IBD)	Os elementos arquiteturais e seus fluxos são analisados e são definidas as características físicas das interconexões entre os mesmos.

Fonte: Produção do autor.

Esta tabela foi definida considerando-se as fases dos processos de análise de GSE de Sistema (G0 a G4 na Figura 2.25) e análise de GSE de Subsistema (GS0 a GS4 na Figura 2.25), aplicados de forma recursiva para cada EGSE de subsistema.

Daqui por diante é apresentada a aplicação da abordagem genérica de MBSE4EGSE na análise e modelagem dos processos de ciclo de vida para o desenvolvimento de EGSEs, com as devidas explicações e lógicas adotadas para cada uso. Esta abordagem é válida para o desenvolvimento do EGSE como um todo ou para o desenvolvimento de qualquer elemento individual do EGSE, que será denominado simplesmente por *sistema de interesse*.

## 3.2 Guia de aplicação da MBSE4EGSE

Esta seção apresenta as diretrizes genéricas de aplicação da abordagem MBSE4EGSE proposta acima, com orientações para cada fase, quais os diagramas da SysML que deverão ser utilizados e como deverão ser elaborados.

### 3.2.1 Análise de missão

A análise de missão inicia-se com a declaração de missão, que é uma frase que resume o objetivo da missão para o sistema de interesse.

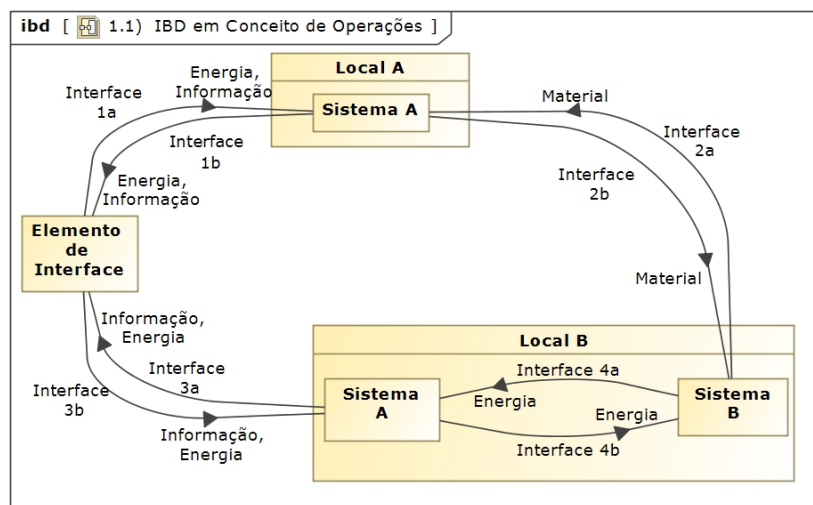
#### 3.2.1.1 Análise de contexto / conceito de operações

Partindo da declaração de missão, são analisados os possíveis conceitos de operação, conforme mostra a Figura 3.1, para situações do *sistema de interesse*.

Os elementos e suas interações são descritos textualmente nos campos adequados do modelo.

Fluxos de energia, material ou informação, sob um ponto de vista ainda inicial, são representados por elementos estereotipados como “*Information Item*” (→), indicando as direções dos fluxos. Não importa nesse momento ainda qual o conceito físico das interfaces.

Figura 3.1 - Diagrama de Blocos Interno (IBD) na definição do Conceito de Operação



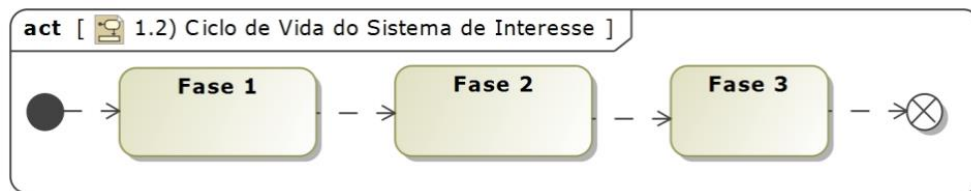
Fonte: Produção do autor.

As interfaces podem ser apresentadas diretamente ou, em casos específicos, por um elemento de interface que necessite de detalhamento mais profundo (como, por exemplo, um sistema de dutos, mangueira de combustível, ou um cabo complexo de sinais e energia).

### 3.2.1.2 Análise do ciclo de vida

Esta análise apenas declara e estabelece a sequência dos processos de ciclo de vida esperados para o sistema de interesse, conforme mostrado na Figura 3.2.

Figura 3.2 - Diagrama de Atividades na análise do ciclo de vida do *Sistema de Interesse*.



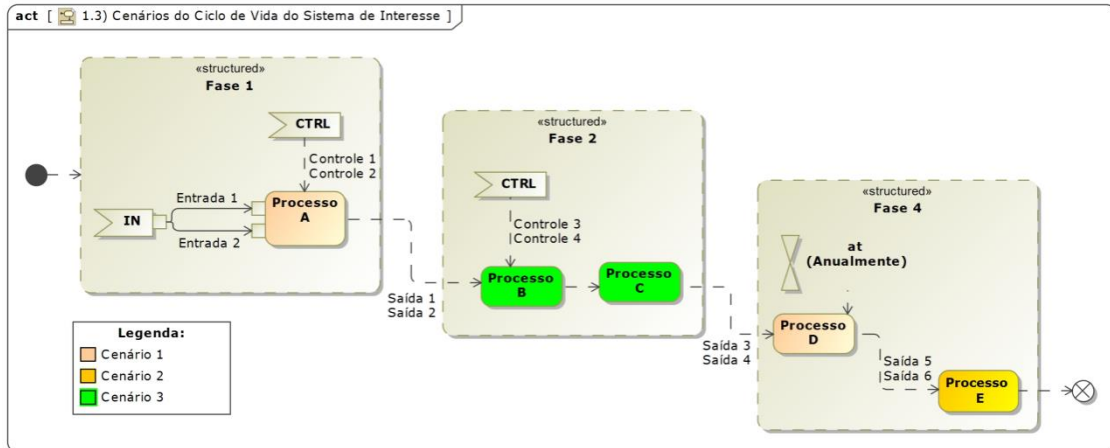
Fonte: Produção do autor.

Nesta representação, as fases do ciclo de vida são representadas por meio de elementos do tipo "activity" no diagrama de atividades SysML, e as transições entre as fases são representadas por conectores do tipo "control flow".

### 3.2.1.3 Análise de cenários do ciclo de vida

Os cenários do ciclo vida do *sistema de interesse* são analisados por meio do diagrama de atividades. É possível utilizar a mesma filosofia de sequência de atividades com entradas e saídas do diagrama IDEF0, sendo que as entradas ou controles do antigo IDEF0 são substituídas por elementos do tipo "Accept Event Action" ou do tipo "Time Event" da SysML. A Figura 3.3 ilustra essa implementação:

Figura 3.3 - Diagrama de Atividades para a análise de cenários de ciclo de vida.



Fonte: Produção do autor.

### 3.2.2 Análise de stakeholders

#### 3.2.2.1 Identificação de stakeholders

A fim de organizar a identificação e classificação dos *stakeholders* de acordo com as organizações de que fazem parte, são utilizadas *packages* da SysML, estereotipadas como “*organization*”. A fim de permitir essa estereotipagem, o meta-modelo da SysML foi estendido em um *profile* customizado denominado “MBSE4EGSE”, de forma a permitir a marcação das *packages* que conterão os *stakeholders* como tal. Também foi criado um estereótipo “*organization*” adicional do tipo “*classifier*”, que pode ser associado elementos do tipo “*stakeholder*” (atores estereotipados da SysML). A

Figura 3.4 ilustra estas extensões.

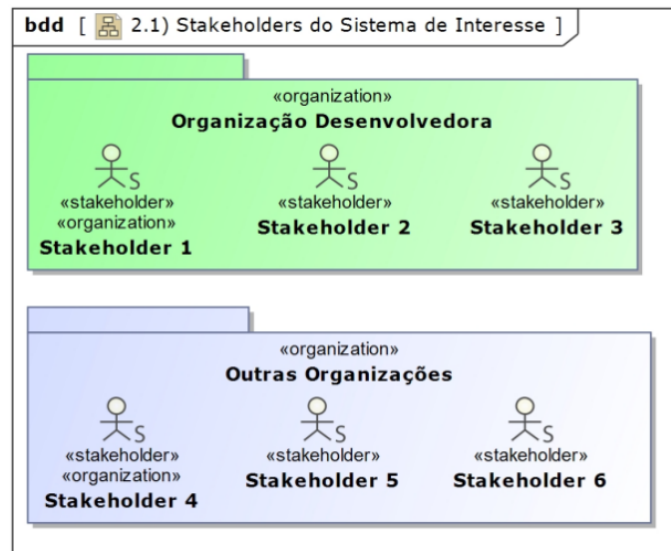
Figura 3.4 - Meta-modelo SysML estendido com estereótipos do tipo “*organization*” para análise de *stakeholders*



Fonte: Produção do autor.

Para o processo de identificação inicial de *stakeholders* de produto e de processo, são utilizados diagramas de definição de blocos (BDD) com o uso de atores estereotipados da SysML. O resultado final mostrado na Figura 3.5.

Figura 3.5 - BDD na Identificação de *stakeholders*.



Fonte: Produção do autor.

Note-se que alguns dos atores estereotipados aparecem com dois estereótipos atribuídos (como por exemplo o caso do *Stakeholder 1*, que aparece com os estereótipos “*stakeholder*” e “*organization*”). Isto foi necessário a fim de se trabalhar com um ator representativo da própria organização como um todo, a fim de se poder associar preocupações de *stakeholders* ao elemento ator e não ao elemento *package*, a qual servirá apenas como *container*, como será visto mais adiante.

Cabe observar que o processo de identificação é iterativo, ou seja, à medida que as preocupações dos *stakeholders* são avaliadas nos cenários do ciclo de vida do produto e das organizações, novos *stakeholders* podem ser identificados e acrescentados nos diagramas já existentes.

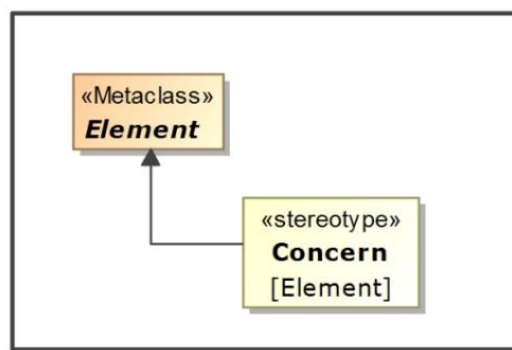
### 3.2.2.2 Preocupações dos *stakeholders*

No PDIG, A identificação dos *stakeholders* de produto e processo é feita para cada cenário do ciclo de vida do produto, e de forma simultânea com a própria descoberta das preocupações dos mesmos.

Isso é feito por meio de diagramas DFD de contexto onde o produto final, é colocado no centro do diagrama, rodeados pelos *stakeholders* que são afetados diretamente, *stakeholders* de produto, e pelos *stakeholders* de processo que são responsáveis pela origem/destino de entradas, saídas, controles e mecanismos (VENTICINQUE, 2017).

Na abordagem MBSE4EGSE, a representação do produto no cenário de ciclo de vida é feita por meio do diagrama de casos de uso, com blocos estereotipados como “*system context*”, representando o contexto no qual o produto se encontra, preocupações de *stakeholders* de produto e processo no centro de cada cenário, para cada um dos cenários existentes. As preocupações são representadas como casos de uso da SysML. Para tanto, MBSE4EGSE estendeu o meta-modelo SysML, acrescentando o estereótipo “*Concern*”, conforme mostrado na Figura 3.6.

Figura 3.6 - Meta-modelo SysML estendido para “*Concerns*”.

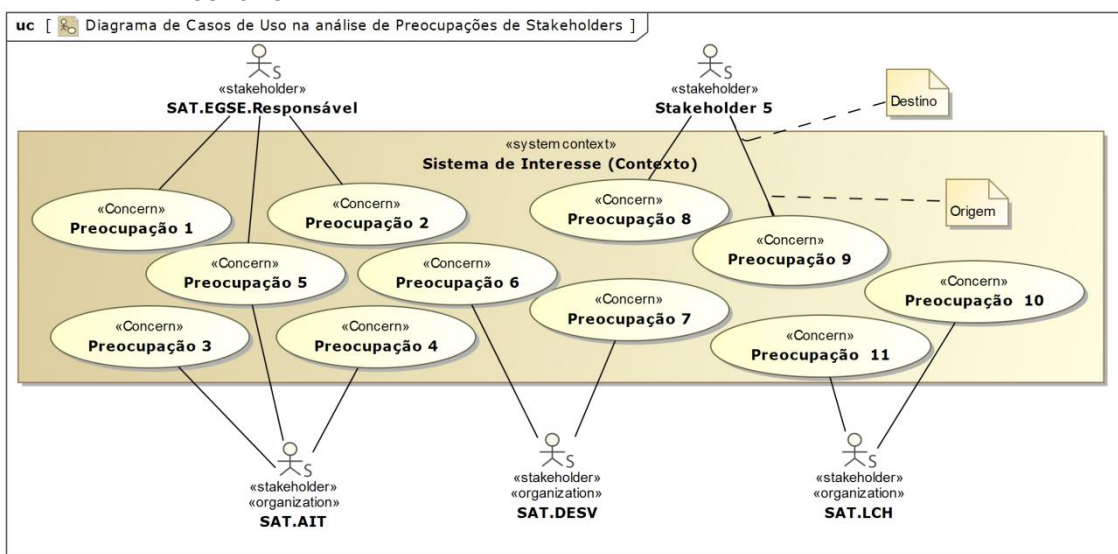


Fonte: Produção do autor.

Para uso dos mesmos, são usados casos de uso estereotipados em diagramas de casos de uso para modelar as preocupações dos *stakeholders*. A Figura 3.7 dá um exemplo de como isso é feito.

Por convenção, e a fim de melhor organização dos elementos na ferramenta de modelagem, as associações entre preocupações e os *stakeholders* é sempre feita no sentido preocupação (origem) para o *stakeholder* (destino). Embora visualmente não faça diferença, isso é útil na geração posterior de listagens das preocupações dos *stakeholders* por meio da ferramenta de modelagem com base nas associações, facilitando e padronizando a obtenção de informações em relatórios.

Figura 3.7 - Preocupações de Stakeholders do *sistema de interesse* em determinado cenário.



Fonte: Produção do autor.

### 3.2.2.3 Medidas de efetividade (MoEs)

A segunda subfase da análise de *stakeholders* é a análise das medidas de efetividade (MoEs). Porém, antes de se iniciar propriamente esta análise, convém delinear como MBSE4EGSE endereça a modelagem de medições técnicas em geral.

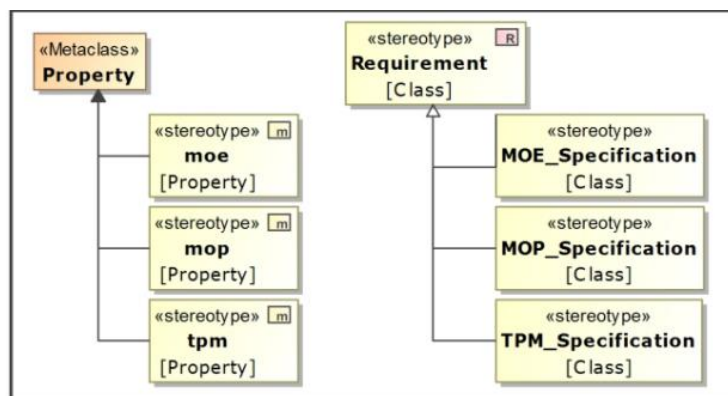
#### 3.2.2.3.1 MBSE4EGSE e medição técnica (MoEs / MoPs / TpMs)

É ideal que as medidas técnicas possam ser avaliadas quantitativamente, de forma que possam ser estimadas ou simuladas em ferramentas externas, integradas à ferramenta de modelagem. Isto pode ser obtido pelo uso de "Tipos de Valor" (*"Value Types"*). É desejável também poder especificar essas medidas



por meio de uma descrição textual, e que possam ser rastreadas até as suas fontes originadoras. Para tanto, “MBSE4EGSE” estendeu o meta-modelo SysML com elementos estereotipados para a especificação de MoEs, MoPs e TpMs, conforme mostra a Figura 3.8.

Figura 3.8 - Meta-modelo SysML estendido para de MoEs, MoPs e TpMs.

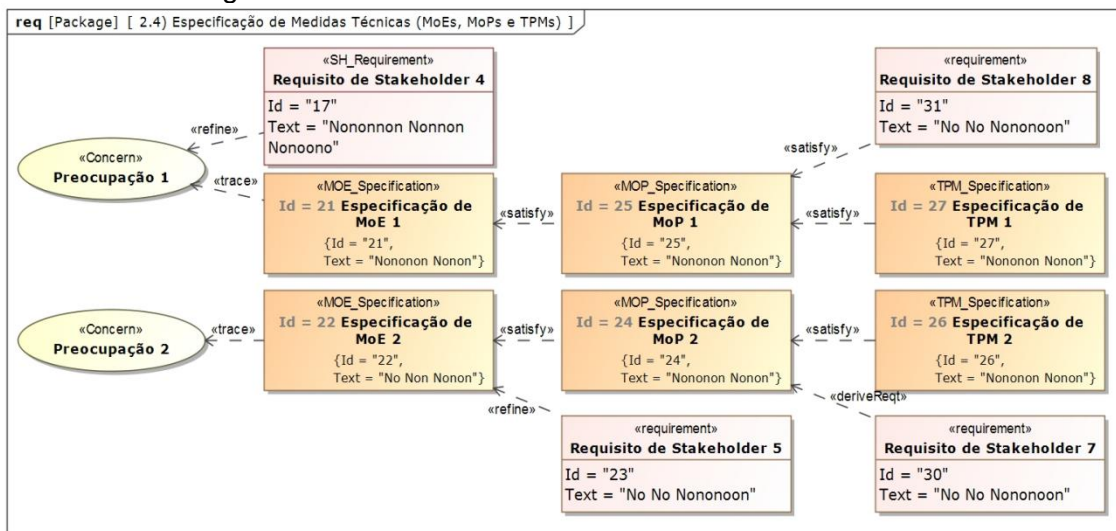


Fonte: Adaptada de Kaslow (2018).

Na abordagem MBSE4EGSE as especificações MoE, MoP e TpM devem ser rastreadas à sua origem. Considerando-se que a modelagem é flexível e permite que MoEs, MoPs ou TpMs possam ser rastreadas a qualquer objeto existente no modelo, assumiu-se como boa prática a sequência natural conceituada na seção 2.3. Além do mais, devido à característica iterativa da análise, a identificação de novas medidas pode acontecer em momentos diferentes, em iterações subsequentes dos loops de refinamento existentes no ciclo de vida.

Portanto para MBSE4EGSE, MoEs, MoPs e TpMs são rastreadas à sua origem por meio de conectores do tipo *“trace”*, *“satisfy”*, etc, conforme mostrado na Figura 3.9.

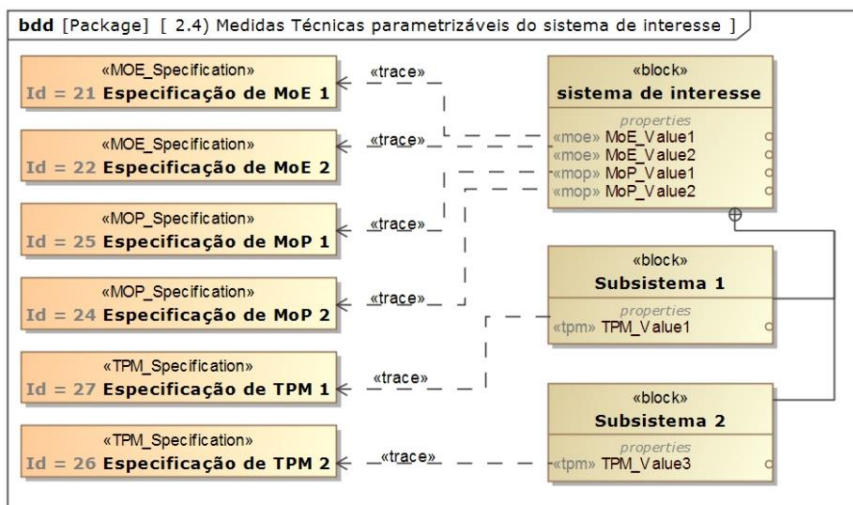
Figura 3.9 - Rastreabilidade/derivação de especificações de medidas técnicas às suas origens



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 3.9, as entradas para a definição das MoEs, por exemplo, são as preocupações dos *stakeholders*, ou seja, são as necessidades primárias de missão ou questões críticas de operação para o desenvolvimento dos EGSEs e outros Sistemas Habilitantes. A partir daí, em outras fases da análise, são identificadas as MoPs e TpMs, e, posteriormente, requisitos de *stakeholders* em nível mais refinado. Requisitos de *stakeholders* podem ser rastreados por conectores do tipo “*refine*”, “*satisfy*”, “*derivedReq*”, etc, conforme for o caso. Requisitos de *stakeholders* podem ser originados diretamente das preocupações, ou de MoEs/MoPs. Não se espera que sejam originados de TpMs pois as mesmas são identificadas após aqueles já estarem consolidados. Por fim, as métricas quantitativas de MoE, MoP ou TpM podem ser expressas, no modelo, por “*Value Types*” (*Properties*) em diagramas de definição de blocos, conforme mostrado na Figura 3.10, ou em diagramas paramétricos, que serão vistos adiante.

Figura 3.10 - Capturas de Medidas Técnicas como *Value Types* em um BDD.



Fonte: Produção do autor.

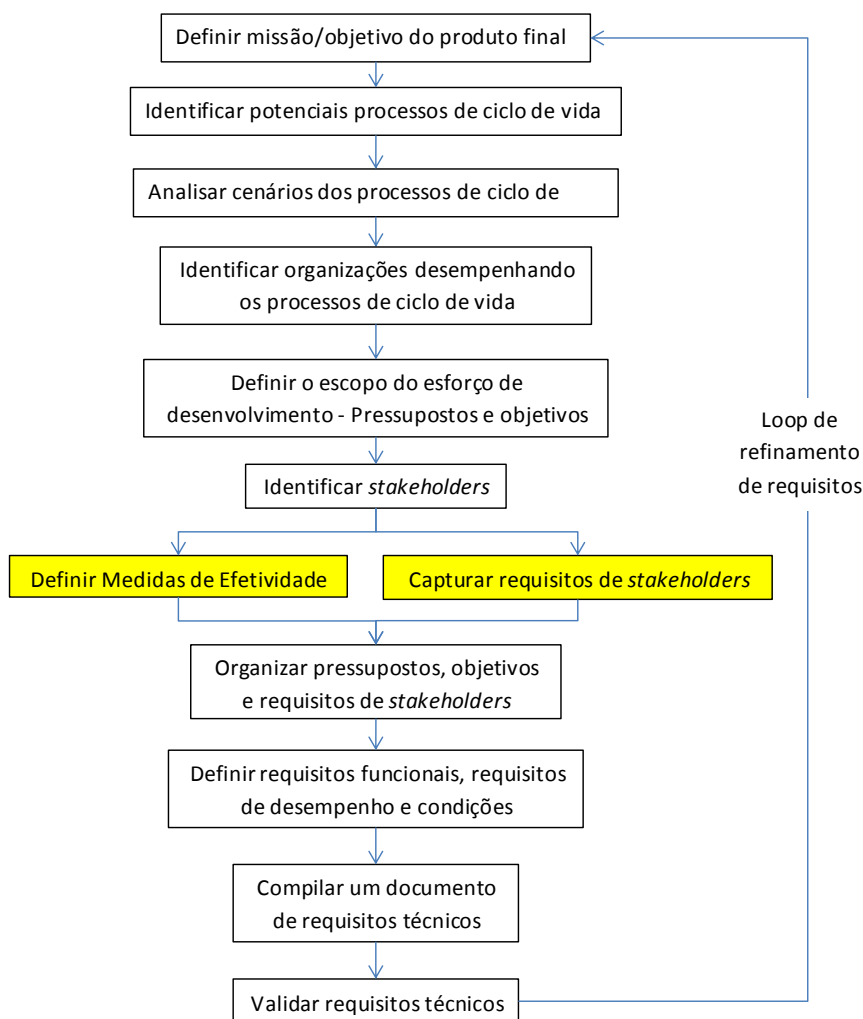
### 3.2.2.3.2 Identificação das medidas de efetividade (MoEs)

As primeiras medidas técnicas que podem ser identificadas já nessa fase são as Medidas de Efetividade. No Processo de Desenvolvimento Integrado de GSE (PDIG) de Venticinque (2017) as Medidas de Efetividade foram identificadas após a definição dos requisitos de *stakeholders* e foram rastreadas ou mesmo derivadas dos mesmos.

Já no Processo de Análise Estruturada de Sistemas (PAES) de Loureiro (1999), “Medidas de Efetividade expressam os atributos pelos quais os *stakeholders* avaliam o sistema”, sendo estas derivadas diretamente das preocupações dos mesmos. Ou ainda “métricas pelas quais os *stakeholders* irão medir a sua satisfação com a solução resultante do esforço de desenvolvimento” (LOUREIRO, 1999).

Na prática, as atividades de definição de medidas de efetividade e captura de requisitos de *stakeholders* ocorrem de forma simultânea, conforme enfatizado na Figura 3.11. Em nosso caso, MBSE4EGSE procura identificar as MoEs já após a identificação das preocupações dos *stakeholders*.

Figura 3.11 - Simultaneidade das medidas de efetividade e requisitos de *stakeholders* no processo de análise de requisitos.

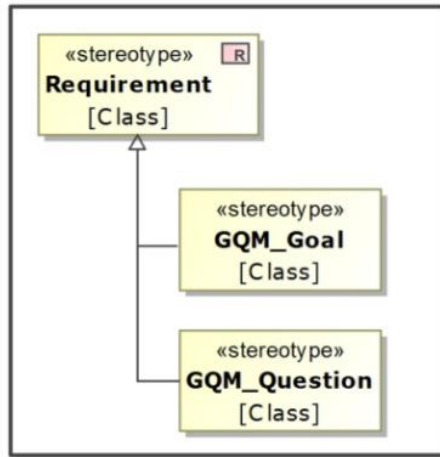


Fonte: Adaptado de Loureiro (1999).

Como auxílio para descoberta das MoEs, foi utilizado o método GQM explicado na seção 2.4 para a identificação das métricas que produzirão as medidas de efetividade adequadas. Este mesmo método também é utilizado para o descobrir as demais medidas técnicas (MoPs e TpMs) no momento adequado.

Para isto, o MBSE4EGSE estende o meta-modelo de SysML, introduzindo os estereótipos *Gqm\_Goal* e *GQM\_Question*, que são utilizados em diagramas de requisitos para reproduzir a estrutura hierárquica de GQM, conforme mostrado na Figura 3.12. As “métricas” da análise GQM são as *MoE\_Specification*.

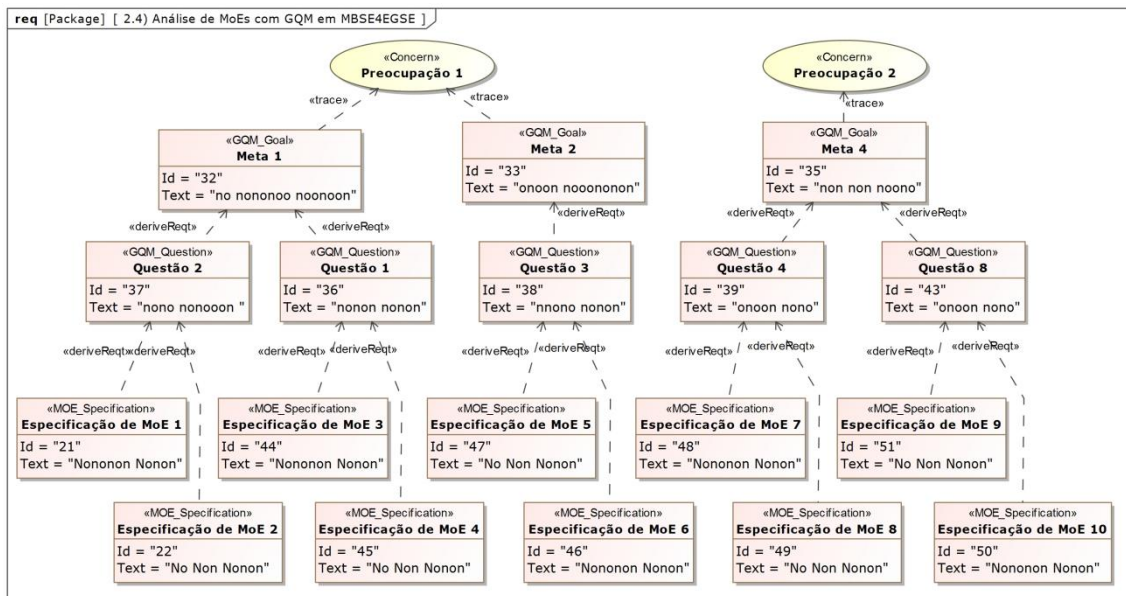
Figura 3.12 - Meta-modelo SysML estendido para análise GQM.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 3.13 ilustra como são inseridos os dados de GQM no modelo. No exemplo dado, as origens das metas são as preocupações dos *stakeholders*, e as métricas geradas são as especificações de MoEs.

Figura 3.13 - Exemplo de análise de MoEs usando GQM.



Fonte: Produção do autor.

#### 3.2.2.4 Requisitos de *stakeholders*

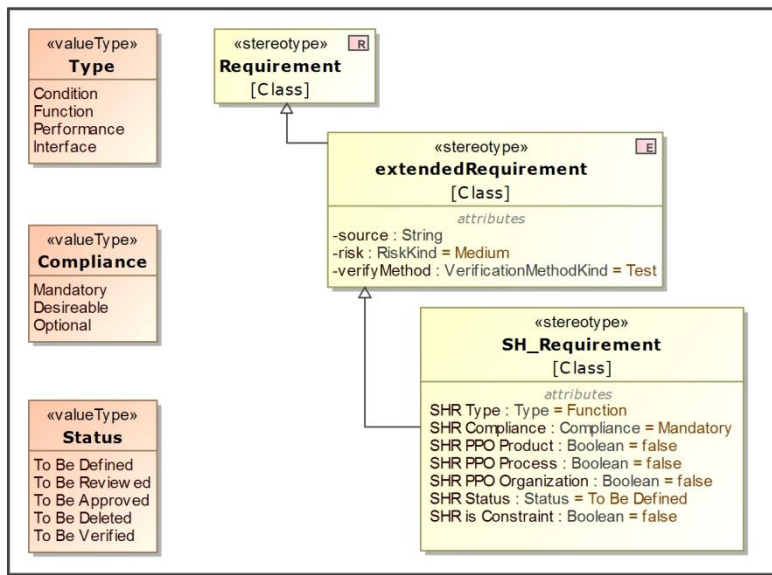
Os requisitos de *stakeholders* levantados anteriormente são analisados e o resultado é descrito por meio de diagramas de requisitos ou tabela de requisitos. Neste momento, os requisitos são levantados do ponto de vista dos *stakeholders*, e as relações de dependência ou rastreabilidade entre os requisitos e suas origens podem ser tornadas explícitas neste tipo de diagrama, por conectores da SysML do tipo "*trace*", "*satisfy*", ou mesmo requisitos derivados por conectores do tipo "*deriveReq*".

Do ponto de vista da classificação dos requisitos de *stakeholders*, conforme Loureiro (1999), requisitos de *stakeholders*, premissas e objetivos podem ser classificados de acordo por:

- a) **tipo**: condição, função, desempenho ou interface;
- b) **nível de conformidade (compliance level)**: mandatório, desejável ou opcional;
- c) **estado**: a ser definido, a ser revisto, a ser aprovado, a ser excluído, a ser verificado;
- d) **alocação (PPO)**: refere-se à alocação do requisito a qualquer combinação de Produto, Processo ou Organização. A dica para esta alocação é o modelo de requisitos que contém o *stakeholder* que corresponde ao requisito;
- e) **restrição (Sim/Não) ou capacidade para "trade-off"**: indica se o requisito é uma restrição ou não.

A fim de proporcionar essa capacidade de classificação durante análise dos requisitos, a abordagem MBSE4EGSE estende o meta-modelo da SysML com *Value Types* e estereótipos específicos, sendo atributos adicionais a ser acrescentados aos requisitos, de acordo com a necessidade de modelagem.

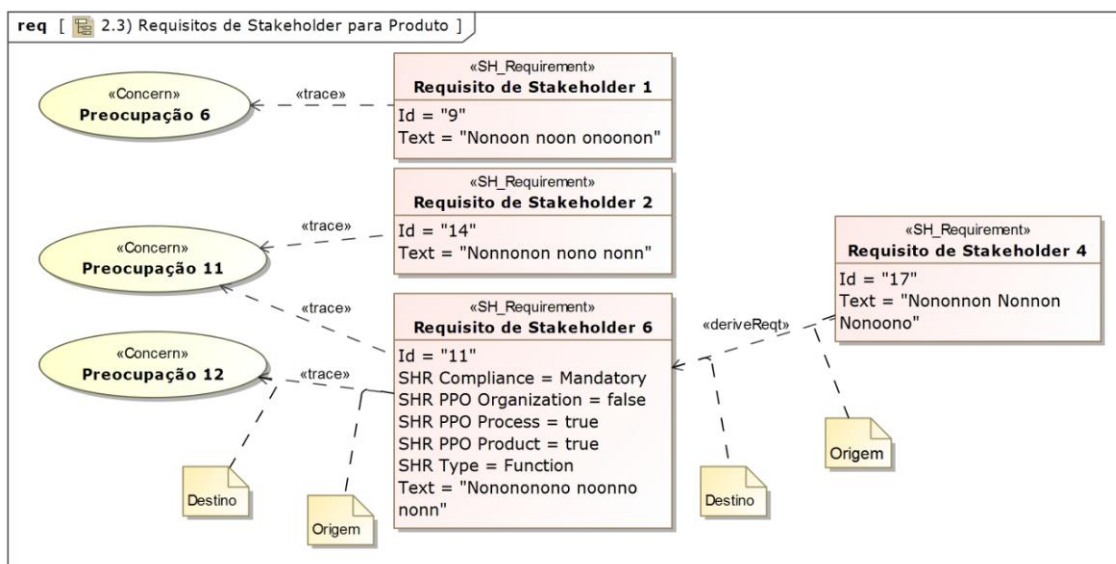
Figura 3.14 - Meta-modelo SysML estendido com estereótipos e *value types* para análise dos requisitos de *stakeholders*.



Fonte: Produção do autor.

A Figura 3.15 ilustra o resultado final de um diagrama de análise de requisitos de *stakeholders* com todos os elementos descritos anteriormente em uso.

Figura 3.15 - Diagrama para análise dos requisitos de *stakeholders*.



Fonte: Produção do autor.

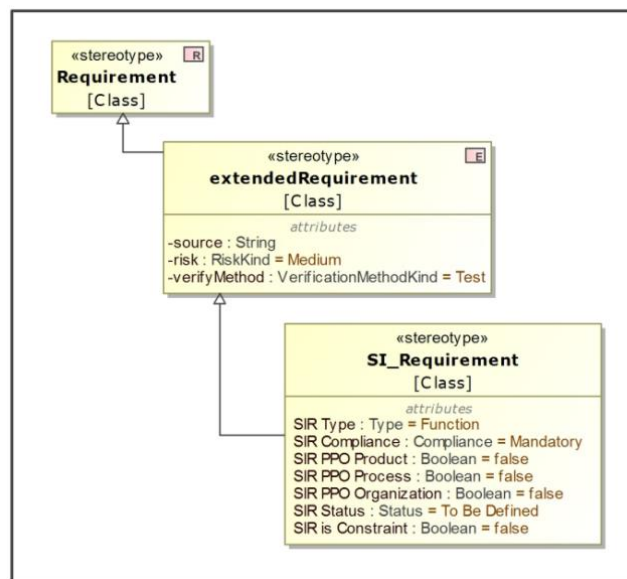
Também nesse caso foi adotada a convenção de uso do conector SysML tipo "Trace" no sentido do requisito (origem) para a preocupação (destino), tendo como filosofia sempre que o requisito se rastreia ao elemento ancestral. No caso de requisitos derivados de outros requisitos (caso haja) a filosofia se mantém, devendo os mesmos ser rastreados por meio do conector SysML tipo "deriveReq" a partir do requisito derivado (origem) para o requisito ancestral (destino).

### 3.2.3 Análise de requisitos do sistema

Dos requisitos dos *stakeholders* e das MoEs definidos anteriormente, bem como das premissas que surgiram durante sua análise, os requisitos técnicos (tanto para produto quanto para organização) são derivados, mas agora do ponto de vista do *sistema de interesse*.

Da mesma forma que foi feito anteriormente para os requisitos de stakeholders, MBSE4EGSE estende o meta-modelo da SysML com *Value Types* e estereótipos específicos para a análise dos requisitos técnicos para o sistema de interesse, conforme mostrado na Figura 3.16.

Figura 3.16 - Meta-modelo SysML estendido com estereótipos e value types para análise dos requisitos técnicos para o sistema de interesse.

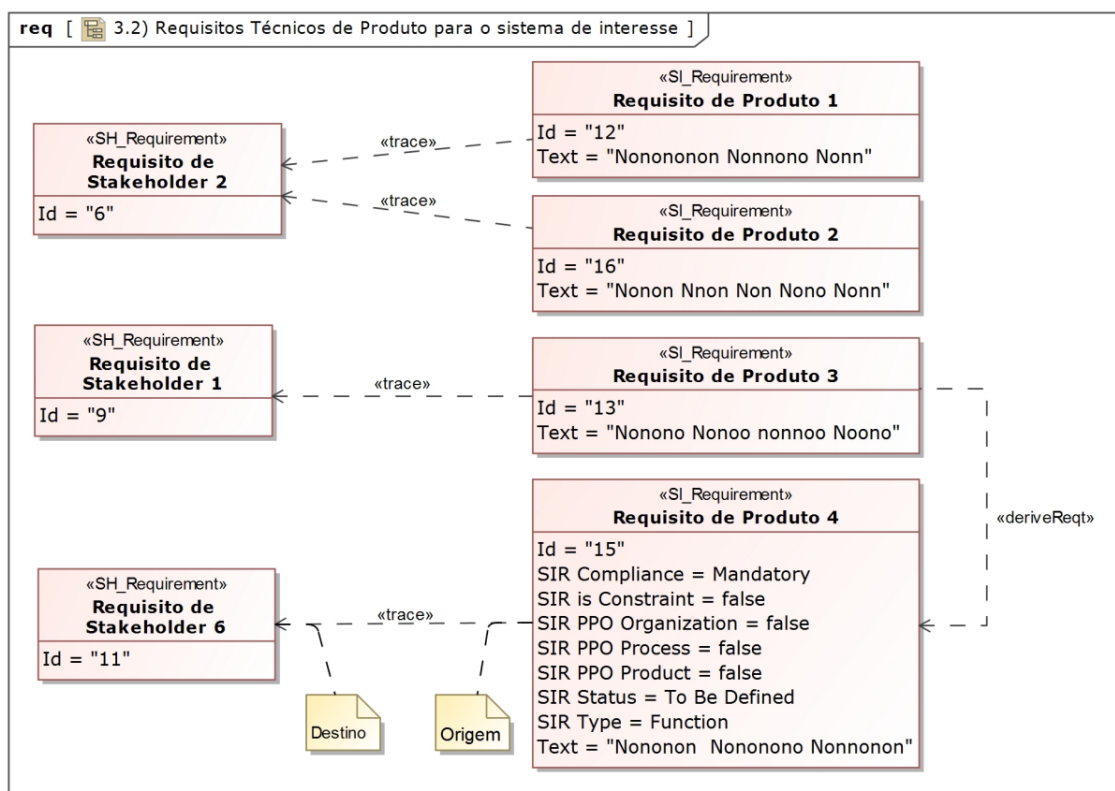


Fonte: Produção do autor.



Semelhantemente ao que foi feito anteriormente, a análise de requisitos é descrita por meio de diagramas de requisitos ou tabela de requisitos, conforme exemplificado na Figura 3.17.

Figura 3.17 - Requisitos Técnicos para o Sistema de Interesse.



Fonte: Produção do autor.

Também neste caso as relações de dependência ou rastreabilidade entre os requisitos às suas origens ou entre si podem explicitadas por conectores da SysML do tipo "trace", "satisfy", "derive", etc.

### 3.2.4 Análise funcional

#### 3.2.4.1 Identificação de fronteiras, interfaces e análise de ambiente

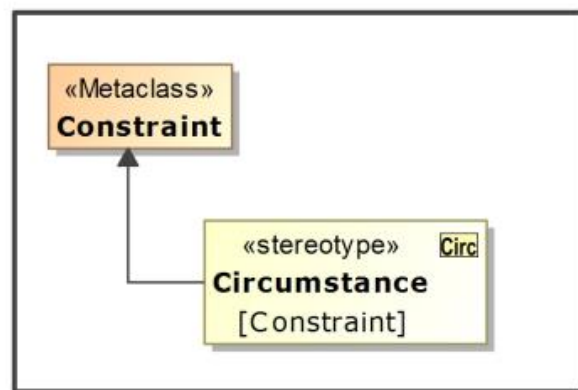
Para identificar as fronteiras do sistema são escolhidos os cenários relevantes dentro do ciclo de vida do produto e organização de interesse (VENTICINQUE, 2017).

Cenários e circunstâncias para produto e organização de interesse são, então, descritos como blocos e suas interfaces com o ambiente pelo uso de diagrama de blocos interno (IBD), conforme ilustra a Figura 3.19.

É feita então a modelagem do ambiente ao qual o produto ou organização de interesse estarão submetidos, com os diversos cenários e circunstâncias em que os elementos de cada cenário poderão se encontrar.

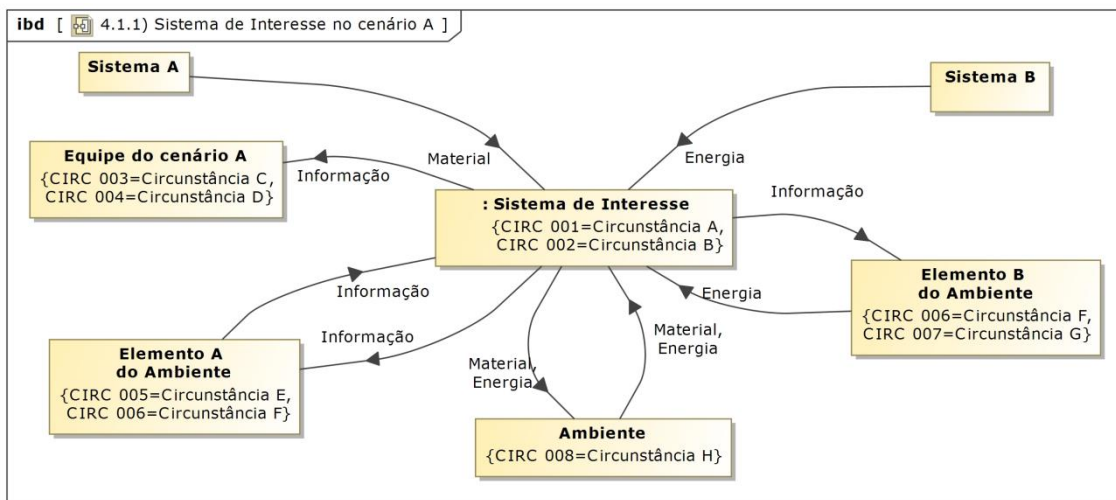
A fim de se modelar as circunstâncias dos elementos, MBSE4EGSE estendeu-se o meta-modelo da SysML, acrescentando-se uma meta-classe tipo “*Constraint*” estereotipada como “*Circumstance*”, conforme mostrado na Figura 3.18. Este esterótipo é aplicado aos elementos dos cenários, como mostra a Figura 3.19. A partir da análise das circunstâncias, é possível identificar os eventos e as respostas esperadas do sistema.

Figura 3.18 - Meta-modelo SysML estendido com *Constraint* “*Circumstance*” para análise de circunstâncias dos elementos dos cenários.



Fonte: Produção do autor.

Figura 3.19 - Modelagem do Ambiente do sistema de interesse em um dado cenário e suas circunstâncias.



Fonte: Produção do autor.

### 3.2.4.2 Definição de estados e modos de operação do sistema de interesse

Pela análise dos requisitos levantados anteriormente, e das circunstâncias identificadas para cada elemento na etapa anterior é possível elaborar uma lista preliminar de estados e modos de operação do sistema de interesse nos cenários operacionais ou não operacionais. Esta lista foi refinada em etapas subsequentes de forma iterativa.

As condições identificadas no processo de análise de requisitos servem como base para a identificação dos estados e modos de operação do sistema. Os estados podem ser derivados, por exemplo, daquelas condições expressas como “quando...” ou “enquanto...” e definem um conjunto de circunstâncias que caracterizam o sistema ou elemento do sistema em um determinado momento. Os modos de operação agrupam a funcionalidade do sistema para um determinado conjunto de condições ou em um determinado estado. (LOUREIRO, 1999)

Estados e modos de operação implicam a necessidade de definir funções de controle. Estas funções de controle habilitarão, desabilitarão ou acionarão outras funções operacionais ou não operacionais.

Tabela 3.2 – Exemplo de lista preliminar de estados e modos do sistema de interesse.

Circunstância	Estado do Sistema de Interesse	Modo do Sistema de Interesse				
		Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
<b>Cenário A</b>						
Circunstância A	Estado A1	X	X	X		
	Estado A2		X	X	X	
Circunstância B, Circunstância C	Estado B/C1		X	X	X	X
	Estado B/C2	X	X		X	
Circunstância D	Estado D1		X	X	X	X
	Estado D2		X	X	X	X
	Estado D3		X	X	X	X
<b>Cenário B</b>						
Circunstância E	Estado E1		X	X	X	
	Estado E2		X	X	X	
Circunstância F, Circunstância G	Estado F/G1		X	X	X	X
	Estado F/G2		X		X	
Circunstância H	Estado H1		X	X	X	X
	Estado H2		X	X	X	X
	Estado H3		X	X	X	X

Fonte: Produção do autor.

### 3.2.4.3 Identificação de eventos e respostas do sistema de interesse

Para cada cenário operacional, são levantados os fluxos de energia, material e informação que afetam diretamente o sistema de interesse. A partir destes fluxos são identificados os eventos “contextuais” (ou seja, aqueles originados por quaisquer elementos participantes do cenário em questão) e as respostas do sistema de interesse (S.O.I.) a tais eventos.

Normalmente este mapeamento é feito utilizando-se uma Lista X-Y de eventos e respostas, como exemplifica a Tabela 3.3:

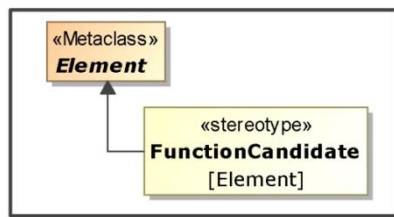
Tabela 3.3 – Exemplo de lista X-Y de eventos e respostas.

Lista X-Y de Eventos / Respostas	
Evento X (Contexto)	Resposta Y (Sistema de Interesse)
Sistema A envia <i>material m</i>	S.O.I <b>recebe material</b> <i>m</i> e <b>armazena</b>
Sistema B envia energia AC	S.O.I <b>condiciona a energia</b> AC e <b>distribui</b> aos seus subsistemas
Elemento A do ambiente envia <i>informação I</i>	S.O.I <b>recebe</b> , <b>processa</b> e <b>armazena</b> a <i>informação I</i>
Elemento A do ambiente recebe <i>informação Z</i>	S.O.I <b>envia</b> a <i>informação Z</i>

Fonte: Produção do autor.

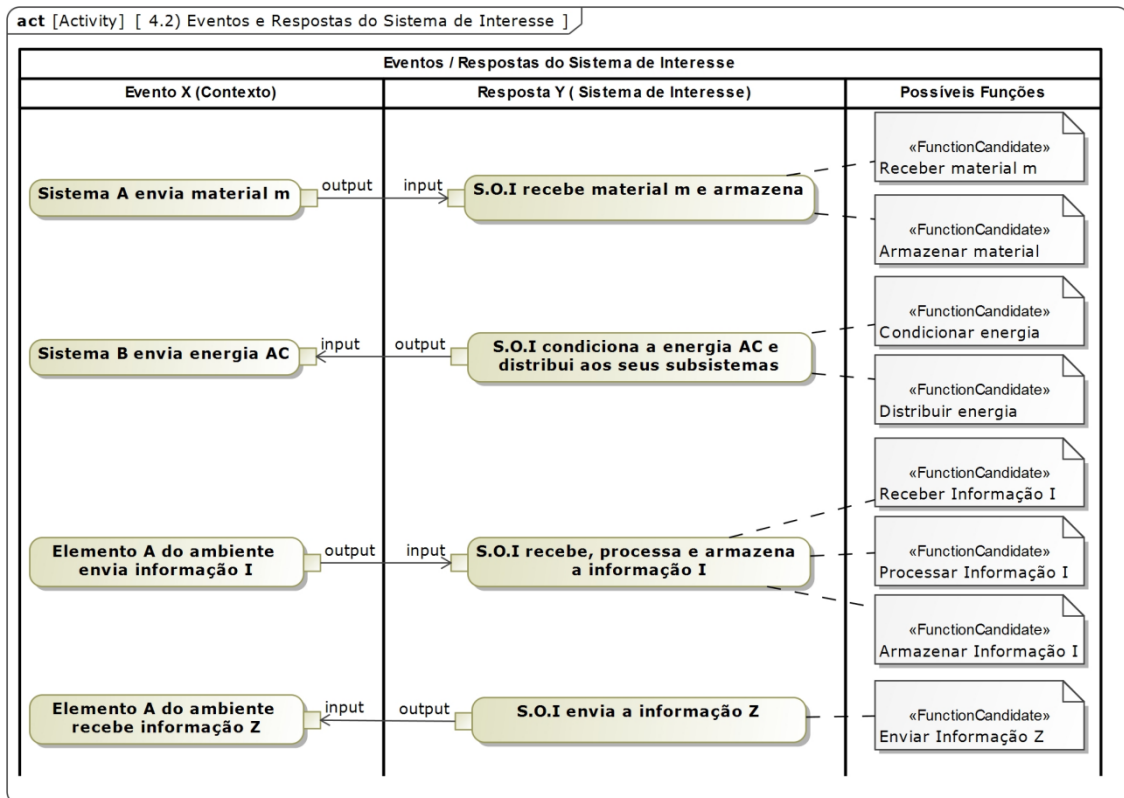
Os elementos textuais que representam “ações” do sistema são candidatos a se tornar funções do sistema de interesse. No caso da MBSE4EGSE, faremos uso do diagrama de atividades da SysML, conforme mostrado na Figura 3.21. Adicionalmente ao uso do diagrama de atividades, foi acrescentada uma coluna extra para a análise inicial das possíveis funções do sistema de interesse. Para a associação destas funções no mesmo diagrama é utilizado um artefato tipo “comment”, esterotipado como “FunctionCandidate”, por uma extensão do meta-modelo da SysML, conforme mostra a Figura 3.20.

Figura 3.20 - Meta-modelo SysML estendido para “FunctionCandidate”.



Fonte: Produção do autor.

Figura 3.21 – Diagrama de atividades com eventos e respostas do sistema de interesse nos cenários

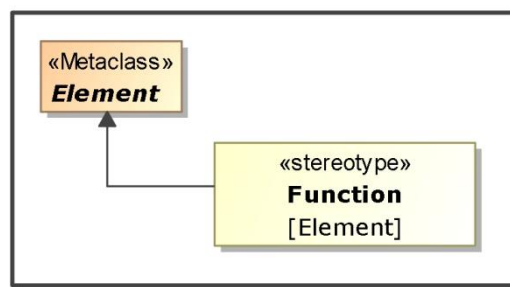


Fonte: Produção do autor.

### 3.2.4.4 Definição de funções

A partir das “possíveis funções identificadas nos eventos e respostas do sistema de interesse, é feita a definição final das funções do sistema, mapeadas por casos de uso da SysML, estereotipados como “*function*”. Para isso, MBSE4EGSE estendeu o meta-modelo de SysML acrescentando o estereótipo “*function*”, conforme mostrado na Figura 3.22.

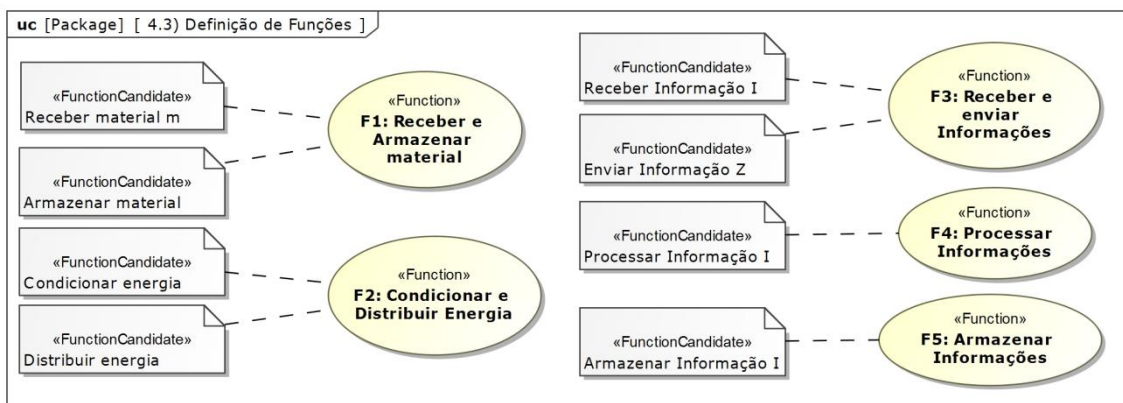
Figura 3.22 - Meta-modelo SysML estendido para “*function*”



Fonte: Produção do autor.

Durante a análise das funções candidatas, pode-se chegar a decisões diferentes para a definição final de funções, de acordo com o que for mais conveniente sob o ponto de vista da implementação e análises de *trade-off*, conforme mostrado na definição final das funções da Figura 3.23, onde optou-se por agregar funcionalidades semelhantes em funções únicas.

Figura 3.23 – Definição final das funções do sistema de interesse.



Fonte: Produção do autor.

Essas funções também podem ser listadas em uma tabela genérica da SysML, exemplificada na Tabela 3.4. Esta tabela é extraída da própria ferramenta de modelagem.

Tabela 3.4 - Lista de definição final das funções do sistema de interesse.

#	△ Name	Documentation
1	○ F1: Receber e Armazenar material	Função responsável pelo recebimento do material m e efetuar o armazenamento do mesmo no compartimento adequado do S.O.I
2	○ F2: Condicionar e Distribuir Energia	Função responsável pelo condicionamento da energia AC recebida e distribuição aos subsistemas do S.O.I
3	○ F3: Receber e enviar Informações	Função responsável por receber Informações I e enviar Informações Z pelo S.O.I
4	○ F4: Processar Informações	Função responsável por processar informações diversas no S.O.I.
5	○ F5: Armazenar Informações	Função responsável pelo armazenamento de informações diversas no S.O.I.

Fonte: Produção do autor.

### 3.2.4.5 Análise de estrutura funcional

A análise da estrutura funcional das funções identificadas procura identificar as entradas e saídas de fluxos entre as mesmas e entre elementos internos ou externos ao sistema de interesse. Descobrem-se os fluxos de material, energia ou informação que fazem parte do contexto de cada função, sem ainda haver a preocupação com os aspectos físicos das interfaces.

Durante esta análise, é possível identificar as possíveis falhas em cada um dos fluxos e com isso identificar funções preventivas e protetivas para as falhas (VENTICINQUE, 2017).

No guia proposto por Venticinque (2017) foi utilizado diagrama DFD para esta análise. Em MBSE4EGSE, é utilizado o diagrama de blocos interno (*ibd*), com algumas adaptações necessárias: as funções definitivas derivam blocos do tipo “*Property*” no diagrama de blocos interno; os fluxos entre as funções são representados por meio de “*Information Items*” (→), fluindo pelas conexões entre as funções e elementos do contexto; elementos de armazenamento são “*Properties*” estereotipadas como tal (“*internal storage*”, por exemplo); sinais de

entrada/saída ou de controle para as funções são obtidos por meio de *Ports*, que destinam os sinais para as funções necessárias.

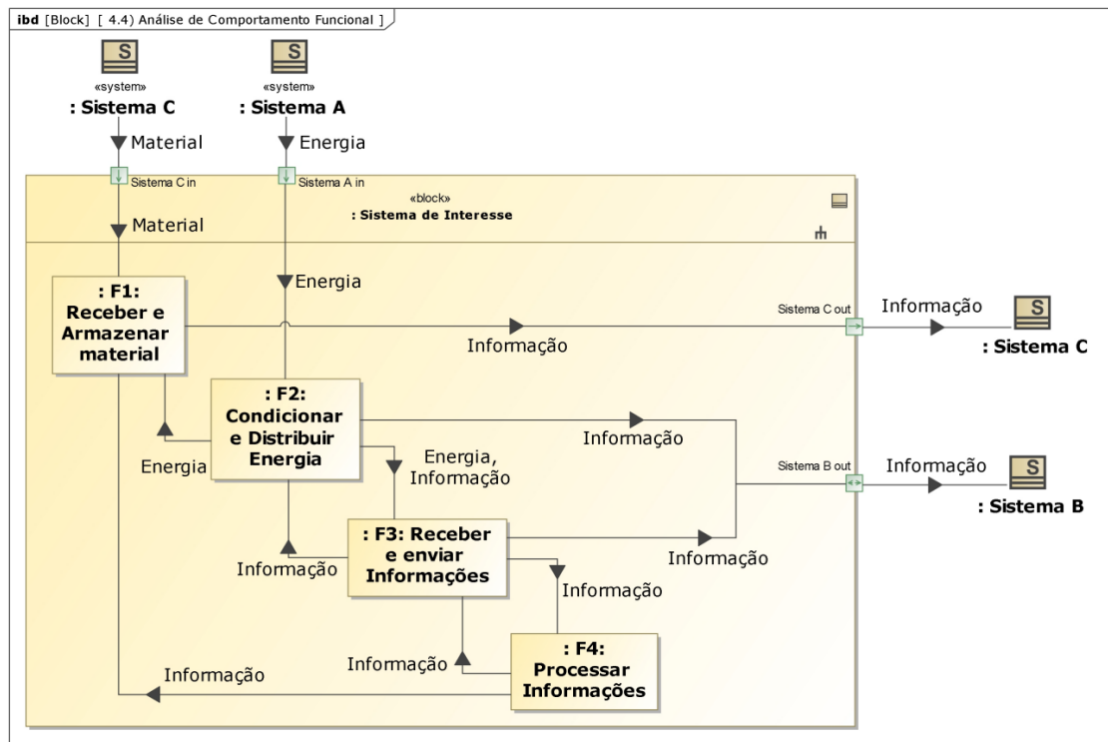
Interfaces entre as funções são explicitadas semelhantemente ao que ocorre em um gráfico  $N^2$  (também conhecido como diagrama  $N^2$ ), o qual não faz parte do padrão SysML, porém, seu conceito de uso pode ser replicado no *ibd* em forma de matriz, com as mesmas regras de um gráfico  $N^2$ , conforme se segue:

- a) Todas as funções (ou sub-funções) estão na diagonal;
- b) Todas as entradas são verticais (para baixo ou para cima);
- c) Todas as saídas são horizontais (para a esquerda ou para a direita);
- d) Todas as entradas e saídas devem ser itens, e não funções;
- e) Elementos externos de entrada são colocados na parte superior do diagrama, entrando na matriz por meio de *input ports*;
- f) Elementos externos de saída são colocados à direita no diagrama, saindo da matriz por meio de *output ports*.

A Figura 3.24 ilustra a uma elaboração típica do diagrama  $N^2$  utilizando-se o *ibd*.



Figura 3.24 - Diagrama funcional N<sup>2</sup> elaborado por meio do Diagrama de Blocos Internos.



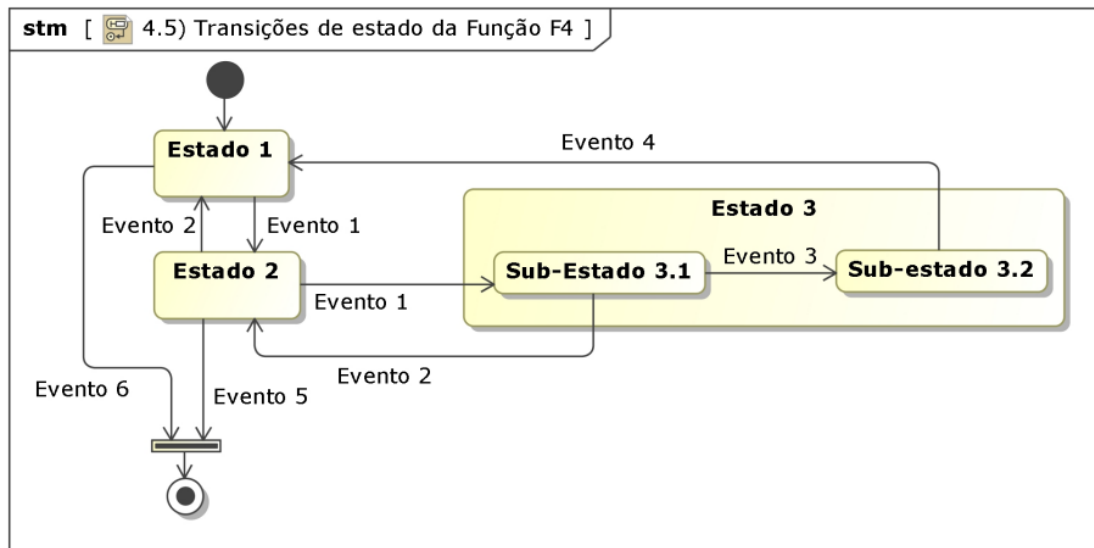
Fonte: Produção do autor.

Pelo fato do *ibd* ser mais versátil do que um diagrama N<sup>2</sup> comum (normalmente elaborado em planilhas ou editores de texto), é mais uma questão de regras de apresentação visual se manter o formato proposto ou optar-se por outra distribuição visual que melhor convenha. Porém o uso do conceito do diagrama N<sup>2</sup>, que já é tradicionalmente utilizado em análises de engenharia de sistemas, facilita a interpretação e ajuda a melhor identificar erros introduzidos durante a fase de análise.

### 3.2.4.6 Análise de comportamento funcional

Após a análise das interfaces, é possível efetuar a análise de comportamento funcional das funções definitivas. Também reavalia-se os estados e modos de operação preliminarmente identificados para o sistema de interesse, utilizando-se diagramas de máquinas de estado SysML para as funções do sistema de interesse, porém agora realizando o mapeamento das transições de estados. A Figura 3.25 ilustra um exemplo.

Figura 3.25 - Exemplo de análise de estados de uma função.



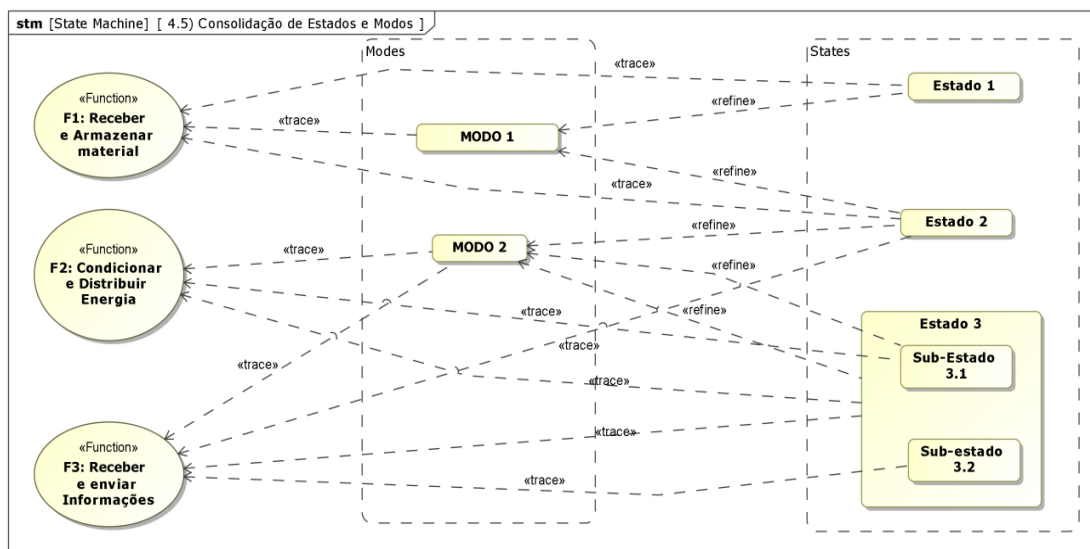
Fonte: Produção do autor.

A análise de comportamento pode também ser complementada pelo uso de diagramas de atividades, para modelar fluxos de atividades que não sejam possíveis de se modelar pelas máquinas de estado, ou mesmo para complementar o comportamento descrito.

### 3.2.4.7 Consolidação da definição de estados e modos

Após o mapeamento das máquinas de estado, a partir da identificação das funções, é possível refinar os estados e modos relacionados a cada função externa ao *sistema de interesse*. A definição é feita por meio de diagramas da Máquina de Estado (*stm*), com o objetivo de rastrear os estados e modos para as funções definidas anteriormente. Para isto são utilizados conectores SysML do tipo "trace" para rastrear os modos e estados às funções, e conectores do tipo "refine" para conectar estados aos modos, no sentido de que estados "refinam" ou modos ou "participam" dos modos em certo grau. A Figura 3.26 ilustra esse método.

Figura 3.26 - identificação e rastreamento de Estados e Modos às funções.



Fonte: Produção do autor.

A representação consolidada dos estados e modos pode ser feita usando uma tabela de alocações, gerada pela própria ferramenta de modelagem com base na rastreabilidade modelada, como o mostrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Consolidação de estados e modos a partir das funções em tabela de alocação SysML .

Legend	4.4) Definição de Funções									
	F1: Receber e Armazenar mater	F2: Condicionar e Distribuir Ener	F3: Receber e enviar Informaçõ	F4: Processar Informações	F5: Armazenar Informações	[4.2) Estados e Modos do Siste	MODO 1	MODO 2		
4.6) Análise de Transições de Estado	2	3	4				2	3		
4.6) Transições de estado da Função F4	2	3	4				2	3		
Estado 1	1	↗				1	↗			
Estado 2	2	↗	↗			2	↗	↗		
Estado 3	2		↗	↗		1		↗		
Sub-Estado 3.1			2	2				1		
Sub-estado 3.2	2		↗	↗		1		↗		

Fonte: Produção do autor.

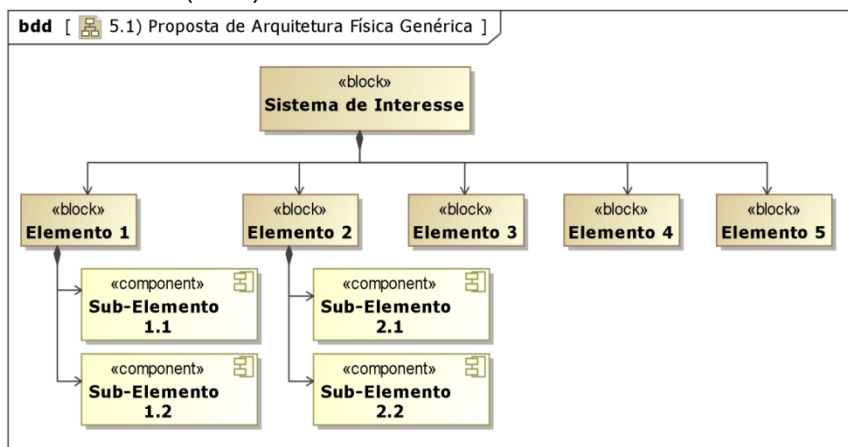
### 3.2.5 Análise de implementação

A análise de implementação visa identificar possíveis soluções de implementação física do sistema de interesse, procurando antecipar questões que possam surgir nas etapas posteriores de desenho, onde disciplinas específicas de engenharia serão utilizadas.

#### 3.2.5.1 Proposta de arquitetura física genérica

Neste momento, propõe-se um ou mais desenhos de arquitetura que possam satisfazer os requisitos e funcionalidades esperadas, fazendo-se uso de experiências passadas (reuso) de arquiteturas ou padrões de design (*design patterns*) e busca de topologias arquiteturais já consagradas que sigam boas práticas da área de aplicação. Inicia-se pela divisão sucessiva do produto em uma Estrutura de Quebra de Produto, ou PBS - *Product Breakdown Structure*). MBSE4EGSE irá utilizar o diagrama de definição de blocos da SysML (*bdd*), conforme mostrado na Figura 3.27.

Figura 3.27 – Exemplo de proposta de arquitetura física genérica do sistema de interesse (PBS).



Fonte: Produção do autor.

#### 3.2.5.2 Alocação de funções

A alocação de funções pode ser feita por ligações do tipo "allocate" em SysML, em diagramas de definição de blocos. A partir dos relacionamentos feitos entre

as funções e os blocos da arquitetura física, pode-se gerar a matriz de alocação diretamente da ferramenta de modelagem, conforme ilustrado pela Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Exemplo de alocação de funções para a arquitetura física do sistema de interesse.

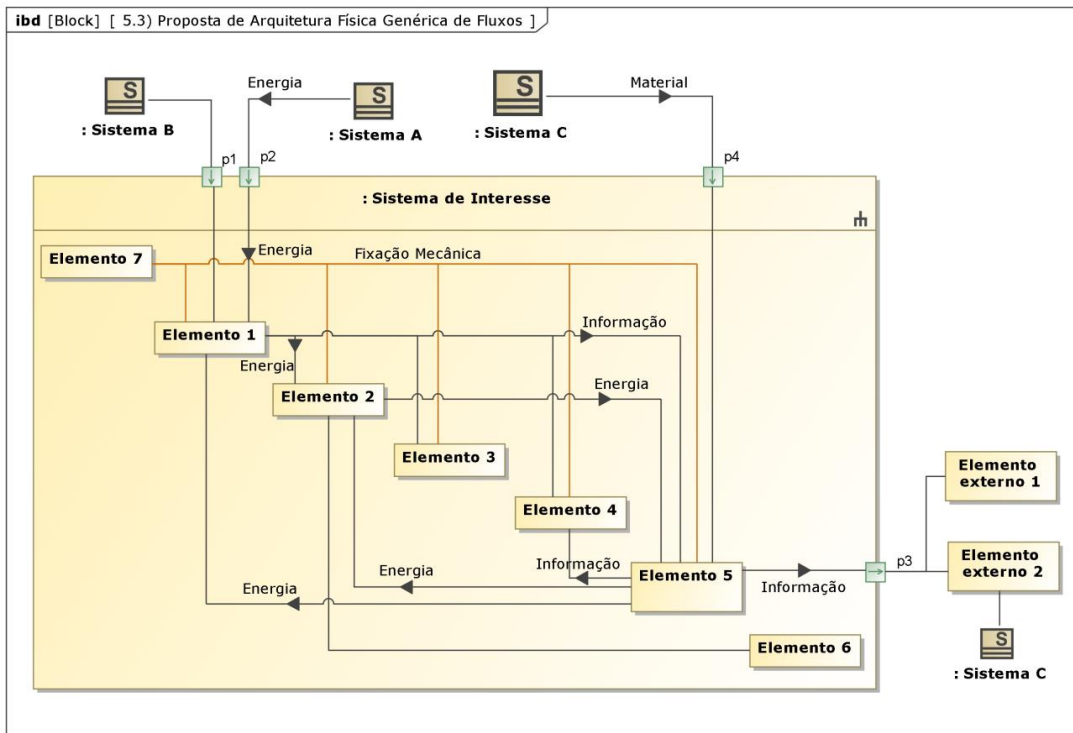
Legend		Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3	Elemento 4	Elemento 5
Allocate						
	F1: Receber e Armazenar material					
	F2: Condicionar e Distribuir Energia					
	F3: Receber e enviar Informações					
	F4: Processar Informações					

Fonte: Produção do autor.

### 3.2.5.3 Proposta de arquitetura física genérica de fluxos

Com base na alocação das funções aos elementos da arquitetura física proposta, baseando-se nos fluxos funcionais já levantados anteriormente (energia, material e informação), efetua-se a proposta de arquitetura genérica de fluxos entre os elementos físicos que aloca cada função. Um exemplo de como isto é feito é mostrado na Figura 3.28. Aqui também foi aplicado o conceito do diagrama  $N^2$ .

Figura 3.28 – Exemplo de proposta de arquitetura genérica de fluxos do sistema de interesse.

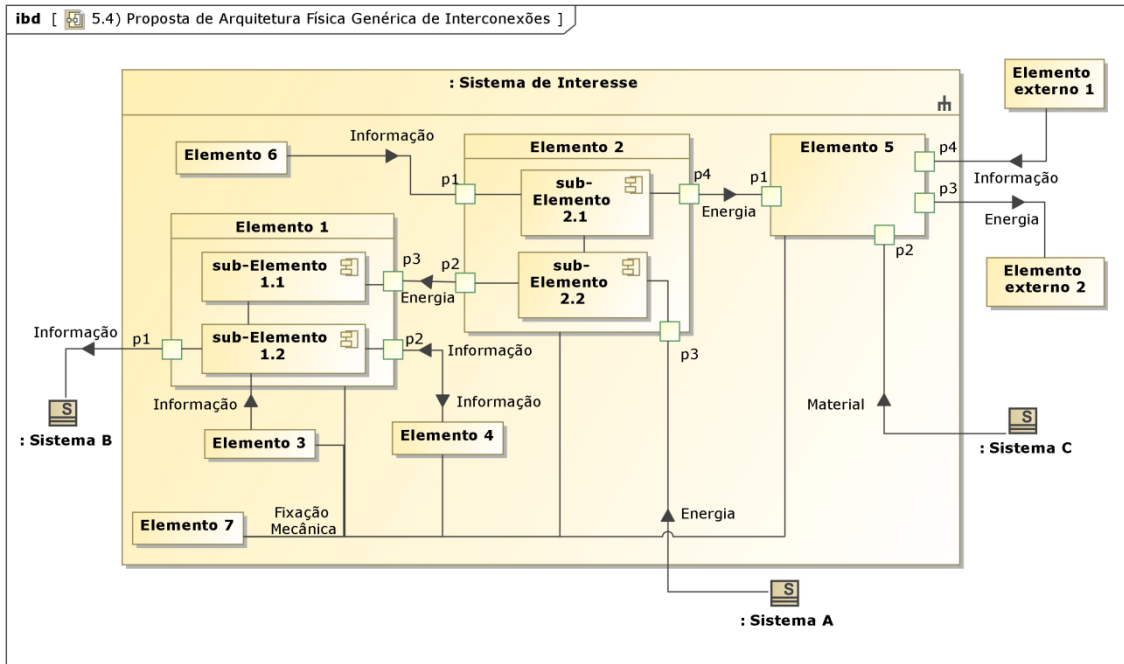


Fonte: Produção do autor.

### 3.2.5.4 Proposta de arquitetura física genérica de interconexões

Uma vez mapeados os fluxos de energia, material e informação, é possível elaborar uma arquitetura física genérica das interconexões entre os elementos do sistema de interesse, agora já se pensando nos aspectos estruturais e físicos das interconexões. Um exemplo de como isto é feito em MBSE4EGSE é mostrado na Figura 3.29.

Figura 3.29 – Exemplo de proposta de arquitetura genérica de interconexões do sistema de interesse.



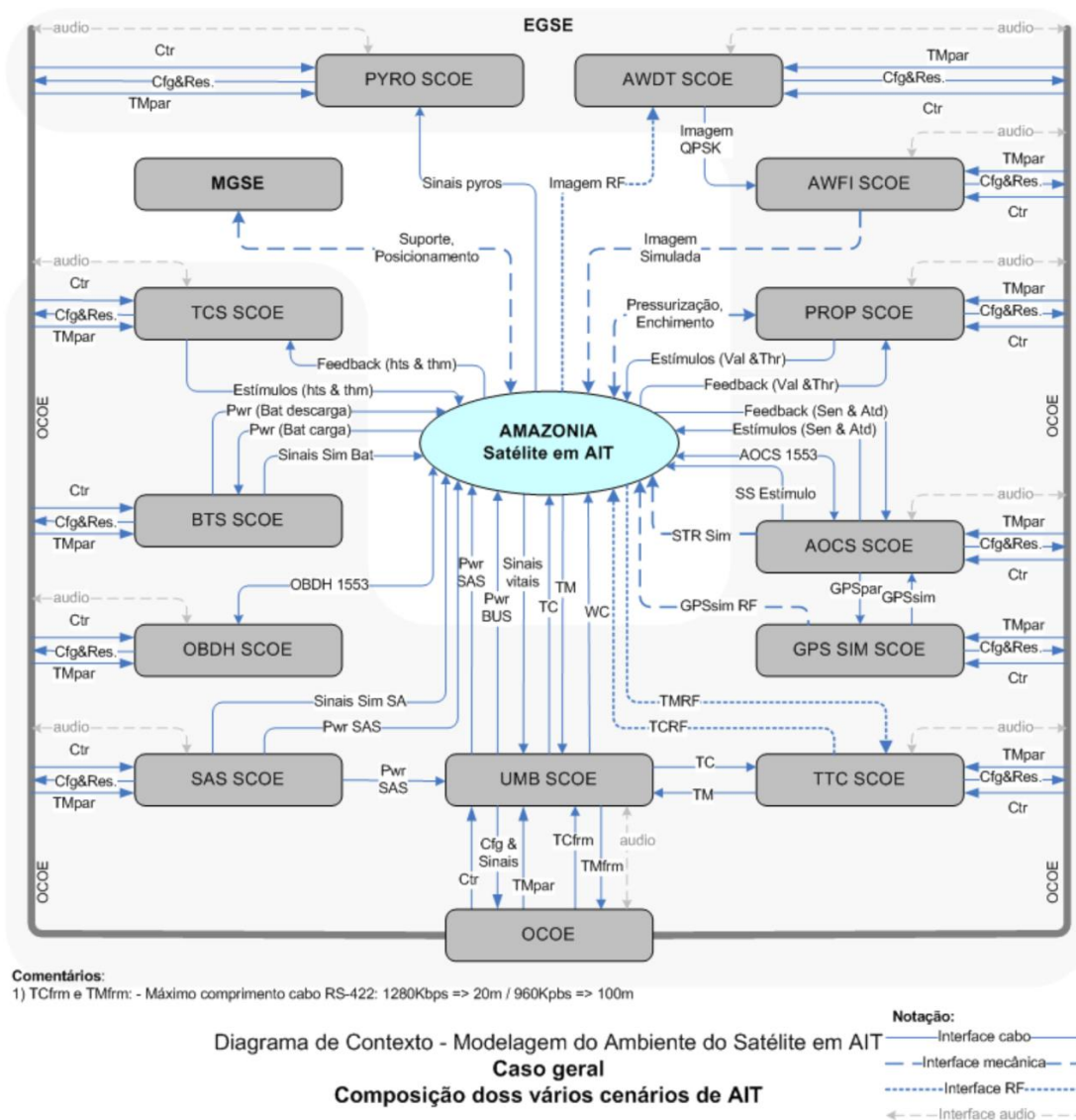
Fonte: Produção do autor.

## 4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O fluxo dos processos de análise utilizados nesta dissertação procura implementar, tanto quanto possível, a sequência apresentada no *GSE Integrated Development Guide*, proposto por Venticinqu (2017), respeitando as limitações impostas pela linguagem de notação SysML e pela ferramenta de modelagem utilizada. (*Cameo Systems Modeller*).

A Figura 4.1 ilustra uma visão geral do contexto do EGSE nos cenários relevantes de AIT para o satélite Amazonia 1 no qual o UMB SCOE se encaixa.

Figura 4.1 – Diagrama de Contexto do EGSE nos cenários relevantes de AIT – Caso Geral.



Fonte: Venticinqu (2017).



No nosso exemplo de aplicação, iremos considerar a análise do contexto do EGSE como um todo para o satélite Amazonia 1 como se já estivesse sido efetuada, sendo o nosso escopo focado no elemento UMB SCOE. A característica recursiva / iterativa do PDIG proposto por Venticinque permite que consideremos o UMB SCOE como participante de uma das etapas do Loop de AIT, sendo que estaremos aplicando a sistemática já aplicada ao nível superior (EGSE), mas agora por recursividade, sendo aplicada em um subnível para um dos elementos do EGSE, e também considerando-se que a mesma análise para os demais elementos do EGSE já foi concluída.

#### **4.1 Análise e modelagem do UMB SCOE**

Esta seção demonstra a aplicação da MBSE4GESE na análise e modelagem do UMB SCOE, sendo que para tanto foram escolhidos exemplos representativos do modelo. No entanto, a modelagem completa do UMB SCOE se encontra detalhada no APÊNDICE D.

##### **4.1.1 Análise de missão do UMB SCOE**

Conforme proposto por Venticinque (2017) o UMB SCOE é um elemento do EGSE proposto para futuras missões dos satélites da plataforma PMM, que permite a utilização tanto durante as fases de AIT quanto durante as fases de lançamento do satélite, e visa reduzir a quantidade e volume de equipamento a ser transportado para a base de lançamento. Nesse sentido, a missão do UMB SCOE pode ser declarada como sendo:

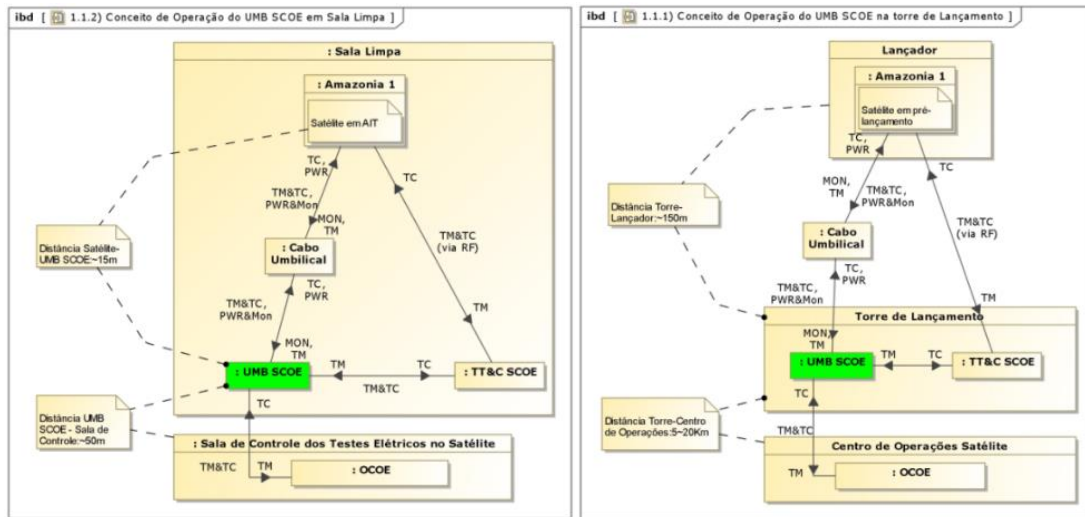
***“O Umbilical SCOE será o único elemento do EGSE conectado diretamente ao satélite que possibilite operar, alimentar e monitorar seus sinais vitais durante as fases de AIT e lançamento”***  
***(VENTICINQUE, 2017)***

Partindo desta declaração de missão, iremos agora modelar conceitos de operação para cada uma das situações possíveis para o UMB SCOE.

#### 4.1.1.1 Análise de contexto / conceito de operação do UMB SCOE

A Figura 4.2 a seguir mostra os diagramas para a análise do conceito de operações do UMB SCOE para enlace de telemetria e telecomando, na fase de AIT em sala limpa e na torre de lançamento.

Figura 4.2 – Conceito de Operação do UMB SCOE.



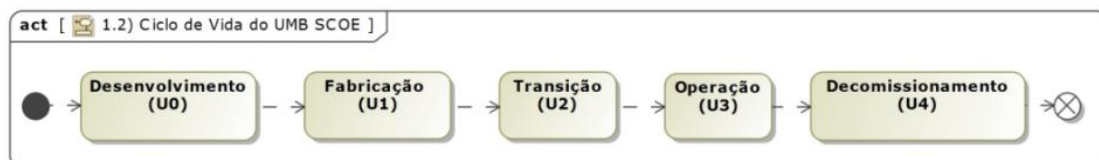
Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.1.2 Análise de ciclo de vida do UMB SCOE

Esta análise apenas declara e estabelece a sequência dos processos de ciclo de vida esperados, conforme exemplificado na

Figura 4.3.

Figura 4.3 – Ciclo de vida do UMB SCOE



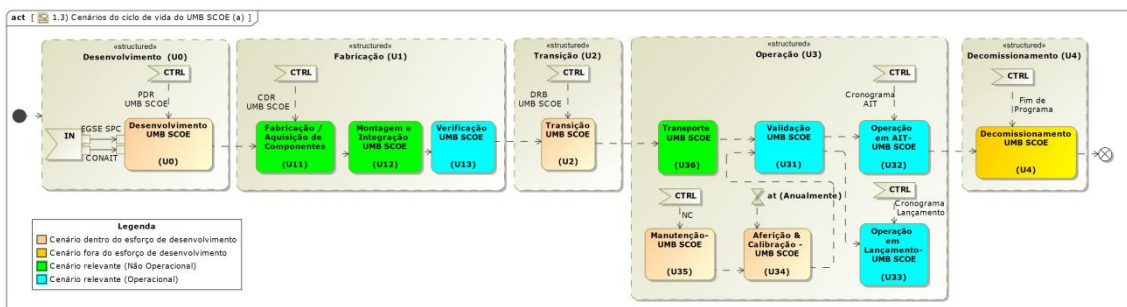
Fonte: Produção do autor.

### 4.1.1.3 Análise dos cenários do ciclo de vida do UMB SCOE

Os cenários do ciclo vida do UMB SCO são mostrados na

Figura 4.4. Conforme definido na abordagem MBSE, as entradas ou controles do antigo IDEF0 são substituídas por elementos do tipo “Accept Event Action” ou do tipo “Time Event” da SysML.

Figura 4.4 – Cenários do ciclo de vida do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

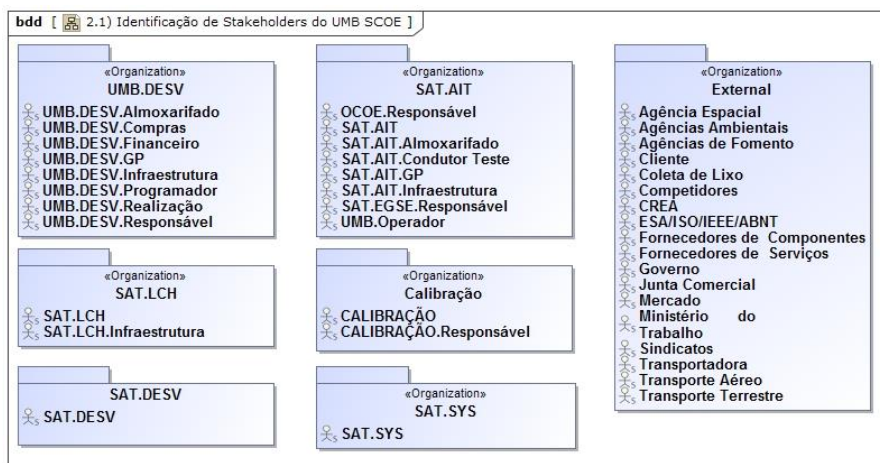
Os cenários do ciclo de vida do UMB SCOE que fazem parte do esforço de desenvolvimento da organização são mostrados conforme a legenda, e cenários relevantes do ciclo de vida do produto, porém fora do esforço de desenvolvimento, são também destacados.

### 4.1.2 Análise de stakeholders do UMB SCOE

#### 4.1.2.1 Identificação dos stakeholders de do UMB SCOE

O processo de análise de stakeholders aplicado ao UMB SCOE segue o que foi descrito anteriormente na abordagem MBSE EGSE, com a identificação dos stakeholders iniciais, organizados nas packages das organizações envolvidas nos processos do UMB SCOE. Como este processo é iterativo, a Figura 4.5 representa o resultado final, já após a análise das preocupações dos stakeholders, que é descrita no próximo tópico.

Figura 4.5 - Identificação dos *stakeholders* de produto do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

Durante a identificação, os elementos foram documentados pelo uso dos “*Documentation / Comments*” da própria ferramenta de modelagem, bem como pelo uso de estereótipos para classificação dos mesmos.

A Tabela 4.1 apresenta um extrato da lista detalhada dos *stakeholders* identificados, que foi obtida utilizando recursos da própria ferramenta de modelagem, com base nos dados modelados.

Tabela 4.1 - Extrato do detalhamento dos *stakeholders* do UMB SCOE (gerada por meio da ferramenta de modelagem).

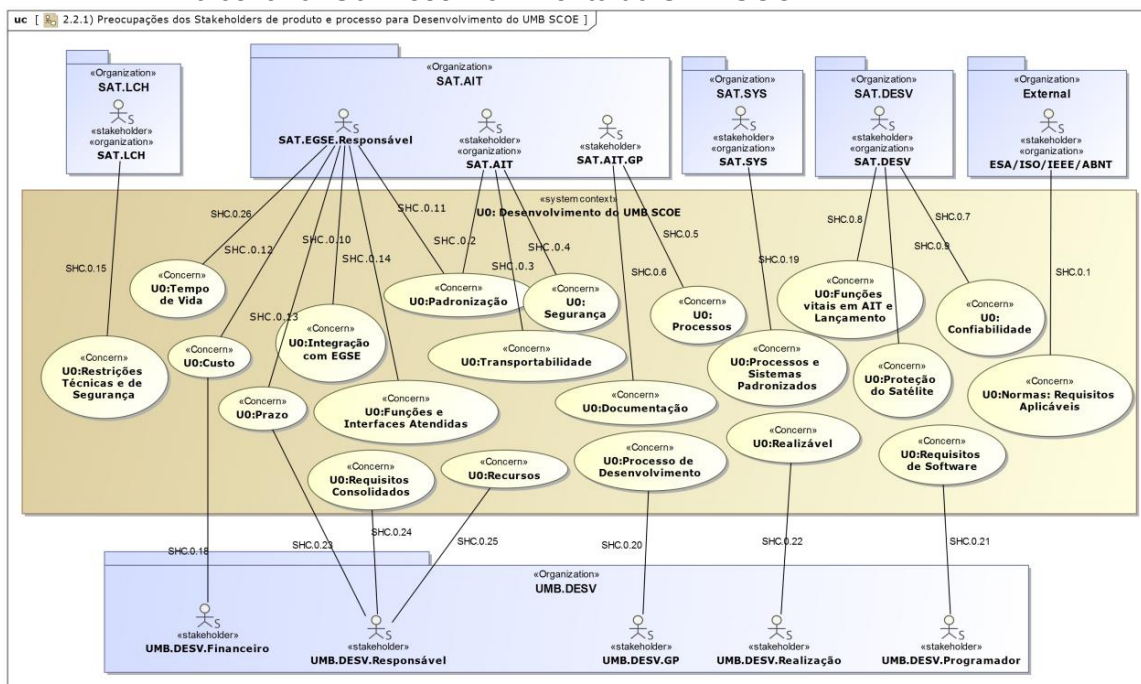
Legenda: Name = Nome do Stakeholder Applied Stereotype Instance = Tipo de Stakeholder Documentation = Descrição do Stakeholder			
#	△ Name	Applied Stereotype Instance	Documentation
1	Calibração	: Organization	Organização responsável pela calibração de instrumentos eletrônicos
4	External	: Organization	Entidades e organizações responsáveis por normas aplicáveis
23	SAT.AIT	: Organization	Organização Responsável pela Montagem, Integração e Testes (AIT) do Satélite
24	OCOE.Responsável	: Stakeholder	Responsável pelo OCOE - Overall Checkout Equipment
25	SAT.AIT	: Stakeholder, organization	Organização Responsável pela Montagem, Integração e Testes (AIT) do Satélite
26	SAT.AIT.Almoxarifado	: Stakeholder	Departamento responsável pelo conjunto sobressalentes, acessórios e setups do EGSE
27	SAT.AIT.Condutor Teste	: Stakeholder	Responsável pela operação e testes elétricos no satélite
28	SAT.AIT.GP	: Stakeholder	Responsável pela Garantia de Qualidade da Montagem, Integração e Testes (AIT) do Satélite
29	SAT.AIT.Infraestrutura	: Stakeholder	Infraestrutura para realização das atividades do UMB SCOE durante operação
30	SAT.EGSE.Responsável	: Stakeholder	Responsável pelo EGSE do Satélite
31	SAT.DESV	: Organization	
32	SAT.DESV	: Stakeholder, organization	Organização Desenvolvedora do Satélite (Segmento Espacial)
33	SAT.LCH	: Organization	Organização Responsável pelo Lançamento do Satélite
36	SAT.SYS	: Organization	Organização Responsável pelo desenvolvimento do sistema e seus segmentos
38	UMB.DESV	: Organization	Organização Desenvolvedora do UMB SCOE
39	UMB.DESV.Almoxarifado	: Stakeholder	Departamento responsável pelas ferramentas (fabricação e montagem) materiais e componentes.
40	UMB.DESV.Compras	: Stakeholder	Departamento responsável pelas compras relativas ao desenvolvimento do UMB SCOE
41	UMB.DESV.Financeiro	: Stakeholder	Responsável pelo financeiro
42	UMB.DESV.GP	: Stakeholder	Garantia de Produto do UMB.DESV
43	UMB.DESV.Infraestrutura	: Stakeholder	Infraestrurura para realização das atividades não operacionais do UMB SCOE
44	UMB.DESV.Programador	: Stakeholder	Responsável pelo desenvolvimento do software do UMB SCOE
45	UMB.DESV.Realização	: Stakeholder	Departamento/Responsável pela fabricação, montagem e testes do UMB SCOE
46	UMB.DESV.Responsável	: Stakeholder	Responsável pelo Desenvolvimento do UMB SCOE
47	UMB.Operador	: Stakeholder	Responsável pela operação do UMB SCOE

Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.2.2 Preocupações dos *stakeholders* do UMB SCOE

Uma vez identificados os *stakeholders* do UMB SCOE, passou-se à análise de suas preocupações. Para tanto foram analisados os diversos cenários do ciclo de vida e as preocupações concernentes a cada situação, para cada *stakeholder* identificado anteriormente. A Figura 4.6 apresenta um exemplo dessa análise.

Figura 4.6 - Exemplo de preocupações dos stakeholders de produto e processo para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

A partir do modelo SysML é possível, utilizando a ferramenta de modelagem, extrair a listagem dos stakeholders com as suas preocupações, com os dados que foram inseridos ao longo das análises, conforme mostrado na Tabela 4.2.

Cabe notar que os nomes dos conectores SysML "Association" adicionados anteriormente nos diagramas, foram utilizados na tabela como coluna "ID da preocupação", sendo que a coluna "Type (Role A)" da tabela significa a ponta de destino do conector e, no nosso caso, representa o ID do stakeholder. A coluna "Type (Role B)" da tabela significa a ponta de origem do conector e, no nosso caso, representa a descrição da preocupação.

Tabela 4.2 – Extrato da lista geral das preocupações dos *stakeholders* (gerada pela ferramenta de modelagem).

Legenda: Name = ID da Preocupação Type (Role A) = ID do Stakeholder Type (Role B) = Descrição da Preocupação			
#	△ Name	Type (Role A)	Type (Role B)
1	00: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE [2.2.13] Preocupações dos Stakeholders Organização do UMB SCOE]		
22	U0: Desenvolvimento do UMB SCOE [2.2.1] Preocupações dos Stakeholders de produto e processo para Desenvolvimento do UMB SCOE]		
23	✓ SHC.0.1	○ <sub>S</sub> ESA/ISO/IEEE/ABNT	○ U0:Normas: Requisitos Aplicáveis
24	✓ SHC.0.2	○ <sub>S</sub> SAT.AIT	○ U0:Padronização
25	✓ SHC.0.3	○ <sub>S</sub> SAT.AIT	○ U0:Transportabilidade
26	✓ SHC.0.4	○ <sub>S</sub> SAT.AIT	○ U0:Segurança
27	✓ SHC.0.5	○ <sub>S</sub> SAT.AIT.GP	○ U0:Processos
28	✓ SHC.0.6	○ <sub>S</sub> SAT.AIT.GP	○ U0:Documentação
29	✓ SHC.0.7	○ <sub>S</sub> SAT.DESV	○ U0:Confiabilidade
30	✓ SHC.0.8	○ <sub>S</sub> SAT.DESV	○ U0:Funções vitais em AIT e Lançamento
31	✓ SHC.0.9	○ <sub>S</sub> SAT.DESV	○ U0:Proteção do Satélite
32	✓ SHC.0.10	○ <sub>S</sub> SAT.EGSE.Responsável	○ U0:Integração com EGSE
33	✓ SHC.0.11	○ <sub>S</sub> SAT.EGSE.Responsável	○ U0:Padronização
34	✓ SHC.0.12	○ <sub>S</sub> SAT.EGSE.Responsável	○ U0:Custo
35	✓ SHC.0.13	○ <sub>S</sub> SAT.EGSE.Responsável	○ U0:Prazo
36	✓ SHC.0.14	○ <sub>S</sub> SAT.EGSE.Responsável	○ U0:Funções e Interfaces Atendidas
37	✓ SHC.0.15	○ <sub>S</sub> SAT.LCH	○ U0:Restrições Técnicas e de Segurança
38	✓ SHC.0.18	○ <sub>S</sub> UMB.DESV.Financeiro	○ U0:Custo
39	✓ SHC.0.19	○ <sub>S</sub> SAT.SYS	○ U0:Processos e Sistemas Padronizados
40	✓ SHC.0.20	○ <sub>S</sub> UMB.DESV.GP	○ U0:Processo de Desenvolvimento
41	✓ SHC.0.21	○ <sub>S</sub> UMB.DESV.Programador	○ U0:Requisitos de Software
42	✓ SHC.0.22	○ <sub>S</sub> UMB.DESV.Realização	○ U0:Realizável
43	✓ SHC.0.23	○ <sub>S</sub> UMB.DESV.Responsável	○ U0:Prazo
44	✓ SHC.0.24	○ <sub>S</sub> UMB.DESV.Responsável	○ U0:Requisitos Consolidados
45	✓ SHC.0.25	○ <sub>S</sub> UMB.DESV.Responsável	○ U0:Recursos
46	✓ SHC.0.26	○ <sub>S</sub> SAT.EGSE.Responsável	○ U0:Tempo de Vida
47	U2: Transição do UMB SCOE [2.2.5] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Transição do UMB SCOE]		
64	U4: Decomissionamento do UMB SCOE [2.2.12] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Decomissionamento do UMB SCOE]		

Fonte: Produção do autor.

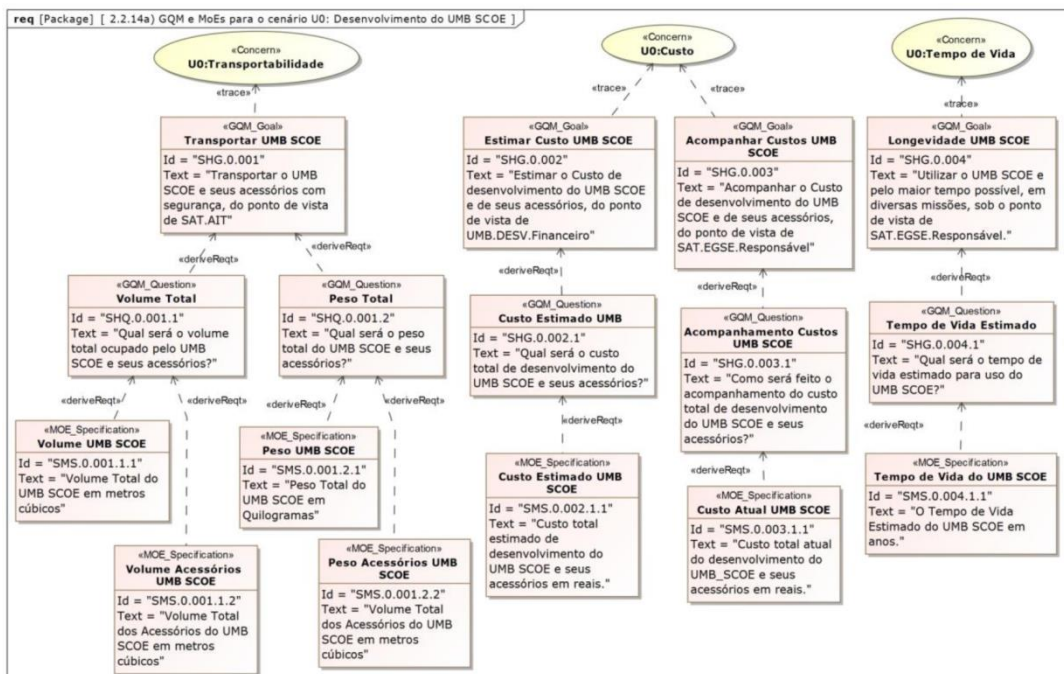
#### 4.1.2.3 Medidas de efetividade do UMB SCOE

Nesta seção foram identificadas as medidas de efetividade (MoEs) para alguns cenários relevantes do UMB SCOE. Optou-se por organizar a análise dentro de cada cenário de ciclo de vida, da mesma forma que foi feita para as preocupações de *stakeholders*, e já levando-se em conta o conhecimento obtido no análise das mesmas para a definição das MoEs de uma forma inicial. Nem todas as preocupações de *stakeholders* foram consideradas candidatas a produção de MoEs.

Para cada cenário, foram selecionadas algumas preocupações de *stakeholders* relevantes para análise de GQM e derivação de MoEs para os mesmos. Embora, a rigor, todas as preocupações devam ser consideradas durante a análise, nem todas necessariamente irão gerar MoEs. As que são mostradas

aqui são suficientes para o propósito de demonstração do uso da MBSE4EGSE e GQM para esta finalidade, conforme ilustra a Figura 4.7.

Figura 4.7 – Exemplo de análise GQM e MoEs para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.

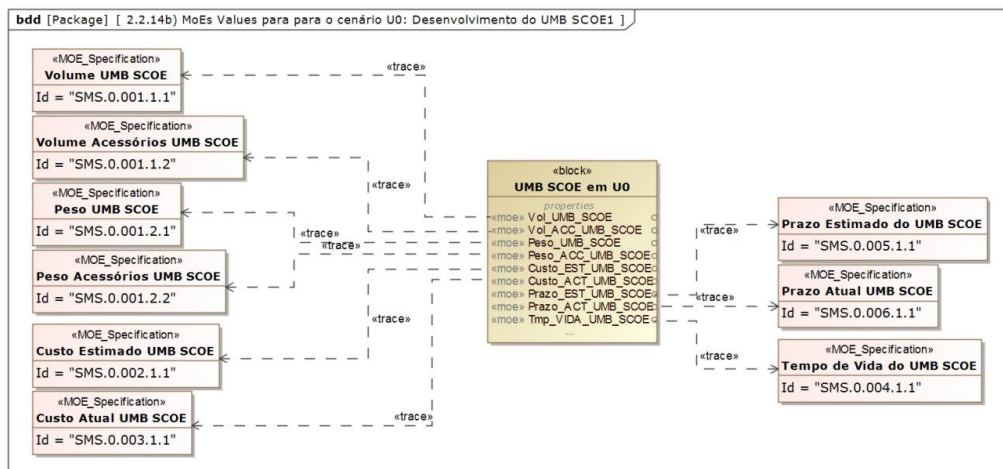


Fonte: Produção do autor.

A Figura 4.8 apresenta um exemplo das MoEs *values* modeladas para o mesmo cenário, e a Tabela 4.3 mostra um exemplo da lista consolidada de GQM/MoEs, gerada a partir da ferramenta de modelagem.



Figura 4.8 – Exemplo de MoEs Values para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 4.3 – Extrato da lista consolidada de QGM/MoEs.

#	△ Name	Id	Traced To	Applied Stereotype	Text
1	2.2b) Medidas de Efetividade				
2	2.2.14) GQM/MoEs para para o cenário U0: Desenvolvimento do UMB SCOE				
3	Acompanhar Custos UMB SCOE	SHG.0.003	U0:Custo	«>> GQM_Goal [Class]	Acompanhar o Custo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável
4	Acompanhamento Custos UMB SCOE	SHG.0.003.1		«>> GQM_Question [Class]	Como será feito o acompanhamento do custo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
5	Custo Atual UMB SCOE	SMS.0.003.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Custo total atual do desenvolvimento do UMB_SCOE e seus acessórios em reais.
6	Acompanhar Prazo UMB SCOE	SHG.0.006	U0:Prazo	«>> GQM_Goal [Class]	Acompanhar o Prazo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável e UMB.DESV.Financeiro.
7	Acompanhamento Prazo UMB SCOE	SHG.0.006.1		«>> GQM_Question [Class]	Como será feito o acompanhamento do prazo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
8	Prazo Atual UMB SCOE	SMS.0.006.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Prazo total atual do desenvolvimento do UMB_SCOE e seus acessórios em meses.
9	Estimar Custo UMB SCOE	SHG.0.002	U0:Custo	«>> GQM_Goal [Class]	Estimar o Custo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de UMB.DESV.Financeiro
10	Custo Estimado UMB	SHG.0.002.1		«>> GQM_Question [Class]	Qual será o custo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
11	Custo Estimado UMB SCOE	SMS.0.002.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Custo total estimado de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios em reais.
12	Estimar Prazo UMB SCOE	SHG.0.005	U0:Prazo	«>> GQM_Goal [Class]	Estimar o Prazo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável e UMB.DESV.Financeiro.
13	Prazo Estimado UMB SCOE	SHG.0.005.1		«>> GQM_Question [Class]	Qual será o prazo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
14	Prazo Estimado do UMB SCOE	SMS.0.005.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Prazo total estimado de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios em meses
15	Longevidade UMB SCOE	SHG.0.004	U0:Tempo de Vida	«>> GQM_Goal [Class]	Utilizar o UMB SCOE e pelo maior tempo possível, em diversas missões, sob o ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável.
16	Tempo de Vida Estimado	SHG.0.004.1		«>> GQM_Question [Class]	Qual será o tempo de vida estimado para uso do UMB SCOE?
17	Tempo de Vida do UMB SCOE	SMS.0.004.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	O Tempo de Vida Estimado do UMB SCOE em anc

Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.2.4 Requisitos dos *stakeholders* do UMB SCOE

Nesta seção encontra-se a análise dos requisitos de *stakeholders* para produto, processo e organização do UMB SCOE.

Segundo Venticinque (2017), a partir da identificação e classificação das preocupações dos *stakeholders* é possível identificar requisitos de *stakeholders* para produto, processo e organização por meio do método de matrizes funcionais de qualidade QFD, onde as fontes de “o que” é importante para os *stakeholders* são mapeadas para as colunas de “como” elas se traduzem para os requisitos dos mesmos.

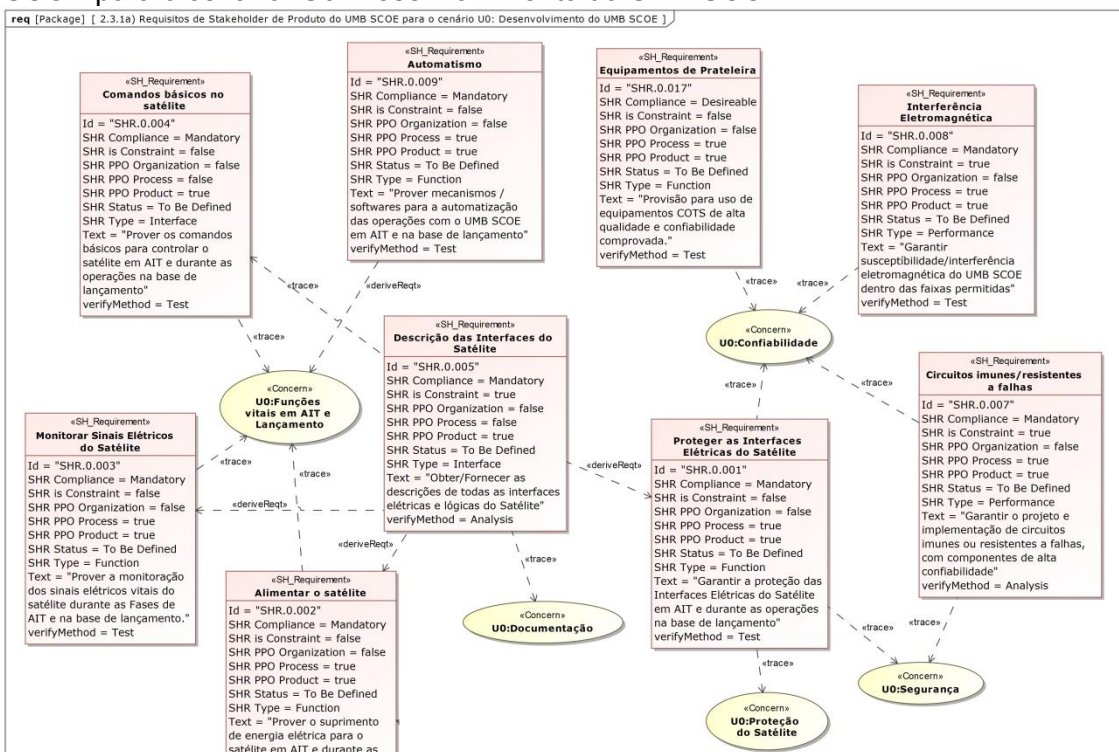
No nosso caso, por meio da abordagem MBSE4EGSE, não são utilizadas matrizes QFD. Em seu lugar, é feita a análise por meio de diagramas de requisitos, conforme definido na seção 3.2.2.4.

Assumiu-se a sequência da análise na ordem em que foram apresentados os cenários de ciclo de vida. Os cenários foram revisitados inúmeras vezes nas iterações da análise, e refinados conforme novos requisitos foram identificados.

A Figura 4.9 apresenta um exemplo de diagrama de requisitos de *stakeholders*, onde nota-se, para cada requisito, os atributos gerados durante a análise, como tipo, status, PPO, método de verificação e assim por diante. No processo de análise isto foi feito para todos os requisitos.

Cabe ressaltar que, diferentemente do que foi feito na aplicação do PDIG por Venticinque (2017), onde a alocação “PPO” (produto, processo ou organização) foi feita às preocupações dos *stakeholders* em si, aqui a classificação é feita para cada requisito, o que se mostra mais aderente ao framework de visão total de Loureiro (1999) e também mais natural, uma vez que uma mesma preocupação pode derivar em requisitos de produto, de processo ou de organização, em um relacionamento “um-para-muitos”.

Figura 4.9 – Exemplo de análise de requisitos dos *stakeholders* de produto do UMB SCOE para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

Após todos os requisitos de *stakeholders* terem sido identificados e classificados na ferramenta de modelagem, é possível extrair a lista geral com todos os requisitos e seus atributos, conforme exemplifica a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Extrato da lista consolidada dos requisitos dos *stakeholders* do UMB SCOE.

	Id	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
50		2.3.1a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U0: Desenvolvimento do UMB SCOE									
51	SHR.0.001	Proteger as Interfaces Elétricas do Satélite	Garantir a proteção das Interfaces Elétricas do Satélite em AIT e durante as operações na base de lançamento	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
52	SHR.0.002	Alimentar o satélite	Prover o suprimento de energia elétrica para o satélite em AIT e durante as operações na base de lançamento	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
53	SHR.0.003	Monitorar Sinais Elétricos do Satélite	Prover a monitoração dos sinais elétricos vitais do satélite durante as Fases de AIT e na base de lançamento.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
54	SHR.0.004	Comandos básicos no satélite	Prover os comandos básicos para controlar o satélite em AIT e durante as operações na base de lançamento	Interface	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
.	...	.	.	...	...	...	...	...	...	...	...
68		2.3.1b) Requisitos de Stakeholder de Processo do UMB SCOE para o cenário U0: Desenvolvimento do UMB SCOE									
69	SHR.0.501	Proc. Desenvolvimento: Normas Aplicáveis	Verificação das normas aplicáveis ao desenvolvimento do UMB SCOE.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
70	SHR.0.502	Proc. Gerenciamento: Determinação de Custos	Processo de determinação e controle adequado dos custos do projeto	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	true	Analysis
71	SHR.0.503	Proc. Desenvolvimento: Padrões de Design	Provisão para Padronização de Design e de Componentes	Condition	Desireable	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
72	SHR.0.504	Proc. Gerenciamento: Determinação de Cronograma	Processo de determinação e controle adequado do cronograma de entradas e de entregas do projeto	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis

Fonte: Produção do autor.

Uma das grandes vantagens da abordagem MBSE é se fazer uso da ferramenta de modelagem para extrair informações para relatórios, como exemplifica a Tabela 4.5, que mostra uma matriz dinâmica de rastreabilidade gerada dos dados modelados nos diagramas anteriores.

No exemplo mostrado, os requisitos de *stakeholders* são rastreados até as suas preocupações de origem. As colunas mostram os requisitos com conexão do tipo “trace” com a preocupação nas linhas da matriz. Grupos de requisitos ou de preocupações podem ser exibidos ou ocultos dinamicamente, conforme a necessidade.

Tabela 4.5 – Exemplo da matriz de rastreabilidade dos requisitos dos *stakeholders* do UMB SCOE (gerada por meio da ferramenta de modelagem).

**Legend**  
Trace

**U0: Desenvolvimento do UMB SCOE**

- U0: Confiabilidade
- U0: Custo
- U0: Documentação
- U0: Funções e Interfaces Atendidas
- U0: Funções vitais em AIT e Lançamento
- U0: Integração com EGSE
- U0: Normas: Requisitos Aplicáveis
- U0: Padronização
- U0: Processos e Sistemas Padronizados
- U0: Proteção do Satélite
- U0: Requisitos de Software
- U0: Segurança
- U0: Tempo de Vida
- U0: Transportabilidade

**U2: Transição do UMB SCOE**

**U4: Decomissionamento do UMB SCOE**

**U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE**

**U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE**

**U13: Verificação do UMB SCOE**

**U31: Validação do UMB SCOE**

**U32: Operação do UMB SCOE em AIT**

**U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento**

- U33: Alimentar o satélite
- U33: Ambiente
- U33: Aterramento
- U33: Bateria Carregada/Monitorada
- U33: Confiabilidade
- U33: Disponibilidade
- U33: Energia
- U33: Espaço
- U33: Garantir que não se põe em risco o lançamento
- U33: Interface Remota
- U33: Operações Somente Remotas
- U33: Pouca Operação Local (on/off)
- U33: Requisitos de segurança, transporte e operação
- U33: Sinais Vitais do satélite
- U33: Transportabilidade

**U34: UMB SCOE em aferição/calibração**

**U35: UMB SCOE em manutenção**

**U36: UMB SCOE em transporte**

**SHR Requirements:**

- 2.3.1a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- SHR.0.001: Proteger as Interfaces Elétricas do Satélite
- SHR.0.002: Alimentar o satélite
- SHR.0.003: Monitorar Sinais Elétricos do Satélite
- SHR.0.004: Comandos básicos no satélite
- SHR.0.005: Descrição das Interfaces do Satélite
- SHR.0.006: Carregar bateria
- SHR.0.007: Circuitos imunes/resistentes a falhas
- SHR.0.008: Interferência Eletromagnética
- SHR.0.009: Automatismos
- SHR.0.010: ISO 14625: Requisitos Gerais de GS
- SHR.0.011: Especificação do EGSE
- SHR.0.012: Protocolo de comunicação com o EGSE
- SHR.0.013: Custo total do UMB SCOE
- SHR.0.014: Tempo de vida do UMB SCOE
- SHR.0.015: Containers/Racks Padronizados
- SHR.0.016: Requisitos de software para EGSE
- SHR.0.017: Equipamentos de Prateleira
- 2.3.2a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.2b) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.4a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- Aceleração do UMB SCOE
- Documentação de Verificação e Validação
- Documentação para Cliente
- Elaboração/Execução da Matriz de Verificação
- Preparação/Execução da TRB
- Preparação/Execução da TRR
- Temperatura de Operação/Armazenamento
- 2.3.6a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.7a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.8a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.9a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.10a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.11a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE
- 2.3.12a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE

Fonte: Produção do autor.

### 4.1.3 Análise de requisitos do UMB SCOE

Com base nas MoEs e requisitos dos *stakeholders* definidos anteriormente sob cada cenário de aplicação do UMB\_SCOE, passa-se para a análise dos requisitos de sistema (tanto para produto quanto para organização), mas agora do ponto de vista do UMB SCOE como *sistema de interesse*. Nesta etapa, os requisitos dos diversos cenários devem ser reavaliados em conjunto, de forma a produzir requisitos consolidados que satisfaçam os de origem. Além disso, é interessante já agrupar os requisitos em categorias que facilitem a análise funcional que virá adiante no processo. Portanto, para fim de análise do UMB SCOE, as seguintes categorias de agrupamento foram escolhidas. Embora haja outras, estas foram consideradas suficientes para os propósitos de demonstração da abordagem MBSE4EGSE:

- a) Requisitos funcionais;
- b) Requisitos de interface;
- c) Requisitos de dependabilidade: (confiabilidade, segurança “*safety*”, disponibilidade e manutenibilidade);
- d) Requisitos de transportabilidade;
- e) Requisitos de desempenho.

Além dos requisitos de *stakeholders* já definidos anteriormente, foram levados em conta os pressupostos da Tabela 4.6, advindos das especificações técnicas para o Satélite Amazônia 1 e de seu EGSE.

Tabela 4.6 – Lista de pressupostos para o satélite Amazonia 1 e seu EGSE

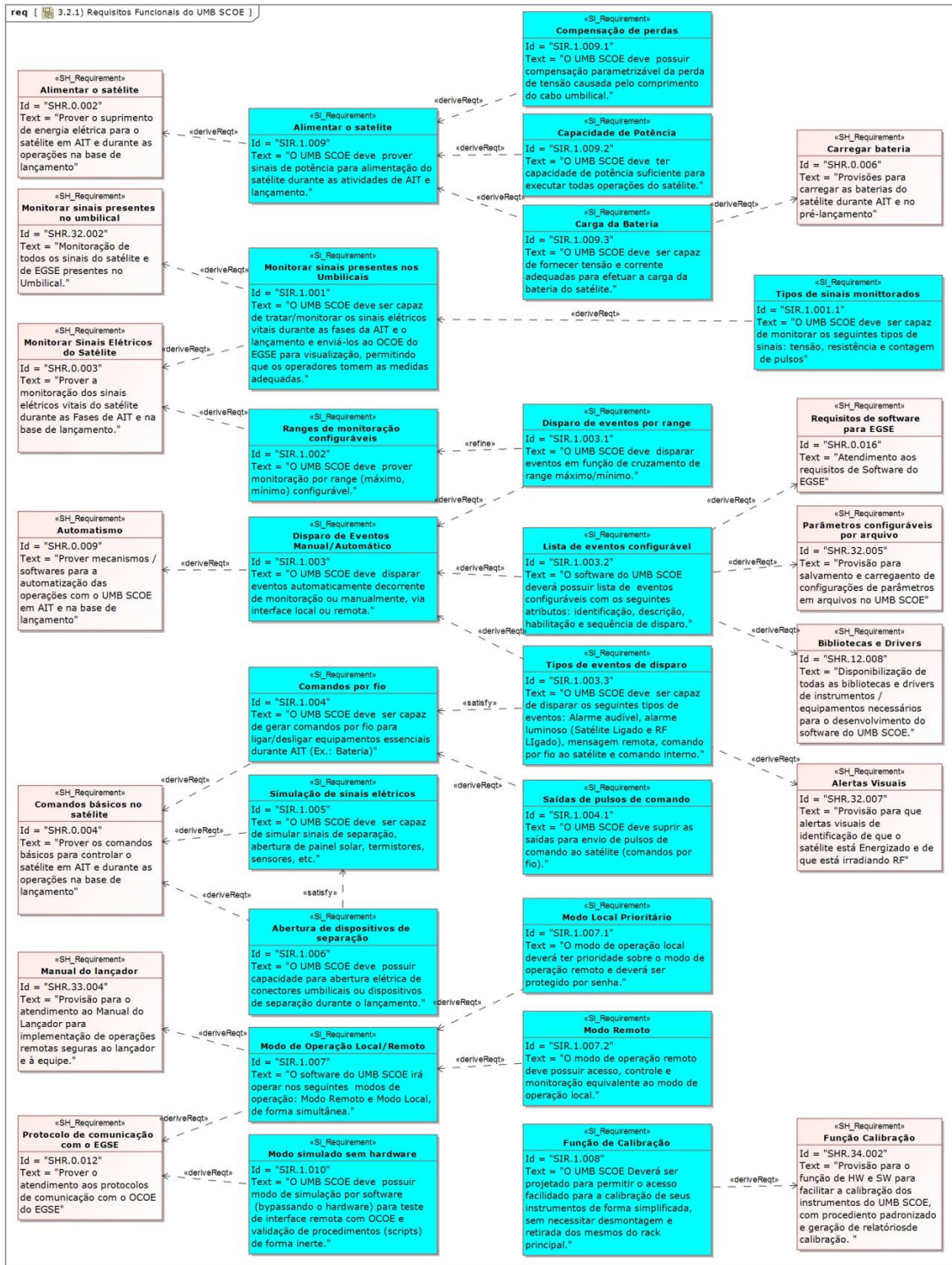
Pressuposto	Descrição	Observação
Press_01	O conector umbilical do satélite terá sinais considerados essenciais e necessários para as preparações para o lançamento.	
Press_02	O satélite possuirá uma entrada de alimentação direta no barramento e protegida por um diodo. Outra possibilidade é de que todas as linhas de alimentação do SAG tenham derivação para o conector umbilical. Neste caso devido a quantidade de canais a energia será fornecida pelo SAS SCOE.	
Press_03	Pulso de comando para alterar estado de relés liga/desliga de equipamentos que não possuem telecomando. Ex.: bateria, receptor TTC, computador de bordo, entre outros.	

Pressuposto	Descrição	Observação
Press_04	Os sinais vitais disponíveis no umbilical com impedância de $\leq 100$ KOhm.	
Press_05	Sinal de telemetria derivado da saída do OBC sem modulação de RF.	Sinal RS-422
Press_06	Sinal de telecomando diretamente na entrada do OBC sem modulação de RF.	Sinal RS-422
Press_07	Sinais vitais presentes no umbilical que indiquem o funcionamento do barramento e estado ligado/desligado dos subsistemas essenciais.	
Press_08	Monitorar os sinais essenciais para tomada de decisão baseado em valores limites.	
Press_09	Detecção e minimização de anomalia com efeito catastrófico e para eventos programáveis	
Press_10	Minimizar ao máximo a intervenção local no UMB SCOE. Exceto conectar e ligar o UMB SCOE, todas as outras operações serão controladas remotamente pelo OCOE.	
Press_11	A prioridade local deve ser maior que a remota para o caso de falha do link de comunicação. A operação remota nunca deve estar bloqueada.	
Press_12	A proteção por senha para evitar operação local por pessoas desabilitadas	
Press_13	Facilitar a aferição de calibração dos equipamentos para evitar que o UMB SCOE seja desmontado ou desconfigurado. Minimizar o tempo gasto na aferição.	
Press_14	Evitar que o UMB SCOE entre em modo calibração durante operação normal e comprometer a atividade.	
Press_15	Facilitar a movimentação do satélite sem a necessidade de utilizar o SAS SCOE em todas as etapas do AIT e lançamento. Para isso o PSS do satélite deve possuir entrada diretamente conectada no barramento do satélite.	
Press_16	Distância elétrica entre o satélite e o UMB SCOE durante lançamento: 70 metros.	Aumentada para 150m para o Lançamento do Amazonia 1
Press_17	Alimentação conectada diretamente no barramento deve ser protegida contra sobre tensão. Para o caso de curto o PSS do satélite deve ter um diodo de proteção na entrada do barramento.	
Press_18	Para <i>self-test</i> de interface, será necessário um simulador de interface do satélite.	
Press_19	No modo simulação o software do UMB SCOE responde remotamente simulando que a operação foi executada, mas sem utilizar o hardware.	
Press_20	O UMB SCOE deve utilizar padrão de rack-container do EGSE, onde o rack possui tampas que fechadas viram um container para transporte, evitando a necessidade de colocar os racks em containers.	
Press_21	O UMB SCOE deve ficar ao lado do satélite durante o AIT, por isso deve respeitar restrições de áreas limpas. Durante o lançamento o UMB SCOE ficará na torre de lançamentos e deve respeitar restrições de segurança do lançador.	
Press_22	Tarefas repetitivas devem ser automatizadas localmente. Ex.: monitoração, <i>self-test</i> , sequências de comandos disparadas por eventos.	
Press_23	Sequências de eventos são geradas conforme necessidade e não devem fazer parte do código fonte e sim de arquivos texto gravados localmente.	
Press_24	Em caso de falha do computador ou falha de alimentação, o UMB SCOE deve retornar automaticamente em modo seguro e conhecido para evitar dano ou condição que possa induzir o operador a ação que ponha em risco o satélite e os outros elementos do EGSE.	
Press_25	Tempo estimado de uso considerando AIT e lançamento de pelo menos 4 satélites.	
Press_26	O satélite deve ter proteções nos sinais presentes no conector umbilical.	
Press_27	O satélite deve suportar condições de falhas por até 40 ms.	
Press_28	O UMB SCOE decodifica TM	Hoje efetuada pelo OBDH SCOE
Press_29	O UMB SCOE codifica TC.	Hoje efetuada pelo OBDH SCOE
Press_30	Distância do UMB SCOE ao TTC SCOE não pode exceder 20 metros	

Fonte: Adaptado de Venticinque (2017).

A Figura 2.1 mostra um exemplo e análise de requisitos funcionais de sistema do UMB SCOE. A análise para os demais requisitos encontram-se no APÊNDICE D.

Figura 4.10 – Exemplo de análise de requisitos funcionais do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.



#### 4.1.4 Análise funcional do UMB SCOE

Para a análise funcional do UMB SCOE, foram selecionados alguns cenários relevantes para os quais foi analisado o contexto do sistema e as circunstâncias de cada cenário às quais o produto estará exposto. Isto é mostrado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Cenários Relevantes do UMB SCOE.

CENÁRIOS DO CICLO DE VIDA	Dentro do esforço de desenvolvimento?	Cenário Relevante?	Tipo de Cenário
U0: Desenvolvimento UMB SCOE	SIM	NÃO	Não Operacional
U1: Fabricação do UMB SCOE	SIM	NÃO	Não Operacional
U11: Fabricação/Aquisição de componentes	SIM	<b>SIM</b>	Não Operacional
U12: Montagem e integração	SIM	NÃO	Não Operacional
U13: Verificação do UMB SCOE	SIM	SIM	Operacional
U2: Transição UMB SCOE	SIM	NÃO	Não Operacional
U3: Operação UMB SCOE	--	--	--
U31: Operação durante Validação do UMB SCOE	NÃO	<b>SIM</b>	Operacional
U32: Operação em AIT do UMB SCOE	NÃO	<b>SIM</b>	Operacional
U33: Operação em Lançamento do UMB SCOE	NÃO	<b>SIM</b>	Operacional
U34: Aferição de Calibração do UMB SCOE	NÃO	<b>SIM</b>	Não Operacional
U35: Manutenção do UMB SCOE	SIM	NÃO	Não Operacional
U36: Transporte do UMB SCOE	NÃO	<b>SIM</b>	Não Operacional
U04: Decomissionamento UMB SCOE	NÃO	NA	Não Operacional

Fonte: Adaptado de Venticinque (2017).

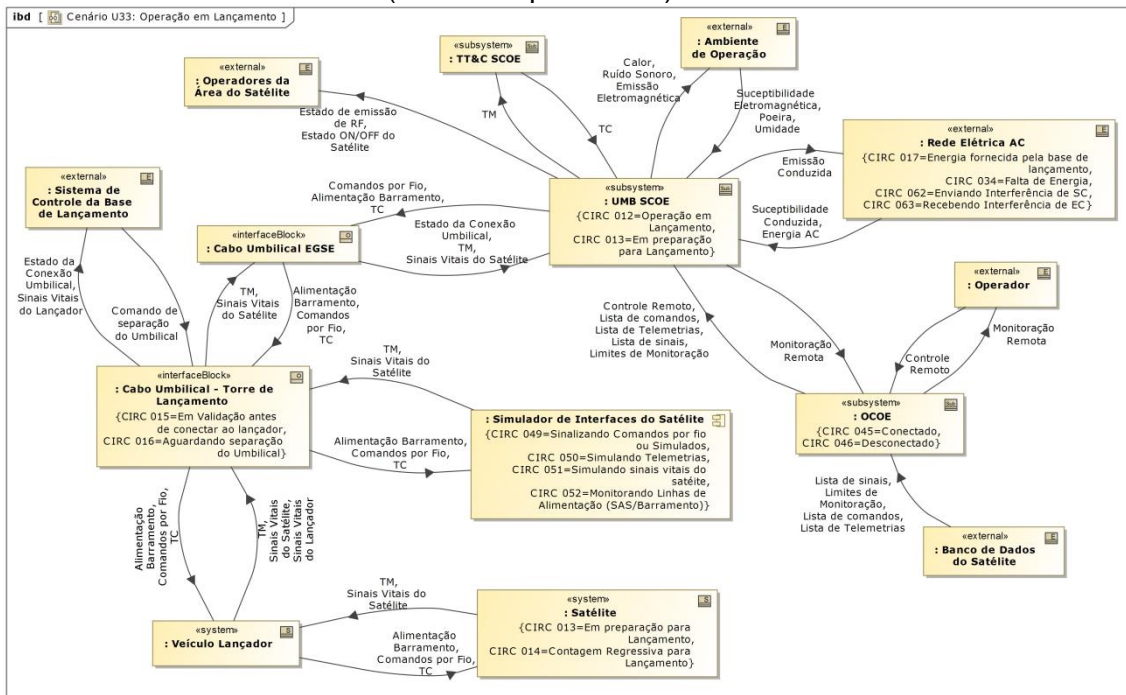
##### 4.1.4.1 Identificação das fronteiras, interfaces e análise de ambiente do UMB SCOE

Nessa análise é modelado o ambiente ao qual o UMB SCOE estará sujeito, identificando as fronteiras e interfaces nos diversos cenários e circunstâncias em que os elementos de cada cenário poderão se encontrar. O próprio UMB SCOE estará sujeito a circunstâncias dentro de cada cenário, e ao próprio cenário como um todo. Nesse caso, modelamos uma circunstância com o nome do próprio cenário, associada ao UMB SCOE.

Note-se também que, nos diagramas de blocos internos, convenientemente foram usados estereótipos para identificar sistemas, subsistemas e elementos externos participantes do cenário.

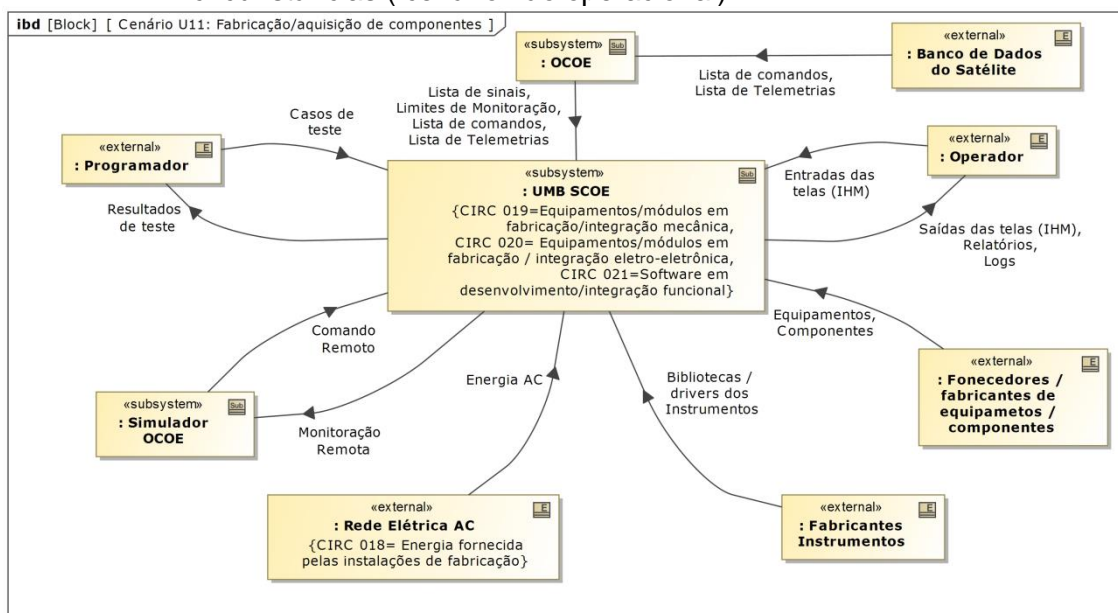
A Figura 4.11 mostra um exemplo de análise de ambiente para um cenário operacional, e a Figura 4.12 para um cenário não-operacional.

Figura 4.11 – Exemplo de modelagem de ambiente para cenário U33 e suas circunstâncias (Cenário Operacional).



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.12 – Exemplo de modelagem de ambiente para Cenário U11 e suas circunstâncias ( cenário não operacional).



Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.4.2 Estados e modos de operação do UMB SCOE derivados das circunstâncias

Pela análise das circunstâncias identificadas para cada elemento na etapa anterior é possível levantar uma lista preliminar de estados e modos de operação do produto nos cenários operacionais ou não operacionais. As circunstâncias a que estão sujeitos os elementos externos com os quais o UMB SCOE faz interface podem gerar estados relativos no mesmo, além do que pode haver simultaneidade entre estados e modos nas diversas circunstâncias existentes nos cenários, conforme demonstrado na Tabela 4.8.

Na lista, estados e modos já identificados em cenários anteriores não são repetidos. Estados considerados intrínsecos à operação foram identificados com “I”, o que significa que, embora uma circunstância implique na existência de um dado estado, não existe transição viável de estado ou modo que esteja no controle de quem irá efetuar o projeto posteriormente, cabendo apenas ações de mitigação dos efeitos. Esta lista preliminar foi refinada posteriormente na análise de comportamento funcional.

Tabela 4.8 – Extrato da lista preliminar de estados e modos derivados das circunstâncias para o UMB SCOE.

Circunstância	Estado UMB SCOE	Modo UMB SCOE							
		Inoperante	Operante	Local	Remoto	HW Simulado	HW Real	Standalone	Integrado
<b>Cenário U32 – Operação em AIT</b>									
Não alimentando o SC (Modo Bateria)	SAS desacoplado do UMB SCOE		X	X	X		X	X	X
	Alimentação barramento desacoplada do UMB SCOE		X	X	X		X	X	X
Em alerta de RF Ligado	UMB SCOE enviando comando de RF ON		X	X	X		X	X	X
Ambiente Propagando EMI	UMB SCOE minimizando emissão de EMI								
	UMB SCOE minimizando recepção de EMI								
Ambiente Propagando poeira e umidade	UMB SCOE filtrando entrada de poeira e umidade								
Ambiente Recebendo Calor e ruído sonoro	UMB SCOE emitindo calor e ruído sonoro								
<b>Cenário U33 – Operação em Lançamento</b>									
Em validação antes de conectar ao lançador / Em preparação para Lançamento	UMB SCOE enviando comando por fio		X		X		X		X
	UMB SCOE recebendo TM do SC		X		X		X		X
	UMB SCOE enviando alimentação barramento		X		X		X		X
	UMB SCOE monitorando sinais vitais do SC		X		X		X		X
Aguardando separação do Umbilical / Em contagem regressiva para Lançamento	UMB SCOE monitorando sinais vitais do SC		X		X		X		X
	UMB SCOE recebendo TM do SC		X		X		X		X

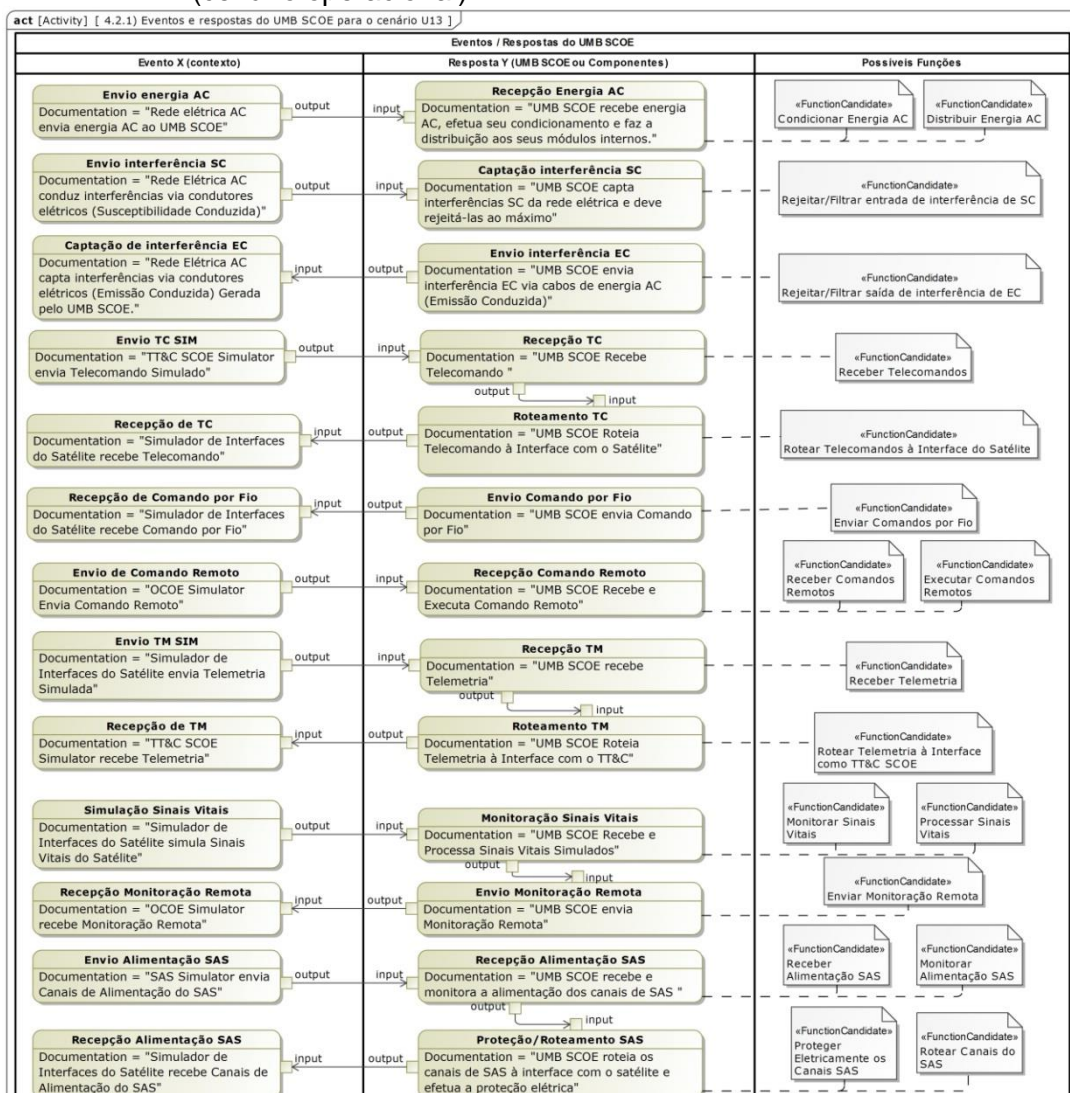
Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.4.3 Eventos e respostas do UMB SCOE nos cenários

Para cada cenário analisado anteriormente, foram levantadas as listas de eventos e as respostas do UMB SCOE aos eventos “contextuais” dos mesmos, originadas pelos elementos participantes do cenário, procurando identificar as possíveis funções candidatas. Não necessariamente todos os eventos produzem funções, em especial os eventos relacionados à “não-operação” do sistema, mas que são analisados pois podem fazer surgir novos requisitos ou características necessárias.

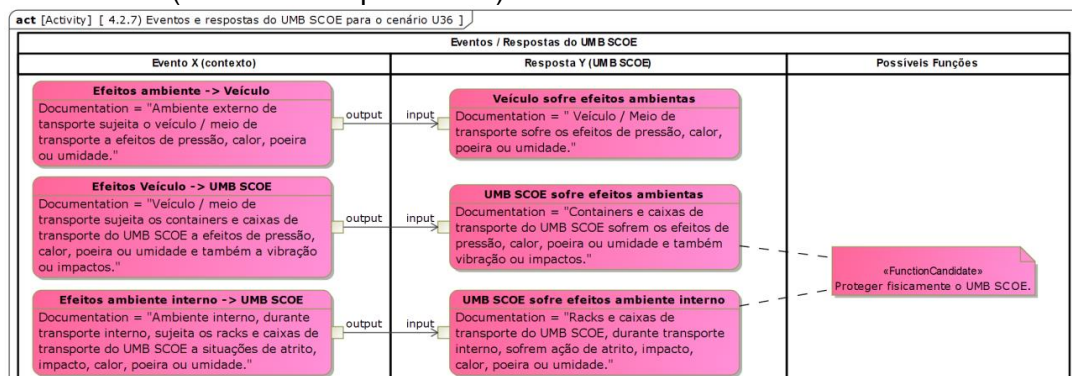
A Figura 4.13 apresenta um exemplo de análise de eventos e respostas do UMB SCOE em um cenário operacional e a Figura 4.14 para um cenário não-operacional.

Figura 4.13 – Exemplo de eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U13 (cenário operacional).



Fonte: Produção do autor.

Figura 4.14 – Exemplo de eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U36 (cenário não-operacional).

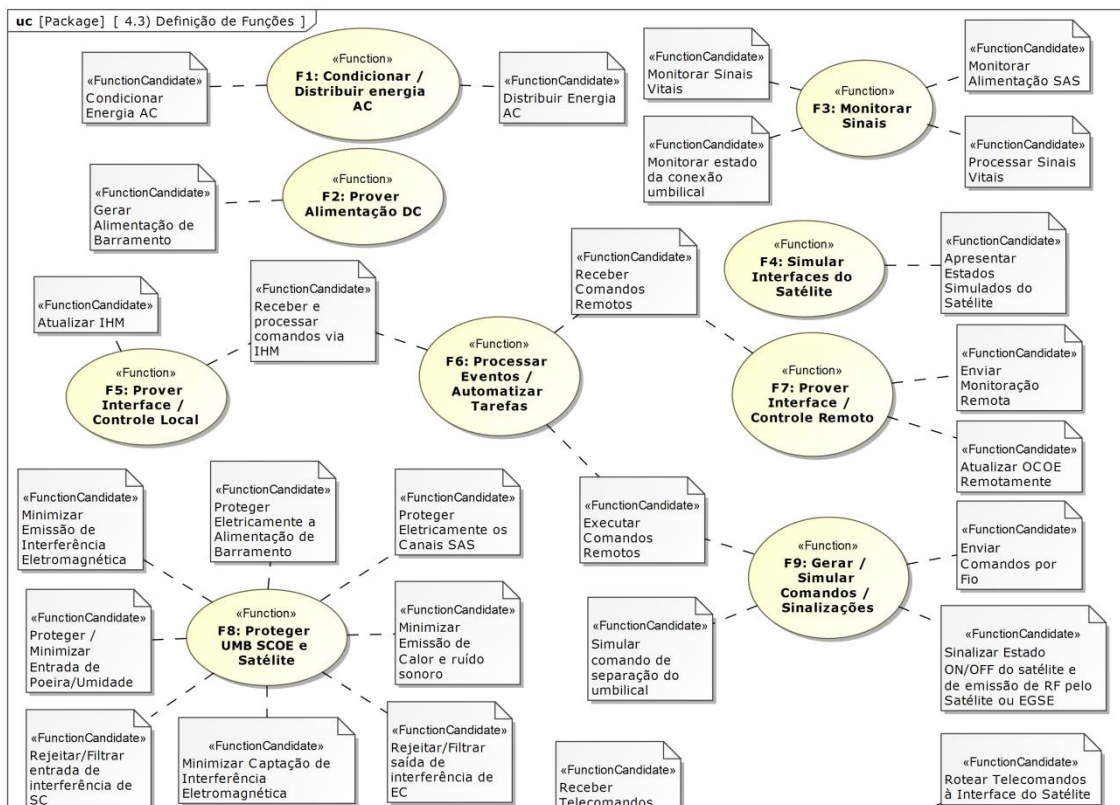


Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.4.4 Definição de funções do UMB SCOE

A partir das funções candidatas levantadas na etapa anterior, foi feita a definição final das funções do UMB SCOE, conforme exemplificado na Figura 4.15 e na Tabela 4.9.

Figura 4.15 – Exemplo de definição final das funções do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 4.9 - Lista de definição final das funções do UMB SCOE.

#	△ Name	Documentation
1	○ F1: Condicionar / Distribuir energia AC	Função que cuida do condicionamento da energia AC de entrada e realiza a distribuição de energia internamente no UMB SCOE
2	○ F2: Prover Alimentação DC	Função que cuida da geração de energia DC para alimentação de barramento do satélite, e energia DC para uso interno no UMB SCOE.
3	○ F3: Monitorar Sinais	Função que cuida da monitoração de sinais vitais do satélite presentes no cabo umbilical, sinais importantes ao estado do satélite, incluindo sinais do EGSE e monitoração do próprio UMB SCOE .
4	○ F4: Simular Interfaces do Satélite	Função que cuida da simulação de Interfaces e estados do satélite para o UMB SCOE.
5	○ F5: Prover Interface / Controle Local	Função que provê a interface local (IHM) para controle local pelo Operador e visualização de informações diversas.
6	○ F6: Processar Eventos / Automatizar Tarefas	Função para a processamento de eventos e automatização de tarefas baseadas nos eventos e listas de ações pré-programadas.
7	○ F7: Prover Interface / Controle Remoto	Função para prover a interface para controle remoto e envio de informações remotas e telemetrias de/para o OCOE.
8	○ F8: Proteger UMB SCOE e Satélite	Função / Dispositivos para minimizar a propagação de falha e reduzir a gravidade dos efeitos de falha n satélite e nos outros elementos do EGSE, filtragem/rejeição de interferência de SC e EC, surtos de tensão e de corrente.
9	○ F9: Gerar / Simular Comandos / Sinalizações	Função para a geração de pulsos de comando para ligar/desligar para o satélite via cabo umbilical, ou para comandar circuitos / dispositivos de simulação (ex.: simulação de separação) e de sinalizações diversas.
10	○ F10: Interfacear / Rotear Sinais	Função que executa a interface entre o EGSE e o satélite através do conector Ubilical EGSE durante as atividades de AIT e lançamento.
11	○ F11: Ler/Armazenar Informações	Função que cuida do armazenamento e leitura das informações da execução de testes, logs de comandos, comunicações, configuração e logs de eventos, listas diversas, etc.
12	○ F12: Disponibilizar Interfaces de Calibração	Função para a disponibilização de interfaces para facilitar a calibração dos equipamentos e instrumentos de medida do UMB SCOE quando estiverem em AIT ou campanha de lançamento.
13	○ F13: Disponibilizar Facilidades e Proteções para Transporte	Função para a disponibilização de facilidades para o transporte dos racks e caixas de transporte do UMB SCOE, bem como para proteger os mesmos contra efeitos e intempéries ambientais.

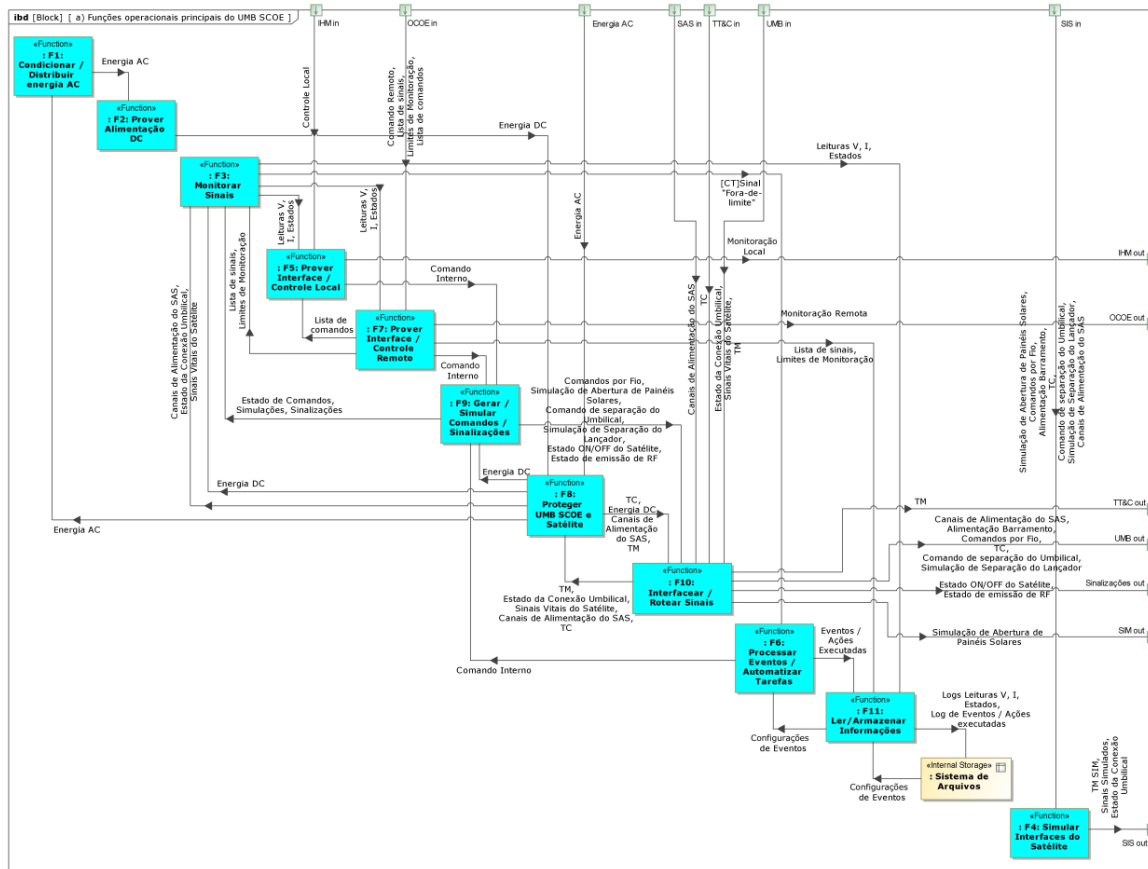
Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.4.5 Análise de estrutura funcional do UMB SCOE

Durante esta análise, as interfaces de entrada e saída identificadas anteriormente para o UMB SCOE são agora reavaliadas do ponto de vista das funções que foram definidas na seção 4.1.4.4. O Objetivo é analisar a melhor forma de representar na modelagem o escopo de atendimento das funções às interfaces externas, interfaces internas (entre funções) ou interfaces de controle. A Figura 4.16 exemplifica as funções operacionais principais do UMB SCOE, com os fluxos entre as funções e *Ports* para os fluxos que fazem interface com elementos externos. O diagrama foi formatado na filosofia do gráfico N<sup>2</sup>, conforme as regras definidas na seção 3.2.4.5.

Note-se que algumas funções fazem apenas interfaces internas com outras funções (F1, F2 e F3, por exemplo), outras fazem interfaces mistas, enquanto que a função F4 faz interfaces exclusivamente externas. Isto nos dá uma base inicial de alocação de funções para a definição de arquitetura funcional genérica do UMB SCOE.

Figura 4.16 – Exemplo de análise de estrutura das funções operacionais principais do UMB SCOE.

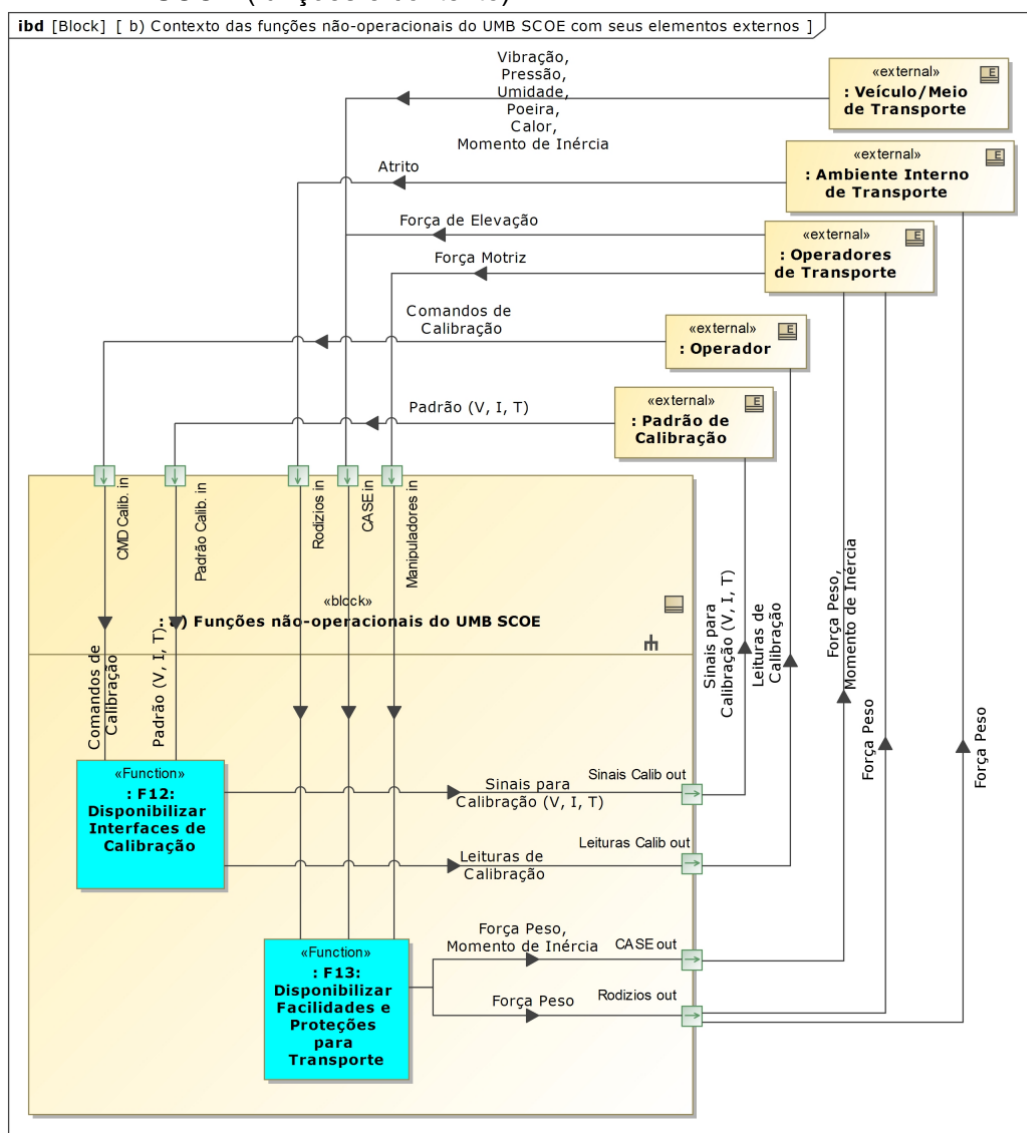


Fonte: Produção do autor.

Além das funções operacionais do UMB SCOE, foi analisada a estrutura para as funções não operacionais, ou seja, as que implicam em algum tipo de situação de “não-operação” do mesmo. Essas funções são a F12, relativa à situação em que o UMB SCE se encontra em aferição/calibração, e a F13, relativa à situação em que se encontra em transporte. A Figura 4.17 exemplifica esta análise.



Figura 4.17 – Exemplo de análise de estrutura das funções não operacionais do UMB SCOE (funções e contexto).



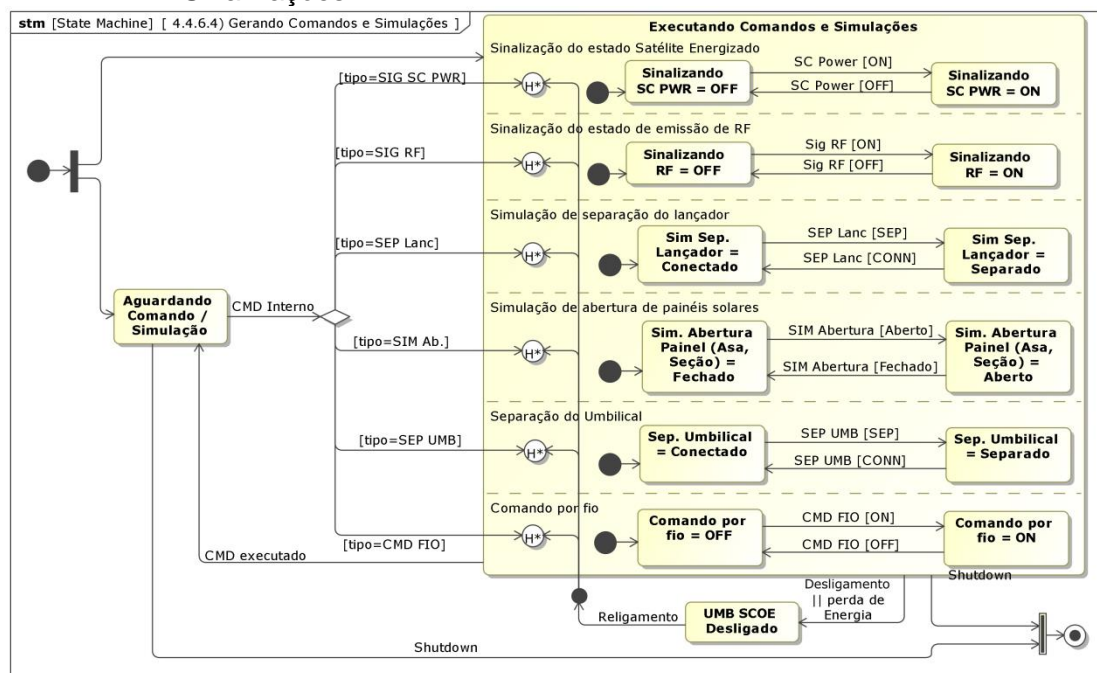
Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.4.6 Análise de comportamento funcional do UMB SCOE

Após a análise de estrutura funcional, e também com base nos estados e modos de operação preliminares identificados anteriormente, passou-se à análise do comportamento funcional do UMB SCOE.

A Figura 4.18 apresenta um exemplo de análise de transições de estados modelado para a função F9, por meio do diagrama de máquina de estados.

Figura 4.18 – Transições de Estados para a função F9: Gerar / Simular Comandos / Sinalizações.



Fonte: Produção do autor.

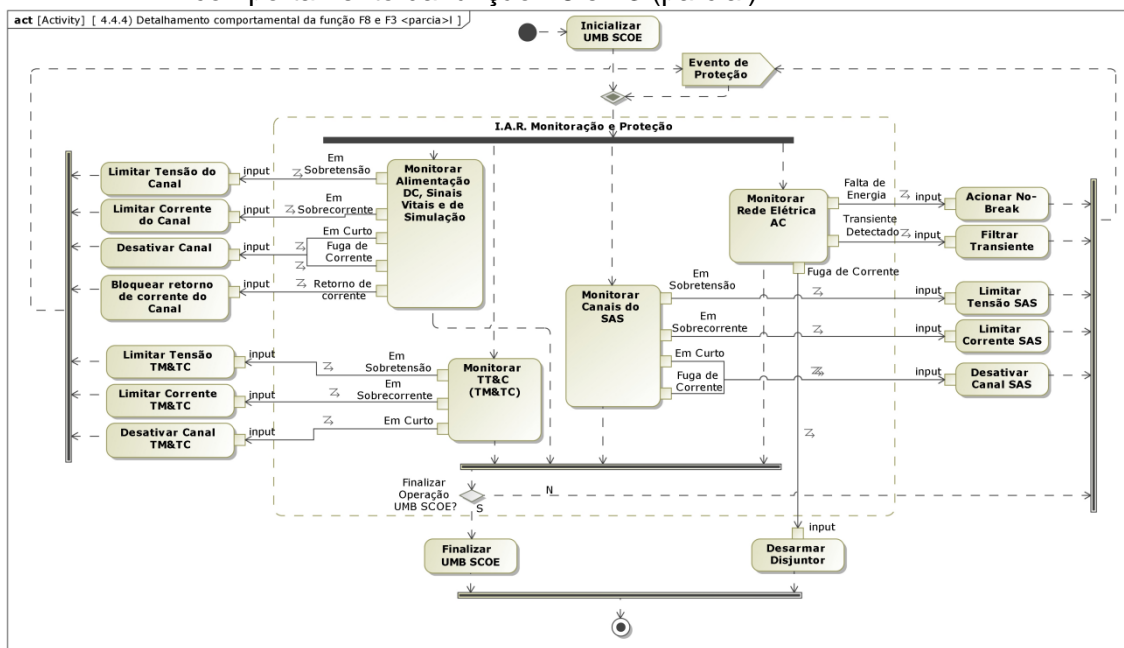
Neste exemplo, fez-se uso do conceito de estado ortogonal (estado “Executando Comandos e Simulações”), cujas sub-regiões são executadas de forma simultânea. Além disso, novos comandos são encaminhados para pseudo-estados de “*deep history*” ( $H^*$ ), que armazena cada sub-estado de cada sub-região. Isto porque, após a execução dos comandos e simulações, os estados devem permanecer inalterados após seu acionamento. Além disso, em caso de desligamento inesperado, o estado do satélite deve ser mantido (desligamento / religamento em modo seguro).

Cabe observar que o diagrama de estados genérico acima não leva em conta aspectos da implementação do projeto como, por exemplo, o caso da simulação de abertura de painéis solares, que está representada para uma seção/asa do painel solar, devendo ser replicada N vezes conforme a implementação necessária. Para atendimento ao satélite Amazonia 1, por exemplo, a seção “Simulação de abertura dos painéis solares” do estado “Executado comandos e simulações” deveria ser replicada 8 vezes, para as

seções “yoke”, “inner”, “center” e “outer” das duas asas dos painéis solares. Isto pode ser feito posteriormente na fase de análise de implementação, caso necessário. O mesmo vale para a seção de Comandos por fio. Para o caso do Satélite Amazonia 1, por exemplo, seria replicada duas vezes, para os comandos por fio “Battery ON” (comando que acopla a bateria ao barramento, dentro do satélite) e “VCC ON” (comando que ativa o circuito de monitoração externa da bateria pelo EGSE).

A  
 Figura 4.19 mostra um exemplo de análise adicional de comportamento que foi realizada utilizando-se o diagrama de atividades.

Figura 4.19 – Exemplo de diagrama de atividades com detalhamento do comportamento da função F8 e F3 (parcial).



Fonte: Produção do autor.

Neste diagrama fez-se uso do conceito de “Região de Atividades Interrompíveis” (I.A.R., *Interruptible Activity Region*) dos diagramas de atividade SysML (área tracejada da figura), onde as ações dentro da mesma são executadas ininterruptamente pelo sistema, até que um evento dispare uma interrupção da execução. Neste caso os manipuladores de exceção (*exception*

handlers  $\rightarrow$ ) executam as ações fora da IAR. Dependendo da gravidade da exceção, pode-se optar por executar ações abortivas, com o desarme do disjuntor em caso de detecção de correntes de fuga que podem colocar em risco o satélite ou pessoal de operação.

#### 4.1.4.7 Consolidação dos estados e modos do UMB SCOE a partir das funções

Após a elaboração dos diagramas de máquinas de estado, refina-se a lista preliminar de estados e modos modelados a partir das circunstâncias da seção 4.1.4.2. Alguns foram desmembrados em sub-estados ou reagrupados em máquinas de estado que tenham correlações ou agrupamento funcional. A Tabela 4.10 mostra um exemplo da lista consolidada final de estados e modos do UMB SCOE.

Tabela 4.10 – Exemplo de lista consolidada de estados, subestados e modos derivados das funções para o UMB SCOE.

Legend	4.4) Definição de Funções																					
<ul style="list-style-type: none"> <li> Refine</li> <li> Trace</li> </ul>	F1: Condicionar / Distribuir ener	F2: Prover Alimentação DC	F3: Monitorar Sinais	F4: Simular Interfaces do Satélite	F5: Prover Interface / Controle	F6: Processar Eventos / Automa	F7: Prover Interface / Controle	F8: Proteger UMB SCOE e Satéli	F9: Gerar / Simular Comandos /	F10: Interfacedar / Rotear Sinais	F11: Ler/Armazenar Informação	F12: Disponibilizar Interfaces de	F13: Disponibilizar Facilidades e	Modos UMB SCOE [4.2) Estados	Modo Inoperante	Modo Operante	Modo Local	Modo Remoto	Modo HW Simuladk	Modo HW Real	Modo Standalone	Modo Integrado
4.4.6) Análise de Transições de Estados e Modos do UMB SCOE	9	9	13	11	5	11	13	15	5						1	52	48	50	31	52	52	52
4.4.6.1) Condicionando / Distribuindo energia	9	9													1	8	8	8	8	8	8	8
4.4.6.1.1) Condicionando / Distribuindo energia	9	9													1	8	8	8	8	8	8	8
UMB SCOE desenergizado	2														1							
UMB SCOE energizado	2														7							
Energizado Normal	2														7							
Energizado via No-Break	2														7							
Distribuindo Energia AC	2														7							
UMB SCOE finalizando	2														7							
UMB SCOE inicializando	2														7							
UMB SCOE operando	2														7							
Suprindo Alimentação DC	2														7							
4.4.6.2) Monitorando Sinais e Protegendo UMB SCOE e Satélite			13				13								13	13	13	8	13	13	13	
4.4.6.2.1) Monitorando Sinais e Protegendo UMB SCOE e Satélite			13				13								13	13	13	8	13	13	13	
Monitoração linhas ativada	2														7							
Aguardando	2														7							
Canal desativado	2														6							
Lendo linhas / sinais	2														6							
Limitando corrente da linha	2														6							
Limitando tensão da linha	2														6							

Fonte: Produção do autor.

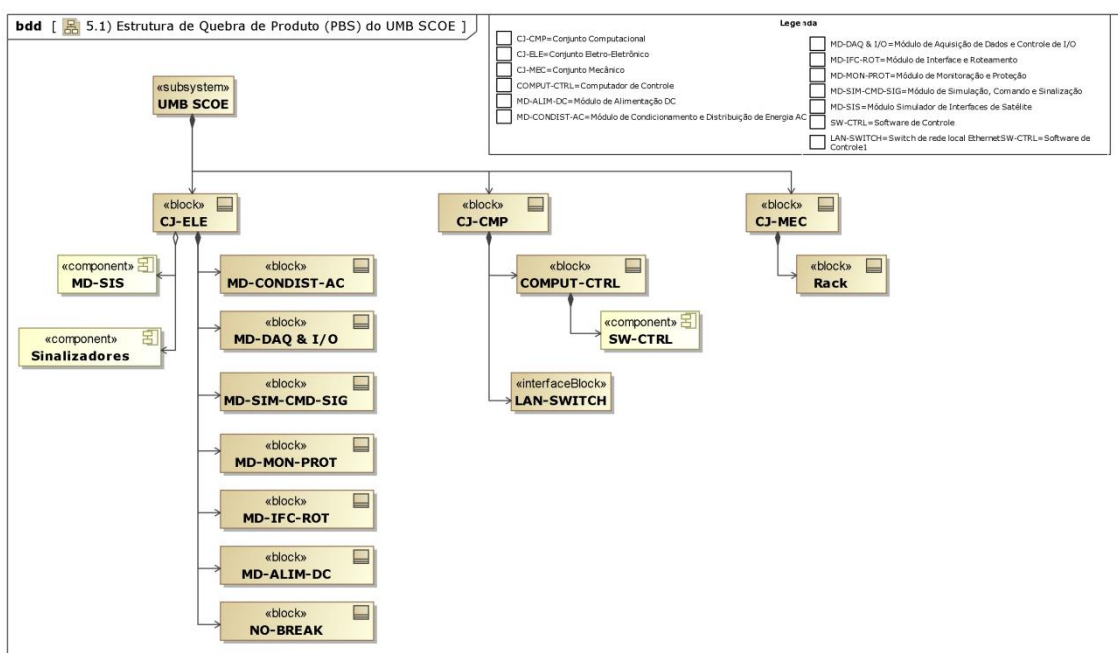
#### 4.1.5 Análise de implementação do UMB SCOE

Após o estabelecimento do comportamento das funções do UMB SCOE, e com base em tudo que foi elaborado anteriormente, parte-se para a análise de implementação do UMB SCOE. O objetivo é propor uma arquitetura física que satisfaça os requisitos e comportamentos levantados. Essa arquitetura genérica servirá de base para etapas posteriores que já não são do escopo da Engenharia de Sistemas e sim das áreas específicas de engenharia e de desenvolvimento.

##### 4.1.5.1 Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE

Neste momento, propõe-se um ou mais desenhos de arquitetura que possam satisfazer os requisitos e funcionalidades esperadas, fazendo-se uso de experiências passadas (reuso) de arquiteturas ou padrões de design (*design patterns*) e busca de topologias arquiteturais já consagradas que sigam boas práticas da área de aplicação. Divide-se então o produto de forma sucessiva em uma Estrutura de Quebra de Produto, ou PBS - *Product Breakdown Structure*). Uma das arquiteturas possíveis para o UMB SCOE é mostrada na Figura 4.20.

Figura 4.20 – Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE (PBS).




Fonte: Produção do autor.

Pelo fato do UMB SCOE já se tratar de um subsistema do EGSE, nessa estrutura foi feita a divisão do produto em conjuntos e módulos, conforme necessário. Com base nas afinidades já identificadas entre funções nas análises anteriores é possível agrupar funcionalidades correlatas, de modo a reduzir as interfaces externas ao máximo.

#### 4.1.5.2 Alocação de funções do UMB SCOE

A alocação das funções em diagramas de definição de blocos foi feita por meio de conexões do tipo "allocate", e gerada a matriz de alocação mostrada na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Exemplo de alocação de funções para a arquitetura física.

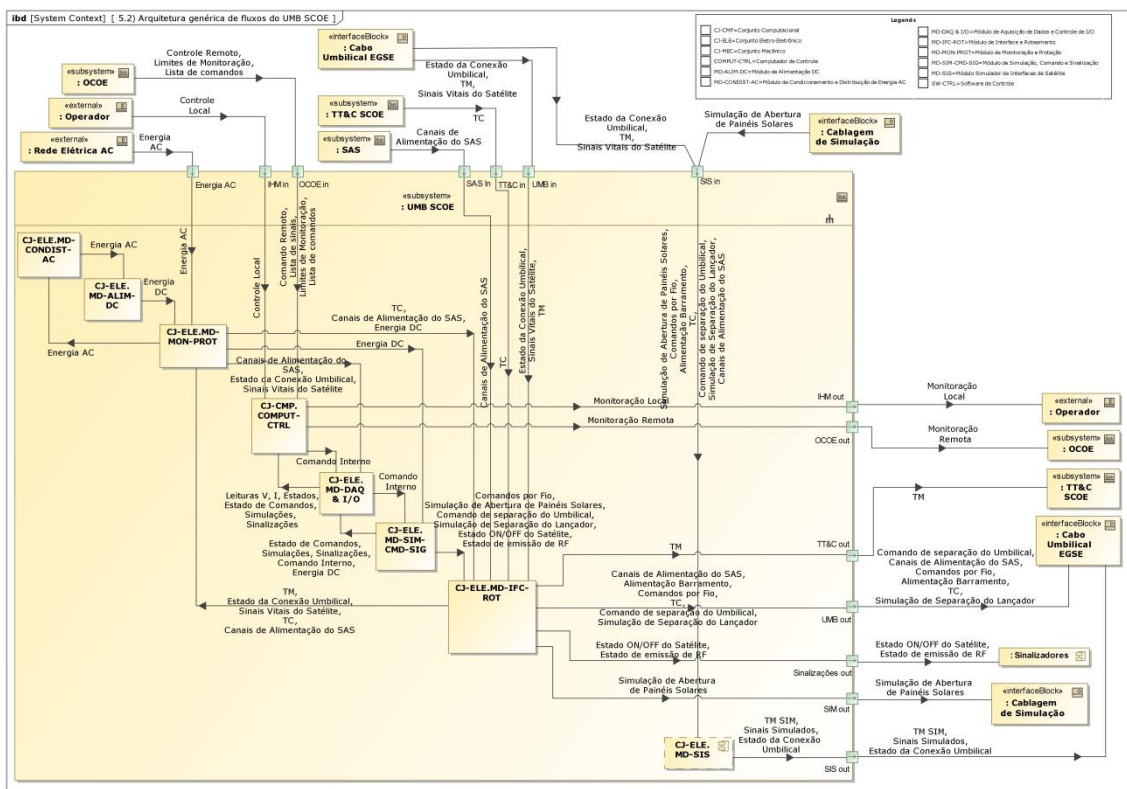
Legend		UMB SCOE												
 Allocate		CI-CMP	COMPUT-CTRL	SW-CTRL	CJ-ELE	MD-ALIM-DC	MD-CONDIST-AC	MD-DAQ & I/C	MD-IFC-ROT	MD-MON-PROT	MD-SIM-CMD-SIC	MD-SIS	CI-MEC	Rack
4.4) Definição de Funções		1	5		1	1	3	2	2	2	1		1	
F1: Condicionar / Distribuir energia AC														
F2: Prover Alimentação DC														
F3: Monitorar Sinais														
F4: Simular Interfaces do Satélite														
F5: Prover Interface / Controle Local														
F6: Processar Eventos / Automatizar Tarefas														
F7: Prover Interface / Controle Remoto														
F8: Proteger UMB SCOE e Satélite														
F9: Gerar / Simular Comandos / Sinalizações														
F10: Interfacear / Rotear Sinais														
F11: Ler/Armazenar Informações														
F12: Disponibilizar Interfaces de Calibração														
F13: Disponibilizar Facilidades e Proteções para Transpo														

Fonte: Produção do autor.

### 4.1.5.3 Proposta de arquitetura física genérica de fluxos do UMB SCOE

Após o estabelecimento da PBS genérica, tendo determinado a alocação das funções, podemos também levantar os fluxos arquiteturais genéricos para o UMB SCOE, baseados nos fluxos funcionais levantados na seção 4.1.4.5, conforme mostrado na Figura 4.21.

Figura 4.21 – Proposta de arquitetura genérica de fluxos do UMB SCOE.

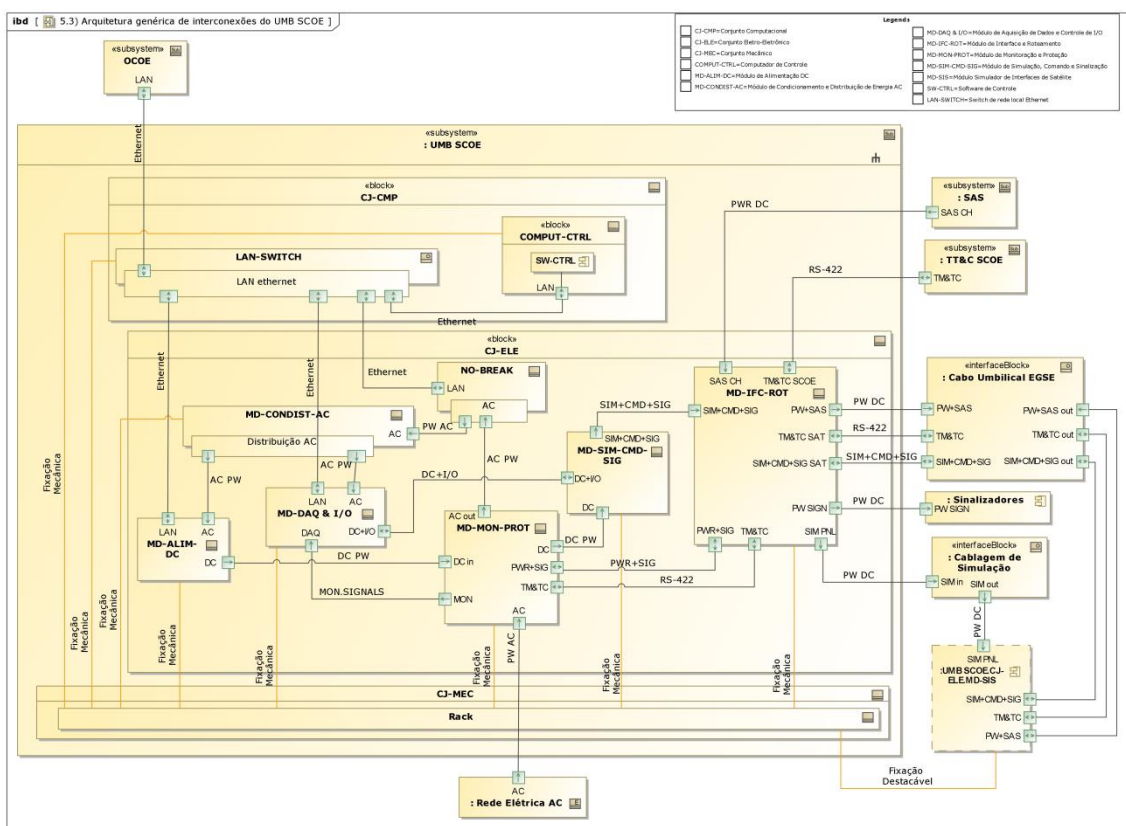


Fonte: Produção do autor.

#### 4.1.5.4 Proposta de arquitetura física genérica de interconexões do UMB SCOE

Com base nos fluxos arquiteturais, podemos propor uma arquitetura genérica de interconexões, o que é mostrado na Figura 4.22. Nessa arquitetura, as interconexões entre os diversos elementos do UMB SCOE e seus elementos de interface imediata são identificados por tipo de interconexão e tipo de sinal constituinte.

Figura 4.22 – Proposta de arquitetura genérica de interconexões do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.



## 5 DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar discussões, justificativas e limitações encontradas durante o desenvolvimento desta dissertação.

### 5.1 Diferenças entre PDIG e MBSE4EGSE.

Ao longo do desenvolvimento da dissertação e da abordagem MBSE4EGSE, já foram levantados alguns pontos de diferença entre o PDIG de Venticinqu (2017) e a abordagem de MBSE4EGSE.

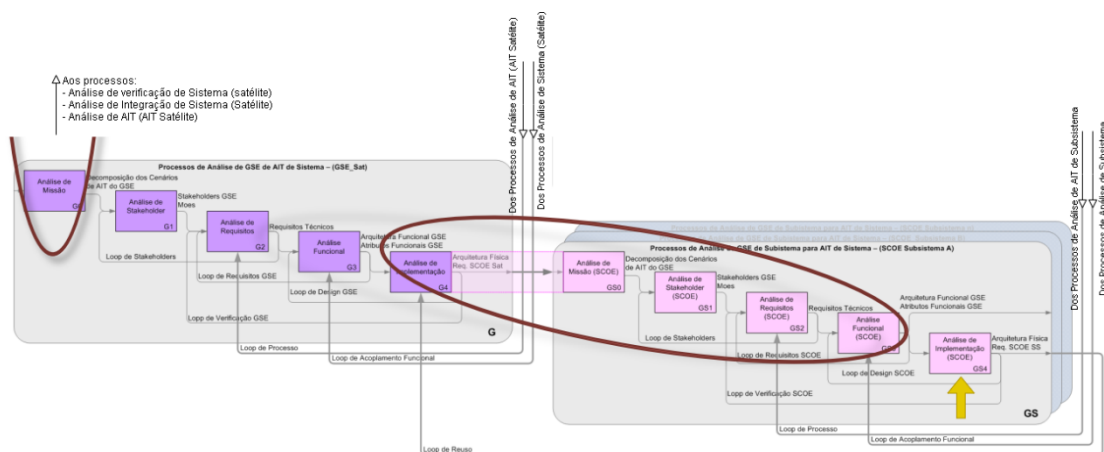
As diferenças já levantadas são redeclaradas aqui:

- a) **Preocupações de stakeholders:** No PDIG a identificação das preocupações de *stakeholders* é feita por meio de DFS's de contexto. Em MBSE4EGSE, a representação do produto no cenário de ciclo de vida é feita por meio de diagramas de casos de uso, com blocos estereotipados como “*system context*” para cada cenário, e as preocupações foram representadas como casos de uso (ver Seção 3.2.2.2);
- b) **Medidas de efetividade MoEs:** No PDIG, as medidas de Efetividade são identificadas após a definição dos requisitos de *stakeholders* e foram rastreadas ou mesmo derivadas dos mesmos. MBSE4EGSE procura identificar as MoEs já após a identificação das preocupações dos *stakeholders*. (ver Seção 3.2.2.3.2);
- c) **Identificação de fronteiras, interfaces e análise de ambiente:** No PDIG, a análise é feita em DFD's de contexto. Em MBSE4EGSE, a análise é feita por meio de diagramas de blocos internos (*ibd*) (Ver Seção 3.2.4.1)
- d) **Análise de implementação:** Venticinqu (2017), durante a aplicação do guia de PDIG, não chegou até a fase de análise de implementação. De fato, o escopo da aplicação do guia de PDIG de Venticinqu (2017) delimitou o escopo até a análise funcional, levando-se em conta que o

UMB SCOE analisado faz parte dos processos de análise de GSE de Subsistema para AIT de sistema (SCOES de Subsistema), conforme é mostrado na Figura 5.1 (seta em amarelo).

Na análise de MBSE4EGSE considerou-se importante incluir esta análise, justamente pelos benefícios que a modelagem MBSE poderia trazer nas definições de arquiteturas genéricas para os produtos. Os diagramas e as arquiteturas podem ser reutilizadas nas fases posteriores, onde aplicam-se disciplinas específicas da engenharia, tais como projeto mecânico e projeto elétrico, antecipando decisões de *design* e, possivelmente simulações do tipo “*model-in-the-loop*” em uma abordagem integrada e de engenharia simultânea, cujos modelos, protótipos e simulações baseadas nas arquiteturas genéricas já podem ser iniciados.

Figura 5.1 – Destaque dos processos exercitados para aplicação do PDIG no desenvolvimento do UMB SCOE.



Fonte: Adaptado de Venticinque (2017).

## 5.2 Diferenças entre a MBSE4EGSE final e artigos publicados.

Durante o desenvolvimento foram publicados 2 artigos relacionados ao tema dessa dissertação, o primeiro na publicado na WETE e o segundo no jornal IJAERS (COICEV, GEILSON, 2019) que se encontram no **APÊNCIDE C**. Estas publicações foram antecipações da aplicação da abordagem MBSE e do seu guia de utilização. Porém, ao longo da aplicação, surgiram algumas dificuldades em se aplicar o que tinha sido proposto, e a proposta teve que ser revista. Tanto no artigo publicado na WETE (2019) quanto no publicado em IJAERS (2019), inicialmente se propôs uma sequência de fases muito semelhante à forma final mostrada na Seção 3. Esta seção irá expor estas diferenças.

### 5.2.1 Análise de *stakeholders* - medidas de efetividade

Nos artigos publicados, inicialmente pretendia-se utilizar os diagramas de definições de blocos para representação de MoEs por meio de *value types*, que pudessem posteriormente ser utilizados em diagramas paramétricos para uso em simulações de cenários.

Conforme já explicitado anteriormente, PDIG colocava essa análise após a definição dos requisitos de *stakeholders*, e não de uma forma muito clara em termos de métricas possíveis de se medir de forma quantitativa ou qualitativa.

Em função disso, identificou-se a necessidade de se antecipar a definição das mesmas para após a identificação de preocupações de *stakeholders*, e de definir-se as especificações não somente de MoEs, mas também de MoPs e TPMs de forma textual., o que foi feito pela extensão do meta-modelo de SysML proposto por Kaslow (2018).

Também sentiu-se falta de um método que estruturasse melhor a descoberta das MoEs, daí a inclusão do método de análise pelo método GQM da Seção 3.2.2.3.2, de forma a definir de forma menos subjetiva esses parâmetros. Nesse caso chegou-se ao objetivo de definir-se as MoEs como *value types* quantitativos em um BDD.

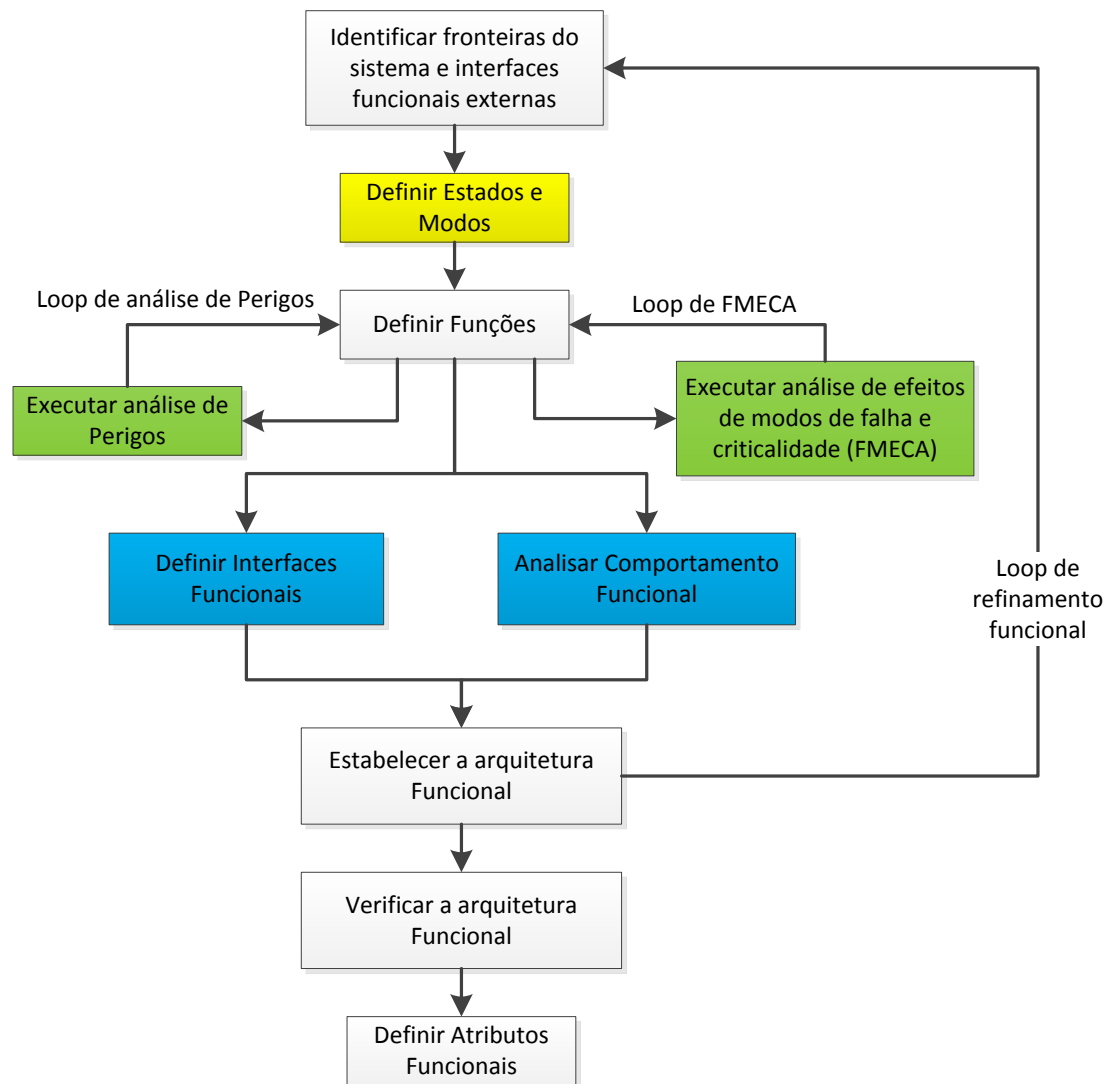
### **5.2.2 Análise funcional - identificação de fronteiras, interfaces e análise de ambiente**

Durante a elaboração das análises funcionais pela aplicação do Guia de MBSE4EGSE, sentiu-se a falta de uma forma estruturada de definição das funções. A forma usada por Venticinqu (2017) baseia-se na identificação dos eventos, estímulos e a resposta do UMB SCOE aos mesmos, e depois atrelava funções aos fluxos identificados em cada circunstância. Porém, não se conseguiu vislumbrar a transição pela qual as respostas aos estímulos se transformaram em funções. Portanto, foi acrescentada à MBSE4EGSE a análise de eventos, respostas em diagramas de atividades, com o uso de funções candidatas e a transição posterior a funções definitivas, conforme estabelecido na Seção 3.2.4.3 e aplicado na Seção 4.1.4.3.

### **5.2.3 Análise funcional – definição de estados e modos**

Também foi necessário trazer a definição de estados e modos para a etapa logo após a identificação de fronteiras e interfaces externas, já a partir da identificação das circunstâncias, de acordo com o preconizado por Loureiro (1999), conforme destacado em amarelo na Figura 5.2. Porém identificou-se também a necessidade de refinamento dos estados e modos identificados preliminarmente ao se efetuar a análise de comportamento funcional, tendo sido acrescentada a subfase de consolidação de estados e modos em MBSE4EGSE.

Figura 5.2 – Visão geral do processo de Análise Funcional.



Fonte: Adaptado de Loureiro (1999).

#### 5.2.4 Análise funcional – estrutura e comportamento funcional

No faseamento proposto inicialmente nos artigos, a análise de estrutura funcional estava subdividida em duas etapas: análise de escopo funcional e definição de interfaces funcionais. Porém, durante a aplicação do guia de MBSE4EGSE, notou-se facilidade em se definir simultaneamente as duas coisas, já se partindo para o conceito do diagrama *ibd* em forma de gráfico  $N^2$ , permitindo a colocação das interfaces com elementos externos e entre as funções simultaneamente (interfaces funcionais).

Também foi identificado que a análise de comportamento funcional pode ser efetuada em paralelo com a análise de estrutura funcional, por meio dos diagramas de máquinas de estados e diagramas de atividade. Esta simultaneidade também é mostrada em azul na Figura 5.2 mostrada anteriormente. Após esta etapa, chegou-se a uma definição mais refinada dos estados e modos.

### **5.3 Limitações**

A seguinte seção apresenta as limitações identificadas no método apresentado nesta dissertação.

#### **5.3.1 Modelos paramétricos**

Nas propostas iniciais apresentadas nos artigos publicados (**APÊNDICE C**), vislumbrava-se a utilização de diagramas paramétricos para a realização de simulações de cenários por meio de *value types*. Infelizmente não se conseguiu atingir este objetivo na dissertação, o que limita a abrangência da MBSE4EGSE no tocante à uma das contribuições importantes da SysML, que é justamente o uso de modelos paramétricos em simulações de hipóteses e cenários com diferentes parâmetros em diferentes cenários. Este objetivo pode ser atingido em trabalhos futuros é proposto no capítulo 9.

#### **5.3.2 Análise de perigos e FMEA**

Segundo o framework proposto por Loureiro (2019), após a identificação das interfaces do produto e das circunstâncias dos elementos dos cenários é elaborada, deve-se efetuar a análise de perigos e de FMEA do produto e de organização. Isto é destacado em verde na Figura 5.2. Não foi desenvolvida para a abordagem MBSE4EGSE uma solução razoável para a elaboração desses dois tipos de análise, embora o autor considere que sejam de extrema importância para o desenvolvimento de EGSE's. Uma solução possível imaginada seria algo semelhante ao que foi utilizado para a análise de GQM apresentada na seção 3.2.2.3.1, com a extensão do meta-modelo de SysML para contemplar atributos de tais análises, tais como probabilidade de falha, impacto de falha, causas, etc, chegando-se a uma matriz de controle /

gerenciamento de riscos e de perigos, por meio da própria ferramenta de modelagem.

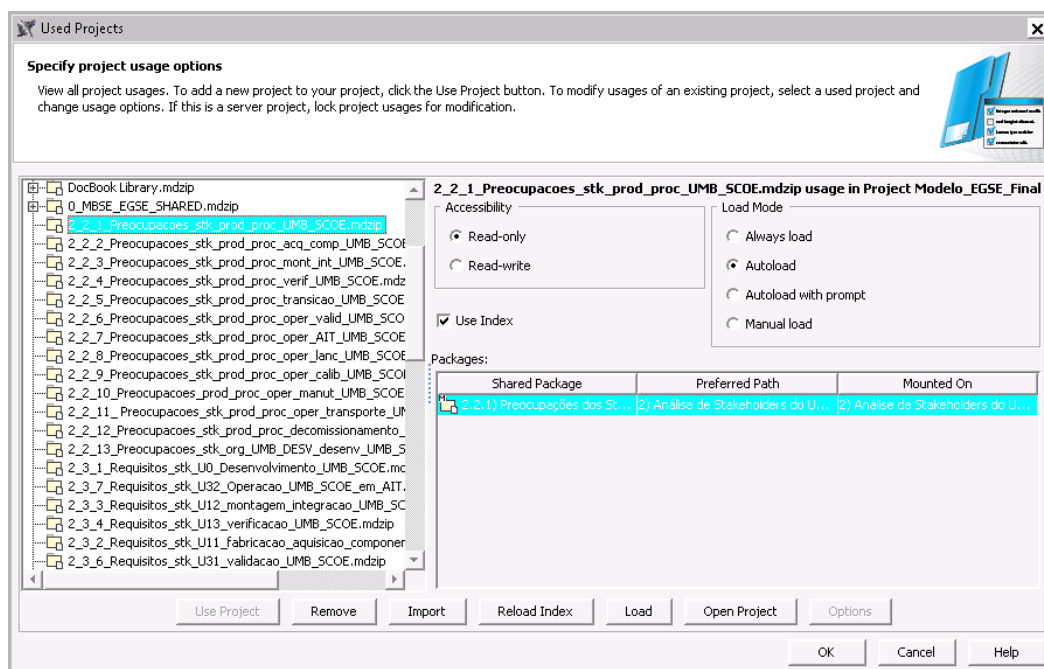
### **5.3.3 Limitações da ferramenta de modelagem**

Durante a modelagem utilizando-se a ferramenta Cameo Systems Modeler, houve grande dificuldade em função do uso de ferramenta Demo, que limitava o salvamento dos modelos a no máximo 25 elementos de cada tipo no modelo. Foi tentada a obtenção de licença de avaliação ilimitada pela empresa NoMagic Inc. ou licença acadêmica porém não foi possível fechar nenhuma parceria entre a empresa e o SPG do INPE em tempo hábil para a realização desta dissertação.

Essa limitação, no entanto, foi superada pelo uso de um recurso de particionamento da ferramenta de modelagem, dividindo-se o modelo em diversos sub-projetos, denominados “Project Usages”, em que packages são exportadas e reimportadas em um modelo mestre, “congelando-se” os subprojetos como apenas de leitura, todos com quantidades limitadas a 25 elementos. Isto é mostrado na Figura 5.3.

Porém, o uso demasiado de Project Usages ocasionou uso excessivo de memória e consumo de recursos computacionais, ao mesmo tempo criando dificuldades na atualização de sub-projetos já congelados. É possível “descongelar” o projeto (colocar em modo “read-write”) para se fazer alterações, porém só era possível trabalhar-se com um sub-projeto aberto por vez, o que aumentou significativamente o tempo de modelagem.

Figura 5.3 – Utilização de sub-projetos pelo recurso de “Project Usages” da ferramenta Cameo Systems Modeler.



Fonte: Produção do autor.

### 5.3.4 Validação externa

Uma das limitações dessa dissertação foi a falta de submissão da abordagem MBSE a validação externa por terceira parte, tendo sido o método e o guia desenvolvido aplicado apenas pelo autor em um exemplo de aplicação prático, mesmo tendo-se procurando aplicar de forma profunda e detalhada. O ideal seria a aplicação por outros grupos em outros tipos de equipamentos elétricos de solo, ou mesmo em outras áreas de aplicação que não a aeroespacial.



## **6 CONCLUSÃO**

### **6.1 Consecução dos objetivos da dissertação**

Conclui-se que o objetivo principal inicial de se propor uma abordagem MBSE viável para o desenvolvimento de EGSEs foi cumprido plenamente pela consecução dos objetivos específicos conforme demonstrado a seguir. Os objetivos específicos propostos inicialmente foram os seguintes:

- a) Propor uma abordagem genérica de engenharia de sistemas baseada em modelos, especializada para EGSEs, devidamente documentada;
- b) Propor um guia para a aplicação da abordagem baseada em modelos para EGSEs;
- c) Aplicar o guia em um exemplo de aplicação documentado. O exemplo foi a modelagem de um elemento do EGSE para o satélite Amazônia 1;

O primeiro objetivo específico foi atingido, pela apresentação da abordagem MBSE4EGSE descrita no capítulo 3. A Abordagem segue de forma bem abrangente o PDIG proposto por Venticinque (2017), com pequenas diferenças, conforme demonstrado.

O segundo objetivo específico foi atingido pela guia de aplicação da MBSE4EGSE apresentado no capítulo 0.

O terceiro objetivo específico foi atingido pela aplicação do guia de MBSE4EGSE na modelagem do UMB SCOE para o satélite Amazonia 1, conforme demonstrado em todo o capítulo 6.

## 6.2 Contribuições

Durante o desenvolvimento desta dissertação, foram identificadas as seguintes contribuições:

- a) Aplicou-se e estendeu-se o trabalho iniciado por Venticinque (2017), pelo uso do guia PDIG quase que de maneira completa, porém pelo uso de abordagem MBSE e modelagem SysML;
- b) Estabeleceu-se uma abordagem MBSE aplicável na área espacial, com a demonstração de seu uso, em especial no desenvolvimento de EGSEs, cujo campo de aplicação restrito não foi identificado com facilidade nas pesquisas bibliográficas efetuadas pelo autor anteriormente a esta dissertação;
- c) Criou-se um Exemplo de aplicação de MBSE em processos de ciclo de vida completo, e com riqueza de detalhes na modelagem de um elemento crítico e de média/alta complexidade, que é o UMB SCOE modelado; O detalhamento completo da modelagem do UMB SCOE encontra-se no APÊNDICE D.

## 7 TRABALHOS FUTUROS

Esta seção apresenta as propostas do autor para a continuidade desta dissertação em possíveis trabalhos futuros.

### 7.1 Análises de *trade-off*:

Esse tipo de análise ficou em aberto na abordagem. A intenção original era fazer as análises de trade-off para “produto” (após seção 5.1.6) usando diagramas de definição de bloco com diferentes soluções possíveis (*Product BreakDown Structures*) para a mesma arquitetura física, com estimativas e simulações para várias soluções, tais como diferentes sistemas de aquisição de dados, topologias de alimentação, sistemas de proteção, etc.

A abordagem mais apropriada neste caso parece ser de aproveitar as características dos diagramas paramétricos SysML, juntamente com a integração e simulação por ferramentas externas, como por exemplo o MatLab, ou o *Cameo Simulation Toolkit*, a fim de simular vários cenários de custo, facilidade de implementação, disponibilidade de material, desempenho técnico, tempo de entrega, etc. Para isso, propõe-se fazer uso das MoEs levantadas na seção 4.1.2.3 e, possivelmente, gerando pela ferramenta de modelagem + simulação, gráficos morfológicos com critérios e pesos adequados para cada componente, a fim de alcançar uma arquitetura física do produto balanceada, mas essa abordagem não foi possível no presente estudo, sendo proposta como um trabalho futuro.

### 7.2 Simulações de processos organizacionais

A modelagem de processos organizacionais não foi profundamente explorada na presente dissertação, devido a limitações de tempo e dificuldade de geração de cenários utilizando experiência de diversas organizações fornecedoras de produtos para EGSE dos programas espaciais do INPE. Porém, entende-se que seja proveitoso trabalhos futuros para a integração do modelo com ferramentas de simulação de processos como, por exemplo, SIMPROCESS ou ferramentas BPMN como Bizzagi ou PLM como Teamcenter ou outras existentes no mercado. O Cameo Systems Modeler disponibiliza plugins para

integração com diversas delas, entre as quais o *Cameo Business Modeler Plugin*, com API aberta em Java e linguagens de scripts para programação.

Conforme observado por Silva (2013), as técnicas utilizadas por modelagem BPMN e SysML têm finalidades diferentes, sendo a UML e/ou SysML mais adequadas para a modelagem descritiva do sistema, enquanto representações do tipo workflow ou a evolução dessas e sua padronização pela OMG, que resultaram na BPMN, são mais adequadas à modelagem do ciclo de vida do produto e dos processos de gestão da organização.

Neste sentido, Silva (2013) dissertou sobre a integração da ferramenta BPMN Bizzagi com ambientes de simulação em SIMPROCESS, tendo obtido sucesso na integração entre os dois ambientes. As técnicas utilizadas por ele podem ser aplicadas para a integração entre o modelo de MBSE4EGSE por meio do plugin Cameo Business Modeler para modelagem de processos de negócio em BPMN e uso do SIMPROCESS para simulação destes processos de negócios. Esta também é uma área que merece trabalhos futuros.

### **7.3 Reuso de modelos**

Um dos grandes objetivos de MBSE é o reuso de modelos. Sendo assim cabe como trabalhos futuros o acompanhamento do reuso da aplicação da abordagem MBSE4EGSE, inclusive em outras áreas que não sejam o desenvolvimento de EGSEs. Trabalhos futuros que queiram utilizar o modelo desenvolvido aberto poderão entrar em contato com o autor para a disponibilização dos arquivos modelados, que podem ser refinados, inclusive com o avanço das técnicas, revisões de ferramenta de modelagem e liberação de novas revisões da SysML pelo OMG;

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASILI, V.; Caldeira, G.; Rombach, H. D. The goal question metric approach. In: MARCINIAK, J. (Ed). **Encyclopedia of software engineering**. New York: John Wiley and Sons, 1994.

CAMEO SYSTEMS MODELER. **19.0 LTR SP2**: user manual. [S.l.]: Dassault Systèmes Company, 2019. 573 p.

CORONEL, M.; GABRIEL, G.; BURGER, E. E.; CALADO, R.; RAIMUNDO, L. R.; KAWASSAKI, G. N.; LINO, C.; LOUREIRO, G. A systems engineering approach for specifying a combined compact antenna test range and near-field scanner facility. In: INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS (IAC), 2017, Adelaide. **Proceedings... IAC**, 2017.

CROCHET, B. **A case study in the application of model-based systems engineering to laboratory research science**. 2017. 72p. Dissertation ( Doctor of Philosophy) - University of Southern Mississippi, Mississippi, 2017.

EUROPEAN COOPERATION for SPACE STANDARDIZATION – ECSS. **ECSS-M-ST-10C**: space project management - project planning and implementation - rev. 1 – Noordwijk: ECSS, 2009. 50p.

\_\_\_\_\_. **ECSS-E-70 Part 1A** - space engineering - ground systems and operations - Part 1: principles and requirements. Noordwijk: ECSS, 2009.

FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R. **A practical guide to SysML**: the systems modeling language. 3.ed. [S.l.]: Elsevier, 2015.

FORTESCUE, P. W.; SWINERD, G.; STARK, J. **Spacecraft systems e.Engineering**. 4.ed. [S.l.]: John Wiley & Sons 2011.

HALLIGAN, R. J.;. **Description of the wedge model™** . Project Performance International Pty.Disponível em: <https://www.ppi-int.com/wedge/>. Acesso em: 15 out. 2017

HOLT, J.; PERRY, S. **SysML for systems engineering**: a model-based approach. 2.ed. [S.l.]: The Institution of Engineering and Technology, 2013.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING - INCOSE. **Manual de engenharia de sistemas**. San Diego, CA, EUA: INCOSE, 2012. INCOSE-TP-2003-002-03.2.2.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO.  
**ISO/IEC/IEEE 15288: systems and software engineering – system life cycle processes.** Geneva: ISO, 2015.

KASLOW, D.; AYERES, B.; CAHILL, P.; HART, L. A model-based systems engineering approach for technical measurement with application to a CubeSat. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2018, Big Sky, MT. **Proceedings...** IEEE, 2018.

KONING, H. P. D.; EISENMANN, H.; BANDECCHI, M. Evolving standardization supporting model based systems engineering. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SYSTEM & CONCURRENT ENGINEERING FOR SPACE APPLICATIONS (SECESA 2010), 4., 2010, Lausanne, Swiss. **Proceedings...** ESA, 2010.

LARSON, W. J.; KIRKPATRICK, D.; SELLERS, J. J.; THOMAS, L. D.; VERMA, D. **Applied space systems engineering.** [S.l.]: McGraw-Hill, 2015.

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

OMG SYSTEMS MODELING LANGUAGE. **OMG SysML™ version 1.4,** August 2015. Disponível em: <http://www.omg.org/spec/SysML/1.4/PDF>. Acesso em: 06 fev. 2017.

PASCAL, R.. MBSE with the ARCADIA method and the capella tool. In: EUROPEAN CONGRESS ON EMBEDDED REAL TIME SOFTWARE AND SYSTEMS (ERTS 2016), 8., 2016, Toulouse, France. **Proceedings...** 2016.

RODRIGUEZ, J. E. O. **Processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para pico e nanosatélites.** 2006. 203. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

ROEDLER, G.J.; JONES, C.. **Technical measurement: a collaborative report os PSM, INCOSE, and Industry.** INCOSE-TP-2003-020-01, Version 1.1. 27 December 2005. Disponível em: [http://www.psmc.com/Downloads/TechnologyPapers/TechnicalMeasurementGuide\\_v1.0.pdf](http://www.psmc.com/Downloads/TechnologyPapers/TechnicalMeasurementGuide_v1.0.pdf) . Acesso em: 11 mar. 2020.

SILVA JUNIOR, A. C. **Desenvolvimento integrado de sistemas espaciais - design for AIT- projeto para a montagem, integração e teste de satélites D4AIT.** 2011. 455f. Tese (Doutorado em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011.

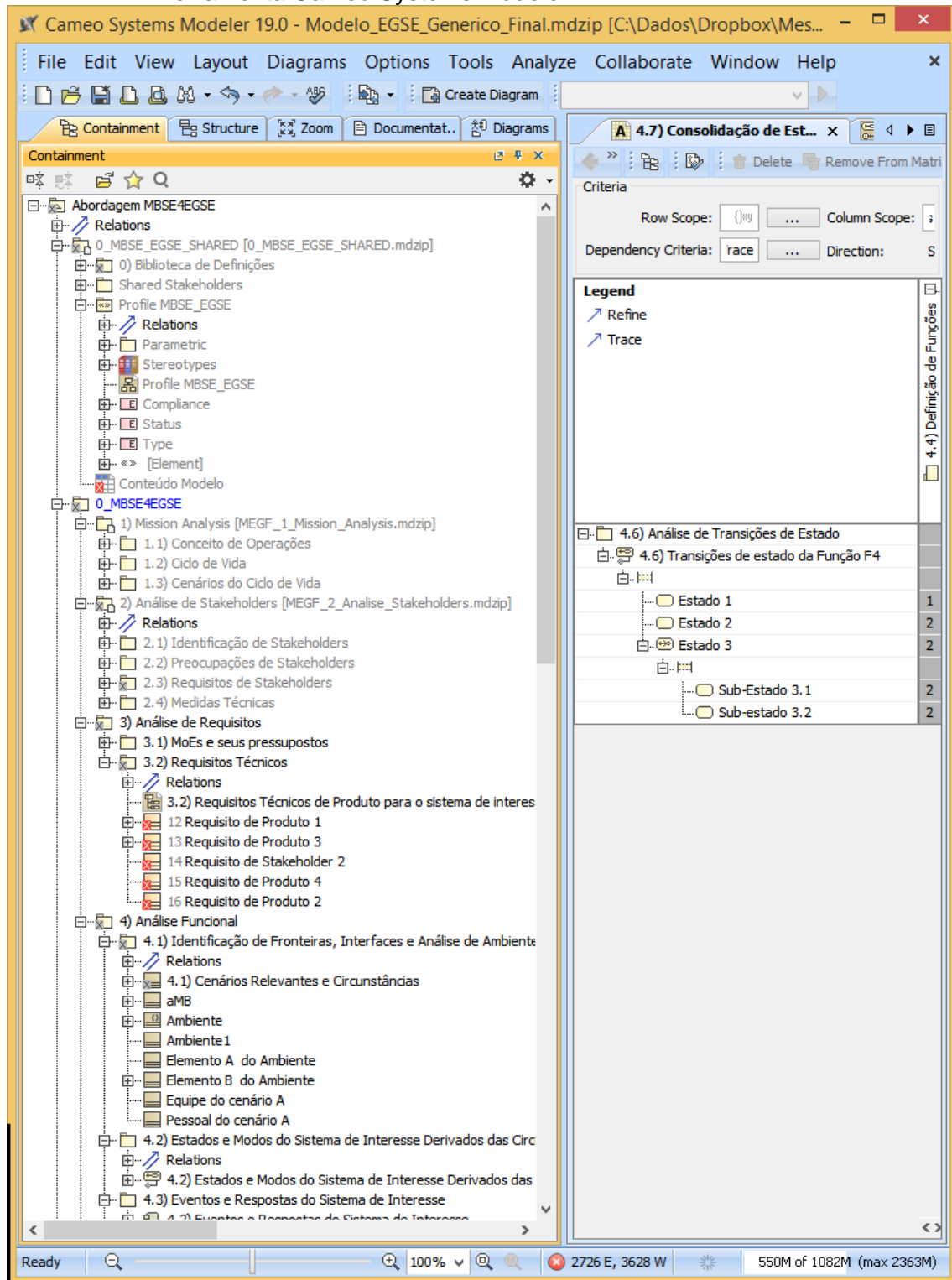
SILVA JUNIOR, A. C. **Montagem, integração e testes de veículos espaciais: electrical ground support equipment.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. Notas de Aula.

SILVA, L. A. **Uma abordagem unificada para modelagem, simulação e gestão por processos e sua aplicação aos serviços de integração e testes de produtos complexos.** 2013. 138 p, Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/ Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – INPE, São José dos Campos, 2013.

VENTICINQUE, G. **Engenharia de sistemas aplicada ao desenvolvimento do equipamento de suporte em terra - GSE.** 2017. 360p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - INPE, São José dos Campos. 2017.

## APÊNDICE A - REPOSITÓRIO DE MODELAGEM

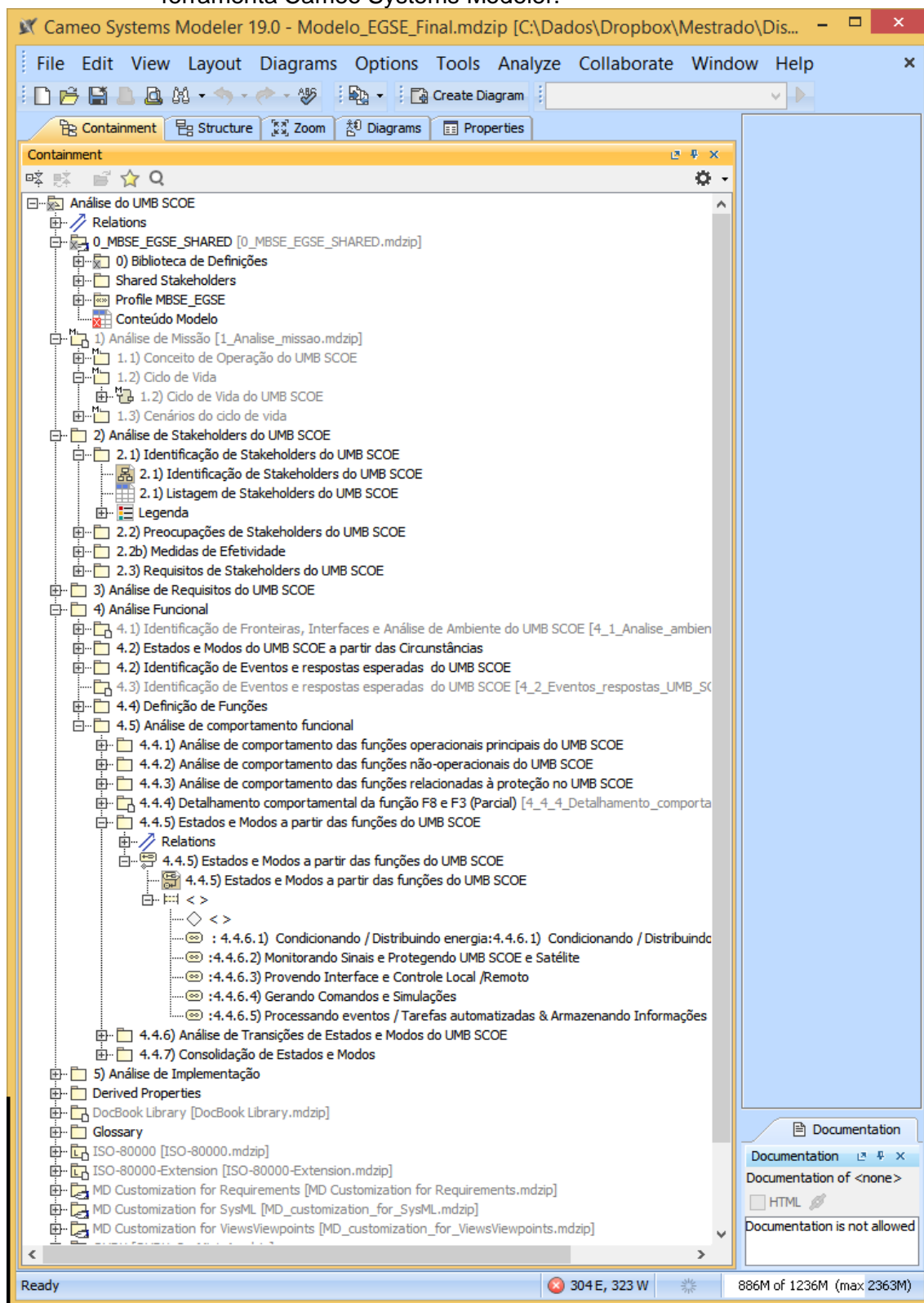
Figura A.1 - Repositório de modelagem “Modelo\_EGSE\_Generico\_Final” na ferramenta Cameo Systems Modeler.



Fonte: Produção do autor.



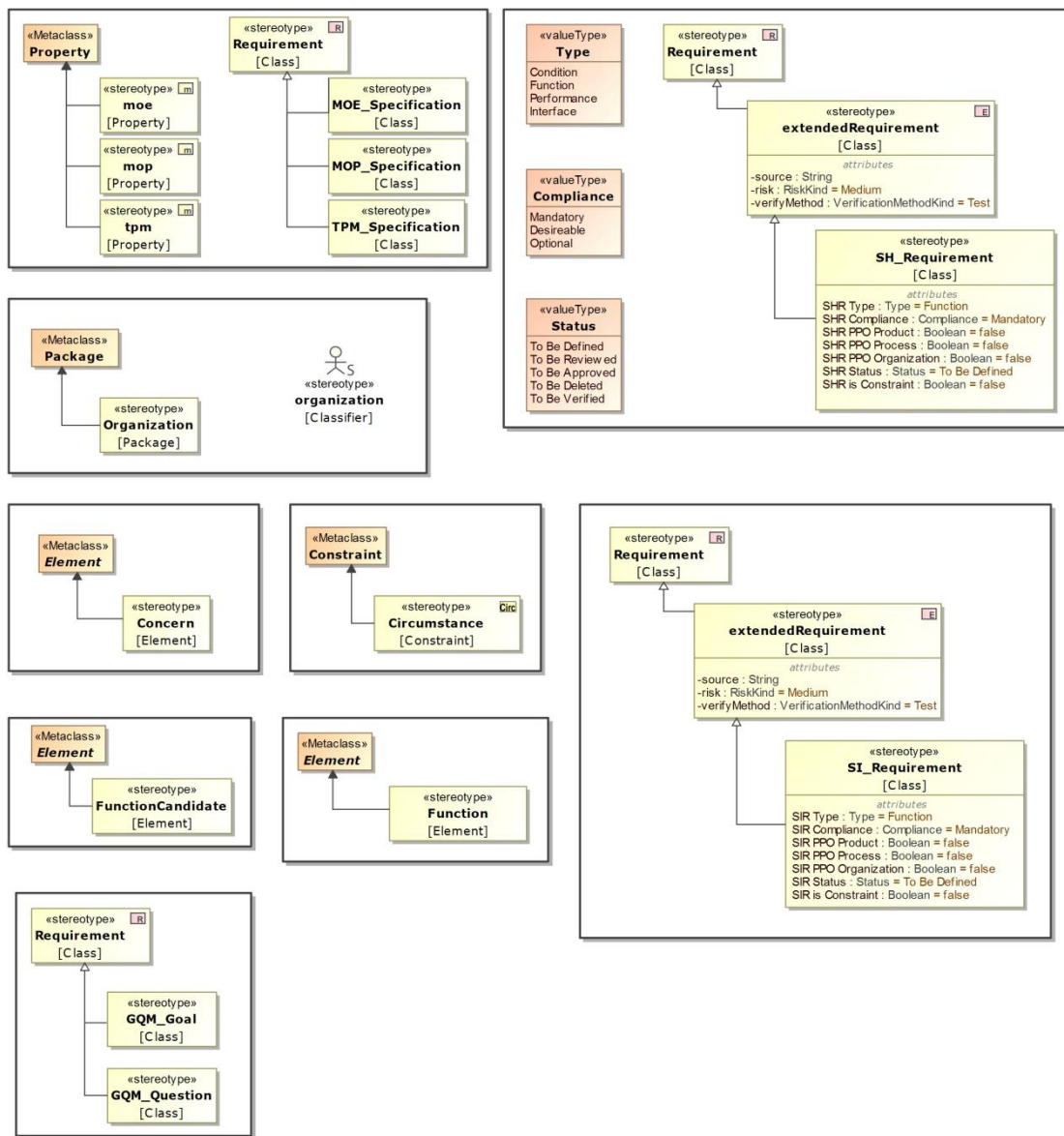
Figura A.2 - Repositório de modelagem “Modelo\_EGSE\_Final” (UMB SCOE) na ferramenta Cameo Systems Modeler.



Fonte: Produção do autor.

# APÊNDICE B - SysML PROFILE MBSE4EGSE COMPLETO

Figura B.1 - SysML profile MBSE4EGSE completo.



Fonte: Produção do autor.

## APÊNDICE C - PUBLICAÇÕES

Este apêndice apresenta as publicações realizadas durante o desenvolvimento desta dissertação, sendo as seguintes:

- **MBSE e SysML APLICADAS AO DESENVOLVIMENTO DE EGSE PARA A MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES DE SATÉLITES - UM CASO PRÁTICO** – artigo apresentado no 10º Workshop de Engenharia e Tecnologias Espaciais (WETE) no INPE, 7 a 9 de Agosto de 2019. A primeira página do artigo pode ser observada na Figura C.1. O *poster* do artigo encontra-se na Figura C.2;
- ***MBSE & SysML Applied to the Development of EGSE for Sattelites Assembly, Integration and Testing (AIT) - A Practical Case*** – artigo publicado no International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS) [Vol-6, Issue-12, Dec- 2019], <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.67> ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O). A primeira página do artigo pode ser observada na Figura C.3.

Figura C.1 - Artigo apresentado em 2019 no 10º WETE.



**X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais**  
7 a 9 de agosto de 2019

## **MBSE e SysML APLICADAS AO DESENVOLVIMENTO DE EGSE PARA A MONTAGEM, INTEGRAÇÃO E TESTES DE SATÉLITES - UM CASO PRÁTICO**

**COICEV, M.<sup>1</sup>, LOUREIRO, G.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Aluno de Mestrado do curso de Eng. e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Professor Doutor do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

[marcelo.coicev@lit.inpe.br](mailto:marcelo.coicev@lit.inpe.br)

---

**Resumo.** *O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de utilização de MBSE e SysML aplicados a um estudo de caso de análise de um componente de um Equipamento de Suporte Elétrico de Solo (EGSE) típico utilizado na Montagem, Integração e Testes (AIT) de satélites. A abordagem visa descrever o fluxo de processos utilizado nas análises, fornecendo um pano de fundo metodológico para a aplicação da notação SysML de forma prática para desenvolvimento de EGSE's.*

---

**Palavras-chave:** Engenharia de Sistemas; Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos; MBSE; SysML; Equipamento de Suporte Elétrico de Solo; EGSE.

### **1. Introdução**

Embora o SysML tenha se tornado nos últimos anos o padrão de fato para MBSE, uma base metodológica de apoio ainda se mostra necessária, já que SysML é apenas uma linguagem gráfica e define um conjunto de diagramas, elementos de modelagem, uma sintaxe e semântica. Como qualquer idioma (formal ou informal), ela pode ser usada de muitas maneiras diferentes, inclusive muitos caminhos inadequados. Mais notavelmente, é possível usar indevidamente a linguagem para criação de modelos não representativos ou mesmo incorretos.

O fluxo dos processos de análise utilizados neste artigo procuram implementar, dentro do possível, a sequência apresentada no Guia de Desenvolvimento Integrado de GSE proposto

Fonte: Coicev, Loureiro (2019).

Figura C.2 - Poster do artigo apresentado em 2019 no 10º WETE.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais  
7 a 9 de agosto de 2019

## MBSE e SysML aplicadas ao desenvolvimento de EGSE para a montagem, integração e testes de satélites - um caso prático

Marcelo de Almeida Coicev, Geilson Loureiro  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
marcelo.coicev@lit.inpe.br

### 1. Introdução

Guia de Desenvolvimento Integrado de GSE [Vintecinq (2017)] → MBSE

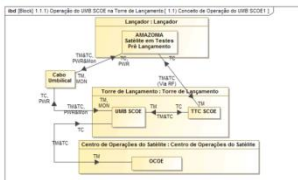
- Subconjunto de adequado de diagramas SysML e artefatos + Semântica + Sequência ao longo do ciclo de vida;

### 2. Metodologia - Abordagem MBSE para o Guia de Desenvolvimento Integrado de GSE

Fase	Subfases	Diagramas SysML	Abordagens de Modelagem
1. Análise de Missão	1.1 - Contexto / Contexto de operação	Diagrama de Tipos (Catalogo de Tipos)	Definição de Tipos (Catalogo de Tipos)
	1.2 - Ciclo de Vida / Contexto de Ciclo de Vida	Diagrama de Blocos Elementares (DBE)	Definição de Blocos Elementares e relacionamentos
2. Análise de requisitos	2.1 - Identificação de requisitos	Diagrama de Casos de Uso	Abstração dos requisitos em Diagramas de Casos de Uso
	2.2 - Priorização de requisitos	Diagrama de Casos de Uso	Definição das prioridades dos requisitos em Diagramas de Casos de Uso
3. Análise de Requisitos	3.1 - Requisitos de arquitetura	Diagrama de Requisitos	Definição dos requisitos de arquitetura em Diagramas de Requisitos
	3.2 - Requisitos de detalhamento	Diagrama de Requisitos	Definição dos requisitos de detalhamento em Diagramas de Requisitos
4. Análise Paramétrica	4.1 - Análise de desempenho	Diagrama Paramétrico	Definição dos parâmetros de desempenho em Diagramas Paramétricos
	4.2 - Análise de confiabilidade	Diagrama Paramétrico	Definição dos parâmetros de confiabilidade em Diagramas Paramétricos

### 3. Estudo de caso - análise do UMB SCOPE

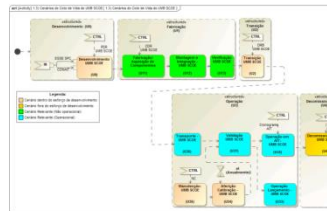
#### 3.1 Análise de missão



#### 3.2 Ciclo de Vida do UMB SCOPE

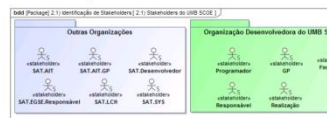


#### 3.3 Cenários do ciclo de vida do UMB SCOPE

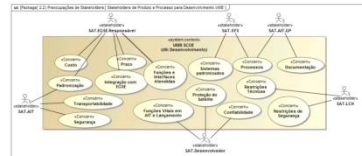


#### 3.4 Análise de stakeholders

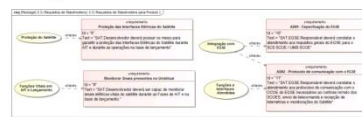
##### 3.4.1 Identificação de stakeholders do UMB SCOPE



#### 3.4.2 Preocupações dos stakeholders do UMB SCOPE



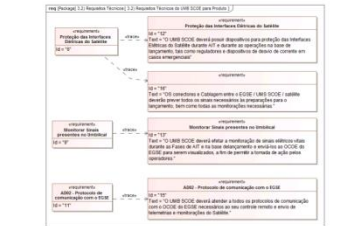
#### 3.4.3 Requisitos de stakeholders do UMB SCOPE



#### 3.4.4 Medidas de efetividade/performance do UMB SCOPE

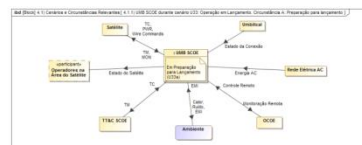
Diagramas paramétricos de SysML → Em Definição

#### 3.5 Análise de requisitos do UMB SCOPE



#### 3.6 Análise funcional do UMB SCOPE

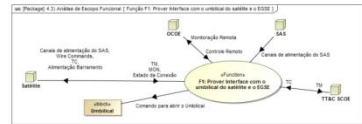
##### 3.6.1 Identificação de fronteiras, interfaces e modelagem de ambiente UMB SCOPE



##### 3.6.2 Definição de funções do UMB SCOPE

#	Nome	Descrição
1	F1: Prover Interface com o umbilical do satélite e o EGSE	UMB SCOPE deve ser interfaceado com o conector umbilical do satélite durante AT e lançamento
2	F2: Proteger o Satélite	Monitorar a propagação de falha e reduzir a gravidade das falhas de falha no satélite e nos sistemas elementares do EGSE
3	F3: Monitorar Sinal	Monitorar sinais vitais do satélite presentes no conector umbilical e sinais importantes no estado do satélite incluindo sinais do EGSE
4	F4: Comandar	Gerar pulso de comando. Agendar para o satélite via cabo umbilical, ou via dispositivo de comunicação (seu) (armazenado em separação)

##### 3.6.3 Análise de escopo das do UMB SCOPE



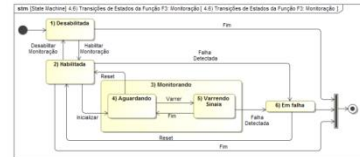
##### 3.6.4 Identificação das interfaces funcionais do UMB SCOPE

SysML semelhante ao gráfico N° → Em Definição

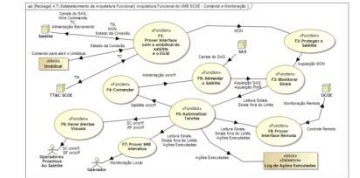
#### 3.6.5 Definição de Estados e Modos do UMB SCOPE

Tabela genérica da SysML

##### 3.6.6 Análise de Comportamento Funcional do UMB SCOPE

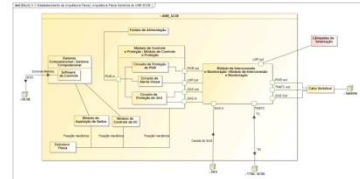


##### 3.6.7 Estabelecimento da Arquitetura Funcional do UMB SCOPE

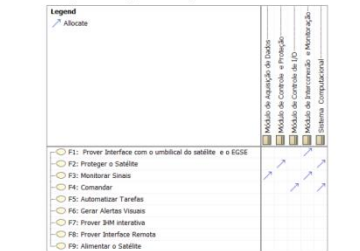


#### 3.8 Análise de Implementação

##### 3.8.1 Estabelecimento da Arquitetura Física do UMB SCOPE



##### 3.8.2 Alocação de Funções da Arquitetura Física do UMB SCOPE



##### 3.8.3 Análises de Trade-Off

Diagramas paramétricos de SysML → Em Definição

#### 4. Conclusão

A utilização de MBSE, por meio da linguagem notacional SysML, apoiada pelo uso de ferramentas de modelagem adequadas permitem cobrir praticamente todo o ciclo de vida de engenharia de sistemas do produto e organizações, obviamente respeitando-se as devidas limitações da própria linguagem e da maturidade de sua utilização e implementações metodológicas que a utilizam.

Ainda Existem dificuldades na aplicação da notação de forma fluida, com relação às abordagens não MBSE utilizadas em frameworks de trabalho anteriores, mas as futuras versões da notação em si, como por exemplo a SysML V2, bem como a sua adoção pelos fornecedores de ferramentas de modelagem podem simplificar e adequar melhor a sua utilização de forma mais ampla.

Fonte: Coicev, Loureiro (2019).

# MBSE & SysML Applied to the Development of EGSE for Sattelites Assembly, Integration and Testing (AIT) - A Practical Case

Marcelo Coicev<sup>1</sup>, Geilson Loureiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Institute for Space Research, INPE, Brazil

Email: marcelo.coicev@lit.inpe.br

<sup>2</sup>National Institute for Space Research, INPE, Brazil

Email: geilson@lit.inpe.br

**Abstract**— This paper targets to present a proposal for the use of MBSE and SysML applied to a case study of the analysis in a component of a typical Electrical Ground Support Equipment (EGSE) used in Satellite Assembly, Integration and Testing (AIT).

The approach aims to describe the process flow used in the analysis, providing a methodological background for the practical application of SysML notation for EGSE's development.

**Keywords**— Systems Engineering; Model Based Systems Engineering; MBSE; SysML; Electrical ground Support Equipment; EGSE.

## I. INTRODUCTION

Although SysML, in recent years, has become the *de facto* standard for MBSE, a supporting methodological basis is still needed, as SysML is just a graphical language and defines a set of diagrams, modeling elements, syntax and semantics. Like any language (formal or informal), it can be used in many different ways, including inappropriate ones. Most notably, it is possible to misuse the language for creating unrepresentative or even incorrect models.

The flow of the analysis processes used in this paper seeks to implement, as much as possible, the sequence presented in the GSE Integrated Development Guide proposed by Vintecinque (2017), respecting the limitations imposed by the SysML notation language and the modeling tool used. (Cameo Systems Modeller).

The added value of the methodology with the MBSE approach consists of:

- To select a suitable subset of SysML diagrams and artifacts to be generated conveniently and pragmatically;
- To define semantics to ensure meaningful diagrams and rules to check the model for consistency;
- To define an obvious sequence of diagrams that ensures modeling efficiency in relation to organizational processes, and is well understood by all stakeholders throughout the life cycle;

## II. METHODOLOGY - MBSE APPROACH TO THE GSE INTEGRATED DEVELOPMENT GUIDE

The process flow that will be used seeks to follow the major process phases of the Total Vision Framework proposed by Loureiro (2010), as shown below, as well as the SysML diagrams that will be used:

Table 1 - Phases of Analysis Processes and Modeling Approach

Phase	Sub phase	SysML Diagrams	Modeling Approach
1. Mission Analysis	1.1 - Context / Concept of Operations	Block Definition Diagram (BDD)	Type Definitions (Parts Catalog)
		Internal Block Diagram (IBD)	Description of Structures (blocks), internal components, relationships and interfaces between Structures.
	1.2 - Life Cycle / Life Cycle Scenarios	Activity Diagram	Definition of the phasing of processes and subprocesses.

## APÊNDICE D - MODELAGEM COMPLETA DO UMB SCOE

Este apêndice apresenta as figuras com a modelagem completa elaborada para o UMB SCOE, que foi utilizado como exemplo de aplicação da abordagem MBSE4EGSE desta dissertação. Foram acrescentados alguns textos explicativos em algumas seções, onde julgou-se necessário.

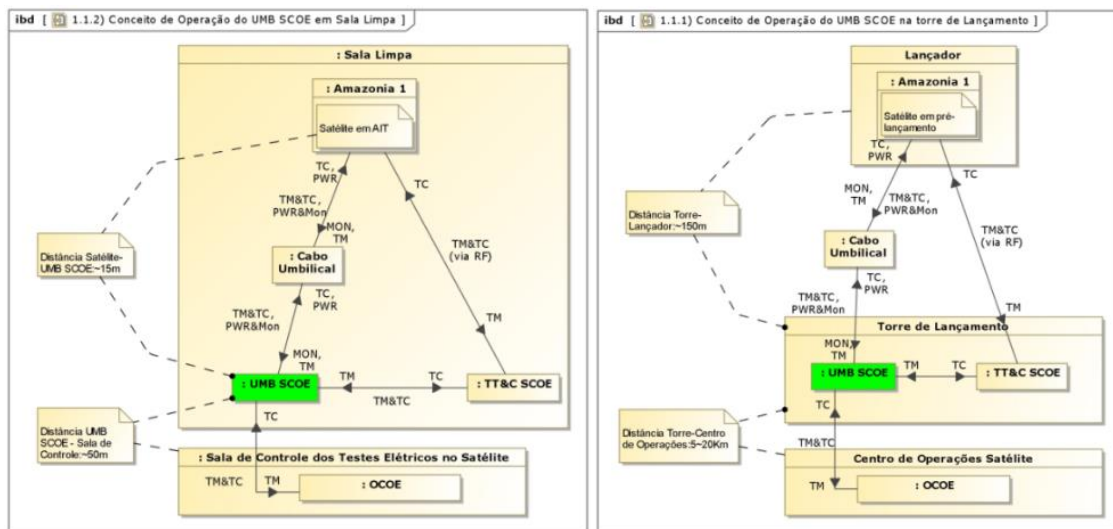
Declaração de Missão:

**“O Umbilical SCOE será o único elemento do EGSE conectado diretamente ao satélite que possibilite operar, alimentar e monitorar seus sinais vitais durante a fases de AIT e lançamento”**  
(Venticinque, 2017)

### D.1 Análise de missão do UMB SCOE

#### D.1.1 Conceito de operação do UMB SCOE

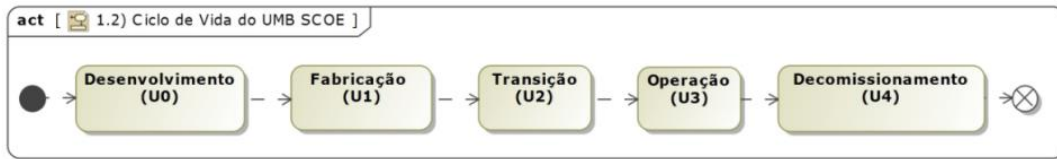
Figura D.1 - Conceito de Operação do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

## D.1.2 Ciclo de vida do UMB SCOE

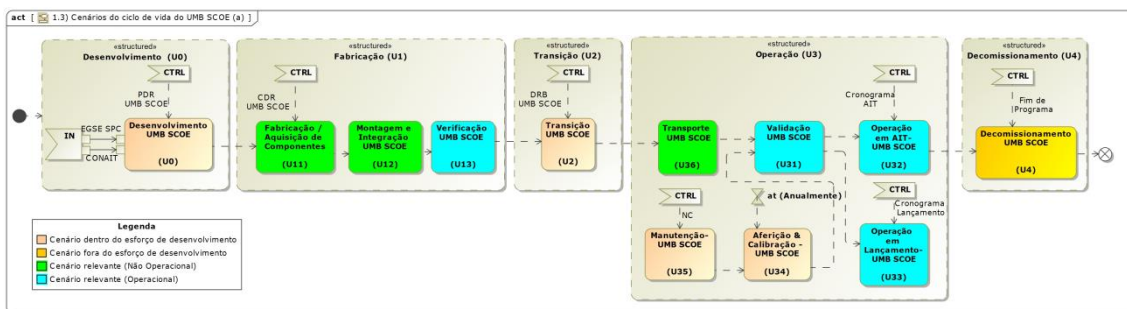
Figura D.2 - Ciclo de vida do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

## D.1.3 Cenários do ciclo de vida do UMB SCOE

Figura D.3 - Cenários do ciclo de vida do UMB SCOE.

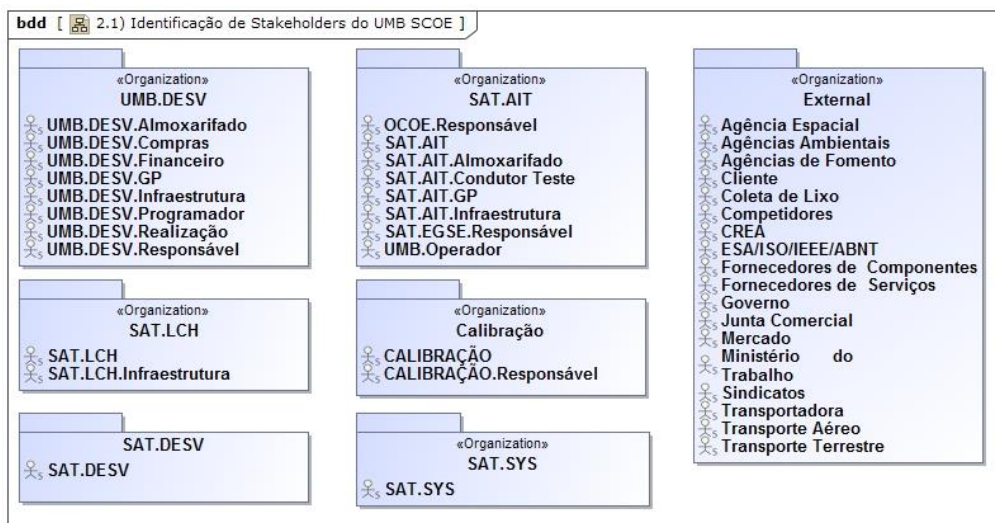


Fonte: Produção do autor.

## D.2 Análise de stakeholders do UMB SCOE

### D.2.1 Identificação dos stakeholders do UMB SCOE

Figura D.4 - Identificação dos stakeholders de produto do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.



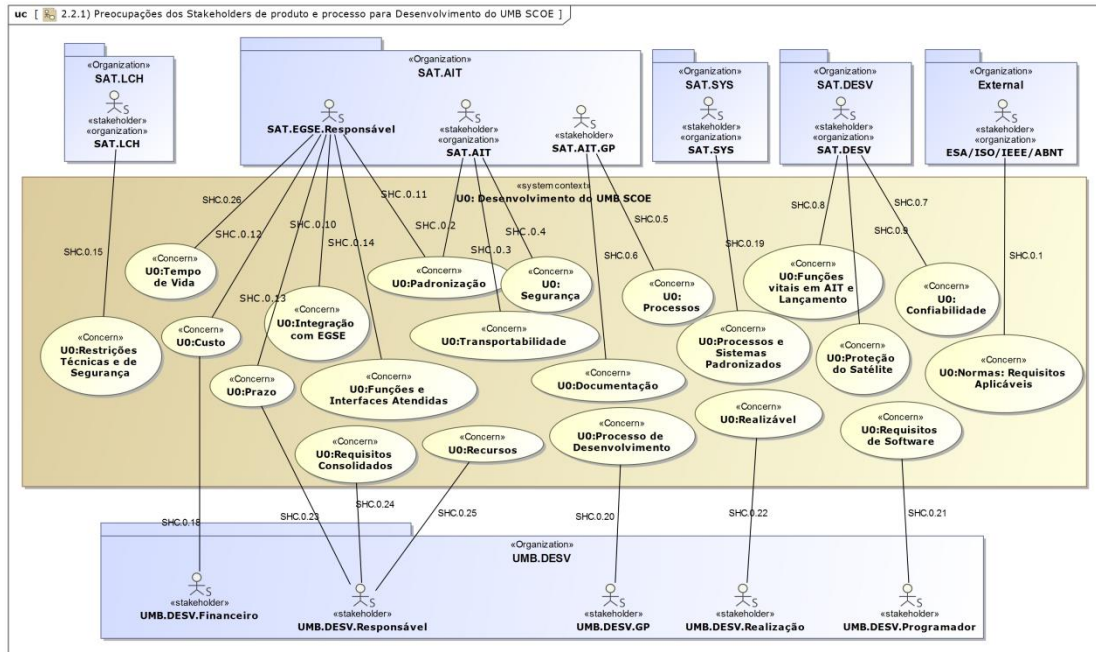
Tabela D.1 - Detalhamento dos *stakeholders* do UMB SCOE (gerada por meio da ferramenta de modelagem).

Legenda: Name = Nome do Stakeholder Applied Stereotype Instance = Tipo de Stakeholder Documentation = Descrição do Stakeholder			
#	△ Name	Applied Stereotype Instance	Documentation
1	Calibração	: Organization	Organização responsável pela calibração de instrumentos eletrônicos
2	CALIBRAÇÃO	: Stakeholder, organization	Organização responsável pela calibração de instrumentos eletrônicos
3	CALIBRAÇÃO.Responsável	: Stakeholder	Responsável pela execução da calibração
4	External	: Organization	Entidades e organizações responsáveis por normas aplicáveis
5	Agência Espacial	: Stakeholder, organization	Agência Espacial Brasileira - AEB, responsável pela política no setor espacial
6	Agências Ambientais	: Stakeholder, organization	Organizações governamentais de regulamentação ambiental
7	Agências de Fomento	: Stakeholder, organization	Agências governamentais ou não governamentais com capacidade de investimento em desenvolvimento
8	Cliente	: Stakeholder, organization	Organizações governamentais de regulamentação ambiental
9	Coleta de Lixo	: Stakeholder, organization	Organização responsável pela coleta de detrito e material resultante dos processos de produção
10	Competidores	: Stakeholder, organization	Outras organizações de desenvolvimento de produtos similares
11	CREA	: Stakeholder, organization	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura - Regulamenta as atividades de engenharia
12	ESA/ISO/IEEE/ABNT	: Stakeholder, organization	Entidades e organizações responsáveis por normas aplicáveis
13	Fornecedores de Componentes	: Stakeholder, organization	Conjunto de organizações fornecedoras de materias, partes e componentes
14	Fornecedores de Serviços	: Stakeholder, organization	Conjunto de organizações fornecedoras de serviços
15	Governo	: Stakeholder, organization	Organização governamental responsável pela recolhimento de impostos e programas de desenvolvimento
16	Junta Comercial	: Stakeholder, organization	Organização de controle de registro de empresas
17	Mercado	: Stakeholder, organization	Pessoas ou organizações com potencial interesse nos produtos desenvolvidos
18	Ministério do Trabalho	: Stakeholder, organization	Ministério do Trabalho
19	Sindicatos	: Stakeholder, organization	Sindicatos dos trabalhadores
20	Transportadora	: Stakeholder, organization	Organização responsável pelo transporte do UMB SCOE
21	Transporte Aéreo	: Stakeholder, organization	Companhia de transporte aéreo
22	Transporte Terrestre	: Stakeholder, organization	Companhia de transporte terrestre
23	SAT.AIT	: Organization	Organização Responsável pela Montagem, Integração e Testes (AIT) do Satélite
24	OCOE.Responsável	: Stakeholder	Responsável pelo OCOE - Overall Checkout Equipment
25	SAT.AIT	: Stakeholder, organization	Organização Responsável pela Montagem, Integração e Testes (AIT) do Satélite
26	SAT.AIT.Almoxarifado	: Stakeholder	Departamento responsável pelo conjunto sobressalentes, acessórios e setups do EGSE
27	SAT.AIT.Condutor Teste	: Stakeholder	Responsável pela operação e testes elétricos no satélite
28	SAT.AIT.GP	: Stakeholder	Responsável pela Garantia de Qualidade da Montagem, Integração e Testes (AIT) do Satélite
29	SAT.AIT.Infraestrutura	: Stakeholder	Infraestrutura para realização das atividades do UMB SCOE durante operação
30	SAT.EGSE.Responsável	: Stakeholder	Responsável pelo EGSE do Satélite
31	UMB.Operador	: Stakeholder	Responsável pela operação do UMB SCOE
32	SAT.DESV	: Organization	
33	SAT.DESV	: Stakeholder, organization	Organização Desenvolvedora do Satélite (Segmento Espacial)
34	SAT.LCH	: Organization	Organização Responsável pelo Lançamento do Satélite
35	SAT.LCH	: Stakeholder, organization	Organização Responsável pelo Lançamento do Satélite
36	SAT.LCH.Infraestrutura	: Stakeholder	Infraestrutura para realização das atividades de lançamento do Satélite
37	SAT.SYS	: Organization	Organização Responsável pelo desenvolvimento do sistema e seus segmentos
38	SAT.SYS	: Stakeholder, organization	Organização Responsável pelo desenvolvimento do sistema e seus segmentos
39	UMB.DESV	: Organization	Organização Desenvolvedora do UMB SCOE
40	UMB.DESV.Almoxarifado	: Stakeholder	Departamento responsável pelas ferramentas (fabricação e montagem) materiais e componentes.
41	UMB.DESV.Compras	: Stakeholder	Departamento responsável pelas compras relativas ao desenvolvimento do UMB SCOE
42	UMB.DESV.Financeiro	: Stakeholder	Responsável pelo financeiro
43	UMB.DESV.GP	: Stakeholder	Garantia de Produto do UMB.DESV
44	UMB.DESV.Infraestrutura	: Stakeholder	Infraestrutura para realização das atividades não operacionais do UMB SCOE
45	UMB.DESV.Programador	: Stakeholder	Responsável pelo desenvolvimento do software do UMB SCOE
46	UMB.DESV.Realização	: Stakeholder	Departamento/Responsável pela fabricação, montagem e testes do UMB SCOE
47	UMB.DESV.Responsável	: Stakeholder	Responsável pelo Desenvolvimento do UMB SCOE

Fonte: Produção do autor.

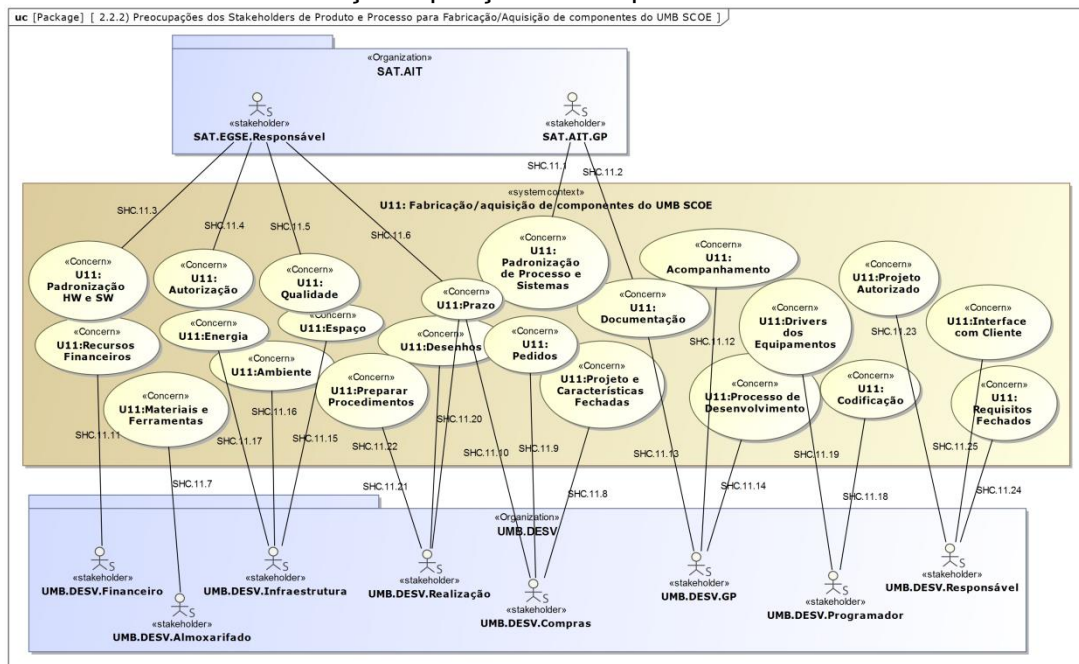
## D.2.2 Preocupações dos stakeholders de produto e processo do UMB SCOE

Figura D.5 - Preocupações dos stakeholders de produto e processo para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE".



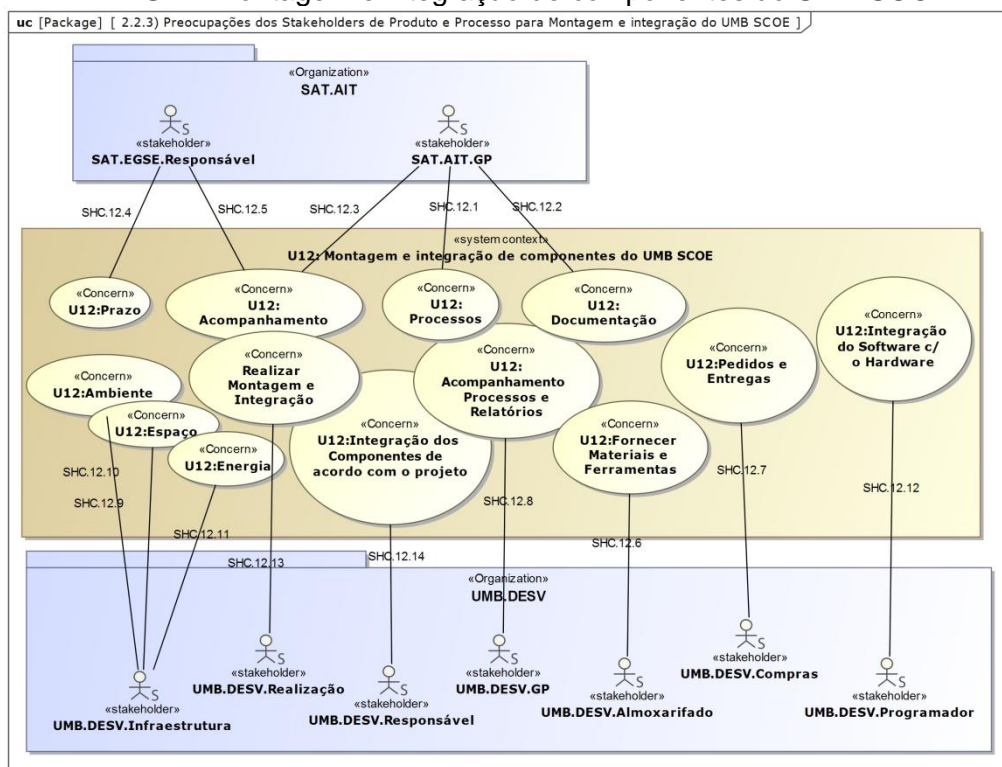
Fonte: Produção do autor.

Figura D.6 - Preocupações dos stakeholders de produto e processo para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE".



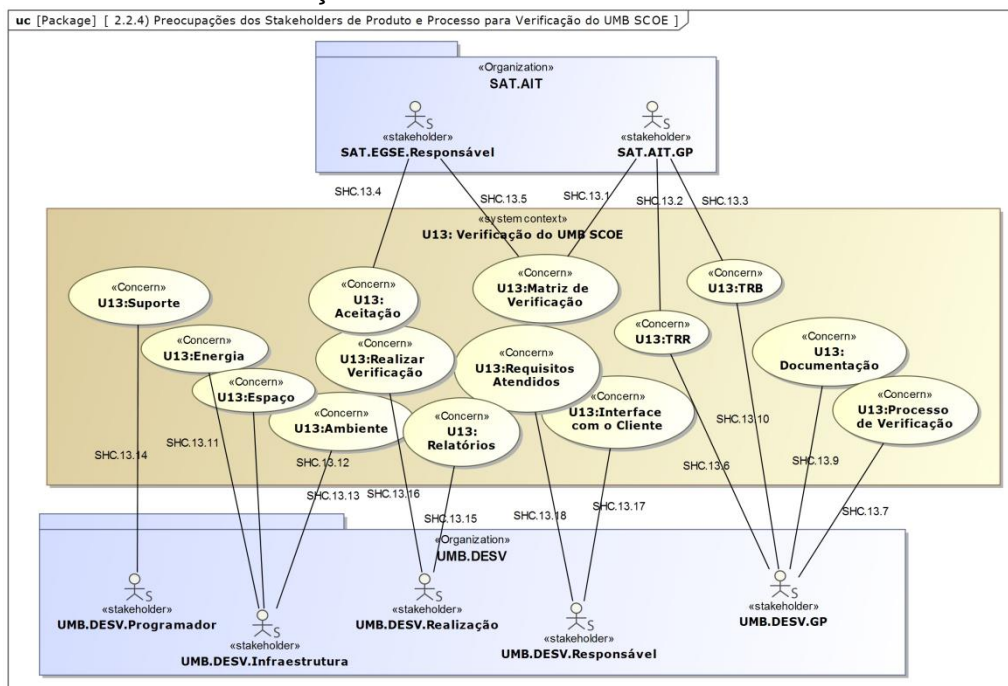
Fonte: Produção do autor.

Figura D.7 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE".



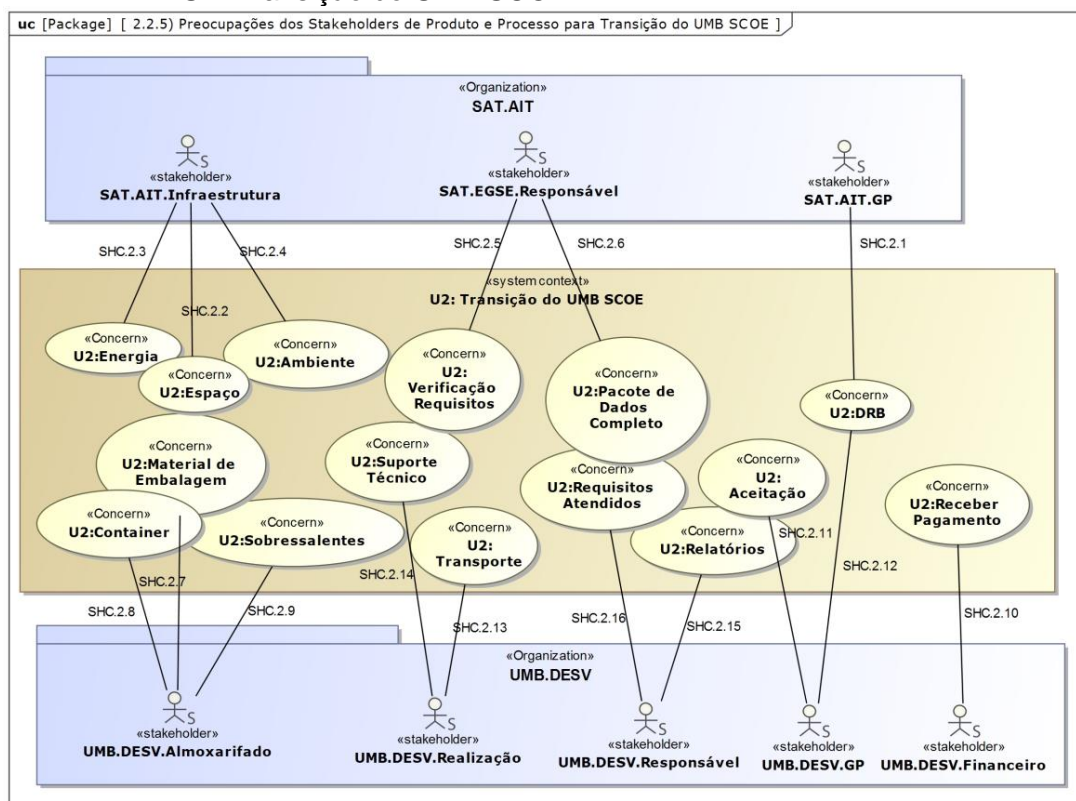
Fonte: Produção do autor.

Figura D.8 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U13: Verificação do UMB SCOE".



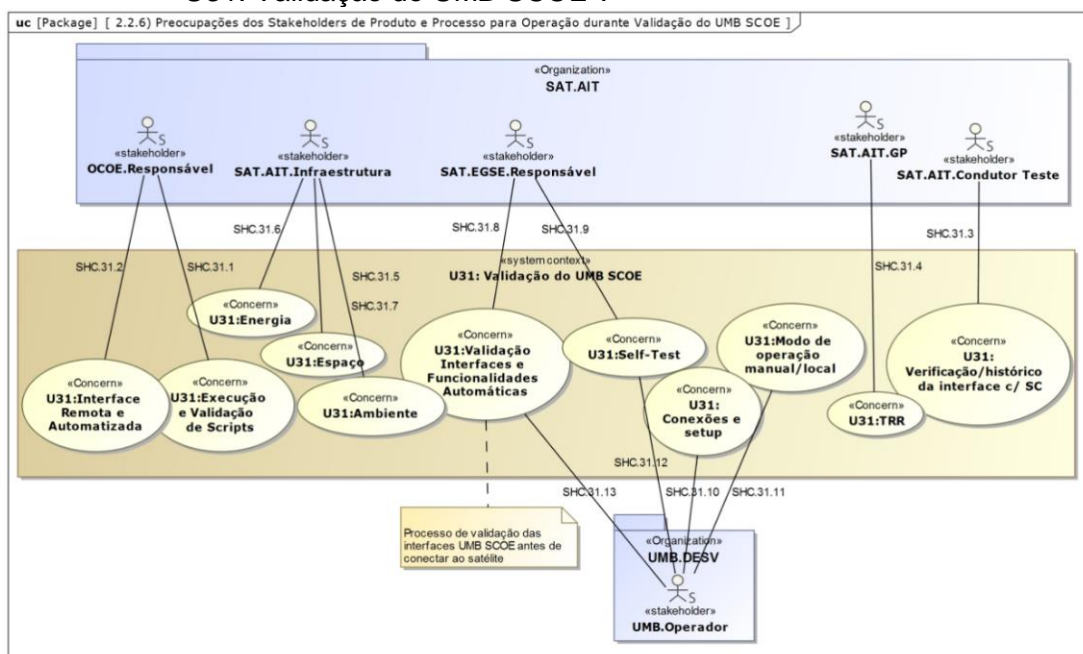
Fonte: Produção do autor.

Figura D.9 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U2: Transição do UMB SCOE".



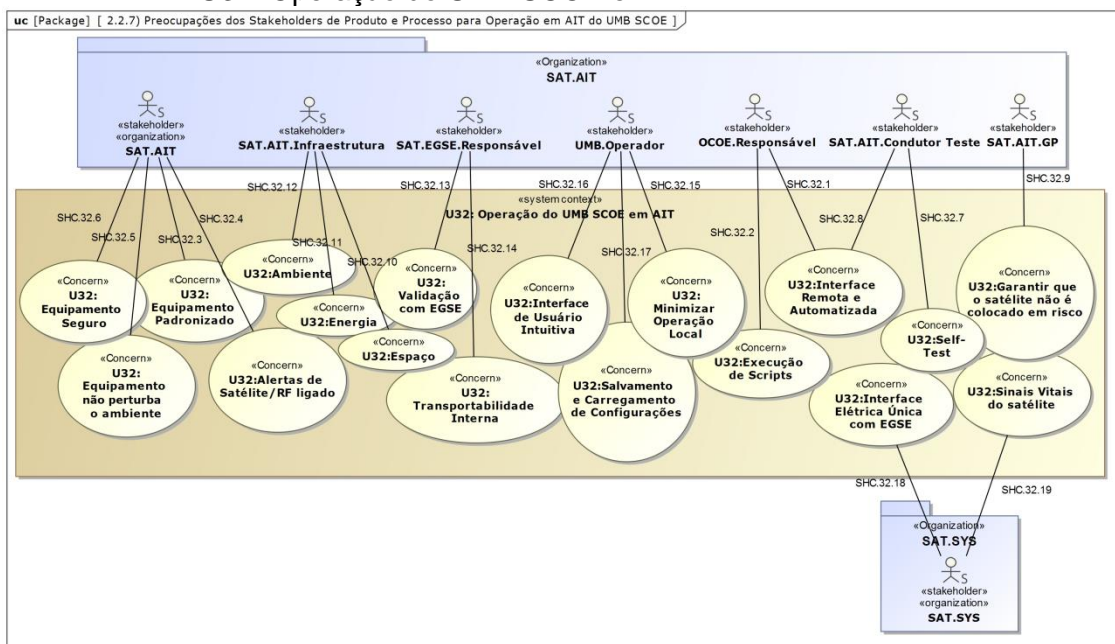
Fonte: Produção do autor.

Figura D.10 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U31: Validação do UMB SCOE".



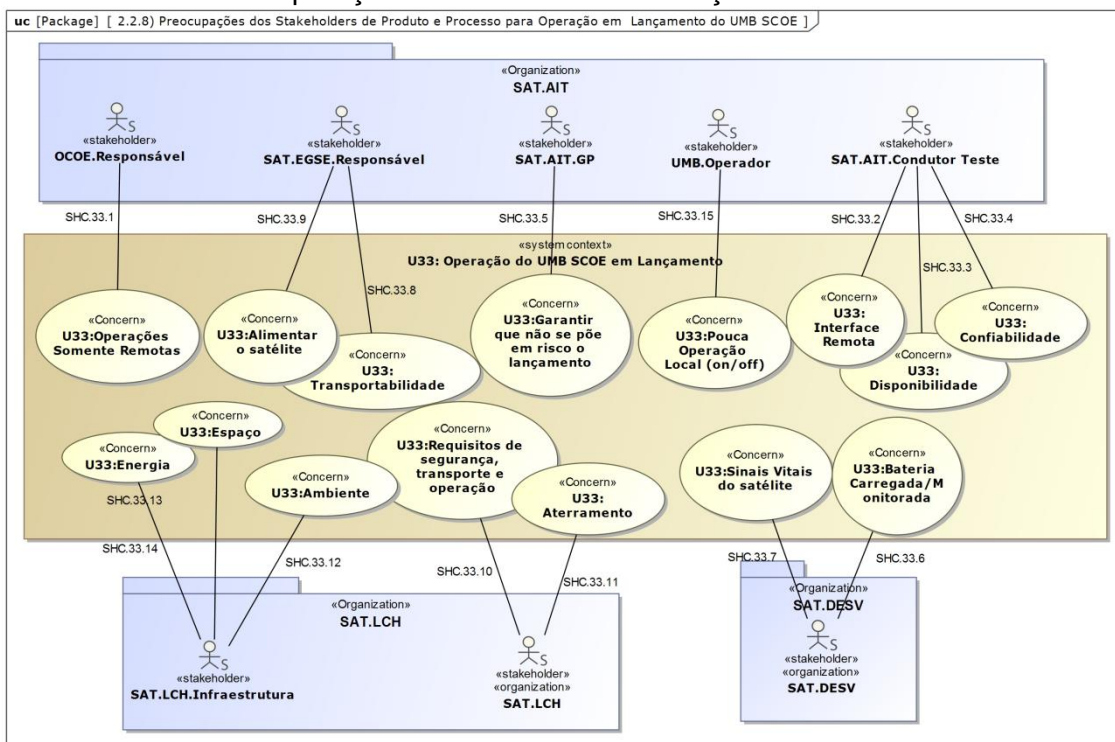
Fonte: Produção do autor.

Figura D.11 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U32: Operação do UMB SCOE em AIT".



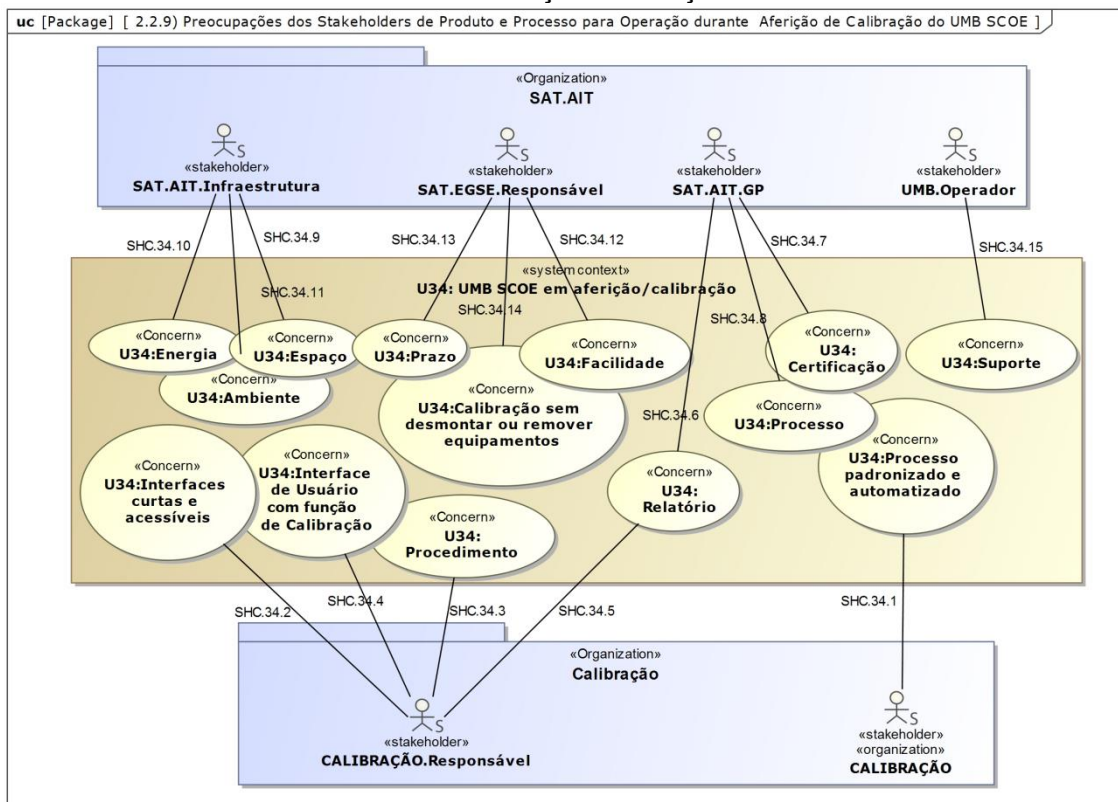
Fonte: Produção do autor.

Figura D.12 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento".



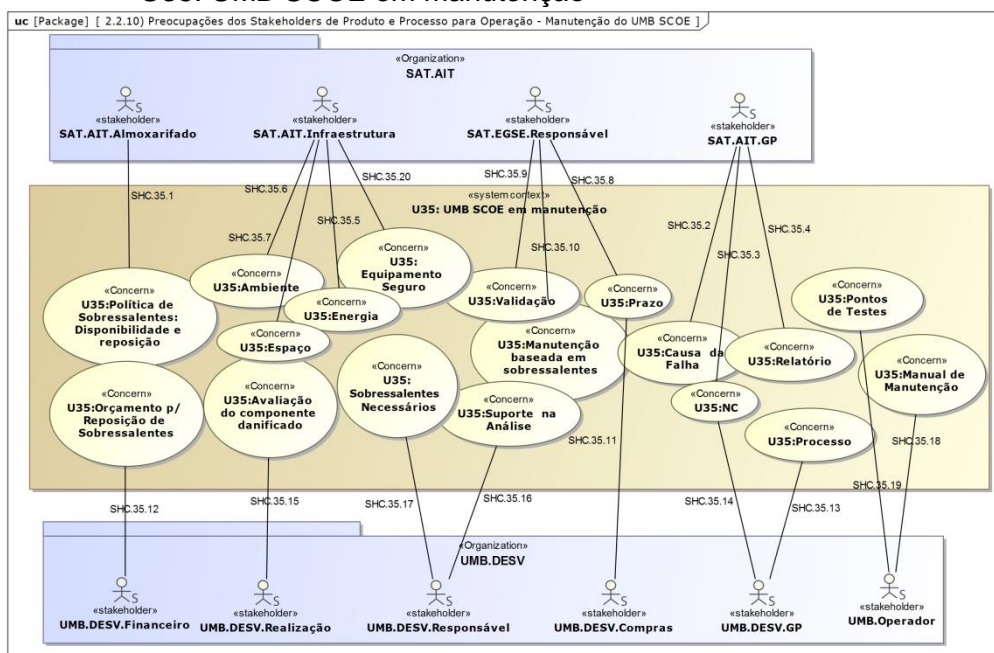
Fonte: Produção do autor.

Figura D.13 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U34: UMB SCOE em aferição/calibração".



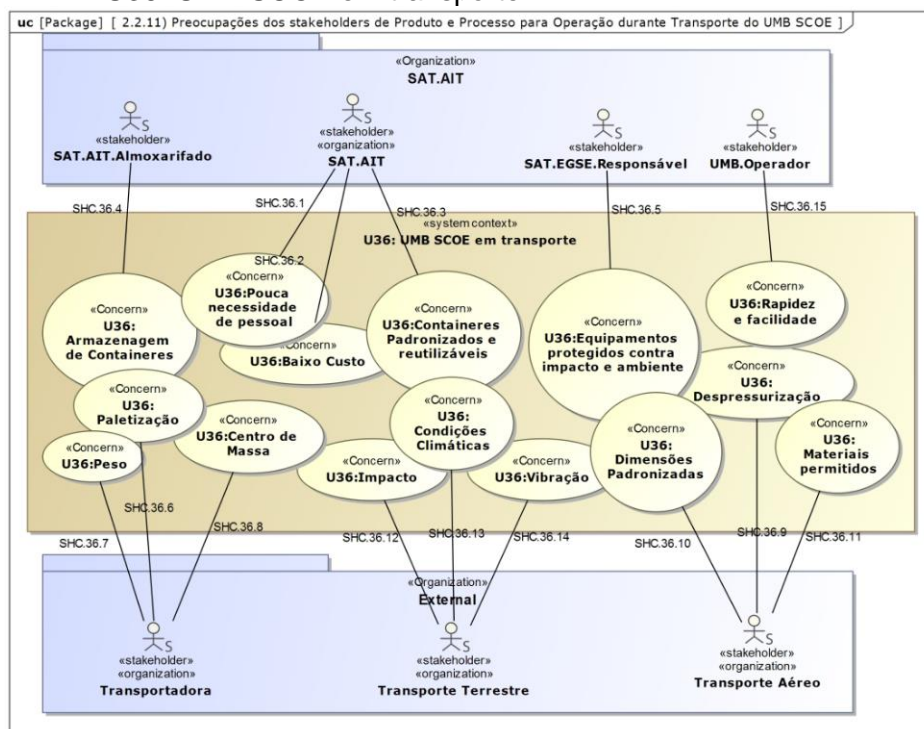
Fonte: Produção do autor.

Figura D.14 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U35: UMB SCOE em manutenção"



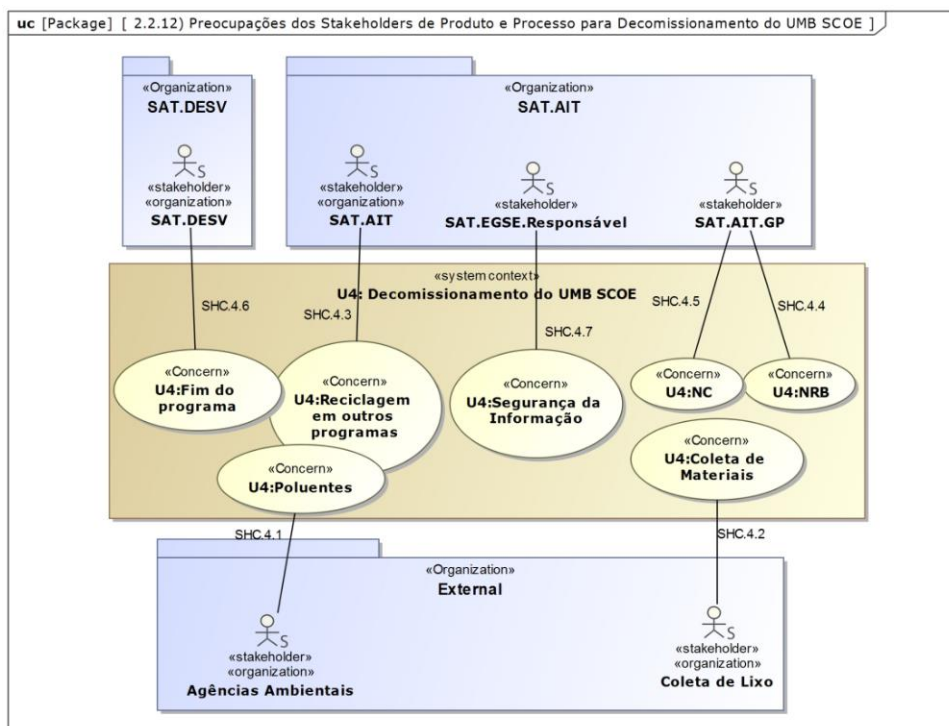
Fonte: Produção do autor.

Figura D.15 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U36: UMB SCOE em transporte".



Fonte: Produção do autor.

Figura D.16 - Preocupações dos *stakeholders* de produto e processo para o cenário "U4: Decomissionamento do UMB SCOE".

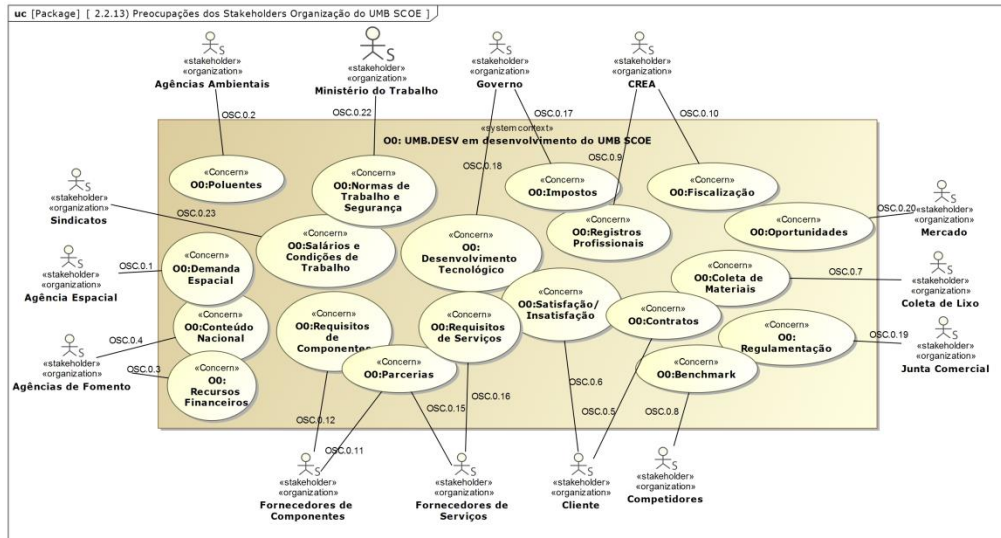


Fonte: Produção do autor.

### D.2.3 Preocupações dos stakeholders de organização do UMB SCOE

A identificação dos stakeholders de organização, bem como de suas preocupações foi feita em conjunto para todos os cenários dentro do esforço de desenvolvimento do UMB SCOE, da mesma forma que foi feito para os stakeholders de produto e processo.

Figura D.17 - Preocupações dos stakeholders de organização do UMB SCOE para o cenário "00: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.



## D.2.4 Lista geral das preocupações dos stakeholders do UMB SCOE

Tabela D.2 - Lista geral das preocupações dos stakeholders (gerada pela ferramenta de modelagem).

#	△ Name	Type (Role A)	Type (Role B)
<b>Legenda:</b> Name = ID da Preocupação Type (Role A) = ID do Stakeholder Type (Role B) = Descrição da Preocupação			
1	☐ [2.2.13] Preocupações dos Stakeholders Organização do UMB SCOE		
2	OSC.0.1	Agência Espacial	O0:Demanda Espacial
3	OSC.0.2	Agências Ambientais	O0:Poluentes
4	OSC.0.3	Agências de Fomento	O0:Recursos Financeiros
5	OSC.0.4	Agências de Fomento	O0:Conteúdo Nacional
6	OSC.0.5	Cliente	O0:Contratos
7	OSC.0.6	Cliente	O0:Satisfação/ Insatisfação
8	OSC.0.7	Coleta de Lixo	O0:Coleta de Materiais
9	OSC.0.8	Competidores	O0:Benchmark
10	OSC.0.9	CREA	O0:Registros Profissionais
11	OSC.0.10	CREA	O0:Fiscalização
12	OSC.0.11	Fornecedores de Componentes	O0:Parcerias
13	OSC.0.12	Fornecedores de Componentes	O0:Requisitos de Componentes
14	OSC.0.15	Fornecedores de Serviços	O0:Parcerias
15	OSC.0.16	Fornecedores de Serviços	O0:Requisitos de Serviços
16	OSC.0.17	Governo	O0:Impostos
17	OSC.0.18	Governo	O0:Desenvolvimento Tecnológico
18	OSC.0.19	Junta Comercial	O0:Regulamentação
19	OSC.0.20	Mercado	O0:Oportunidades
20	OSC.0.21	Sindicatos	O0:Salários e Condições de Trabalho
21	OSC.0.22	Ministério do Trabalho	O0:Normas de Trabalho e Segurança
22	☐ U0: Desenvolvimento do UMB SCOE [2.2.1] Preocupações dos Stakeholders de produto e processo para Desenvolvimento do UMB SCOE]		
23	SHC.0.1	ESA/ISO/IEEE/ABNT	U0:Normas: Requisitos Aplicáveis
24	SHC.0.2	SAT.AIT	U0:Padronização
25	SHC.0.3	SAT.AIT	U0:Transportabilidade
26	SHC.0.4	SAT.AIT	U0:Segurança
27	SHC.0.5	SAT.AIT.GP	U0:Processos
28	SHC.0.6	SAT.AIT.GP	U0:Documentação
29	SHC.0.7	SAT.DESV	U0:Confiabilidade
30	SHC.0.8	SAT.DESV	U0:Funções vitais em AIT e Lançamento
31	SHC.0.9	SAT.DESV	U0:Proteção do Satélite
32	SHC.0.10	SAT.EGSE.Responsável	U0:Integração com EGSE
33	SHC.0.11	SAT.EGSE.Responsável	U0:Padronização
34	SHC.0.12	SAT.EGSE.Responsável	U0:Custo
35	SHC.0.13	SAT.EGSE.Responsável	U0:Prazo
36	SHC.0.14	SAT.EGSE.Responsável	U0:Funções e Interfaces Atendidas
37	SHC.0.15	SAT.LCH	U0:Restrições Técnicas e de Segurança
38	SHC.0.18	UMB.DESV.Financeiro	U0:Custo
39	SHC.0.19	SAT.SYS	U0:Processos e Sistemas Padronizados
40	SHC.0.20	UMB.DESV.GP	U0:Processo de Desenvolvimento
41	SHC.0.21	UMB.DESV.Programador	U0:Requisitos de Software
42	SHC.0.22	UMB.DESV.Realização	U0:Realizável
43	SHC.0.23	UMB.DESV.Responsável	U0:Prazo
44	SHC.0.24	UMB.DESV.Responsável	U0:Requisitos Consolidados
45	SHC.0.25	UMB.DESV.Responsável	U0:Recursos
46	SHC.0.26	SAT.EGSE.Responsável	U0:Tempo de Vida
47	☐ U2: Transição do UMB SCOE [2.2.5] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Transição do UMB SCOE]		
48	SHC.2.1	SAT.AIT.GP	U2:DRB
49	SHC.2.2	SAT.AIT.Infraestrutura	U2:Espaço
50	SHC.2.3	SAT.AIT.Infraestrutura	U2:Energia
51	SHC.2.4	SAT.AIT.Infraestrutura	U2:Ambiente
52	SHC.2.5	SAT.EGSE.Responsável	U2:Verificação Requisitos
53	SHC.2.6	SAT.EGSE.Responsável	U2:Pacote de Dados Completo
54	SHC.2.7	UMB.DESV.Almoxarifado	U2:Material de Embalagem
55	SHC.2.8	UMB.DESV.Almoxarifado	U2:Container
56	SHC.2.9	UMB.DESV.Almoxarifado	U2:Sobressalentes
57	SHC.2.10	UMB.DESV.Financeiro	U2:Receber Pagamento
58	SHC.2.11	UMB.DESV.GP	U2:Aceitação
59	SHC.2.12	UMB.DESV.GP	U2:DRB
60	SHC.2.13	UMB.DESV.Realização	U2:Transporte
61	SHC.2.14	UMB.DESV.Realização	U2:Suporte Técnico
62	SHC.2.15	UMB.DESV.Responsável	U2:Relatórios
63	SHC.2.16	UMB.DESV.Responsável	U2:Requisitos Atendidos

<b>Legenda:</b> Name = ID da Preocupação Type (Role A) = ID do Stakeholder Type (Role B) = Descrição da Preocupação			
#	△ Name	Type (Role A)	Type (Role B)
64	<input type="checkbox"/> U4: Decomissionamento do UMB SCOE [2.2.12] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Decomissionamento do UMB SCOE]		
65	✓ SHC.4.1	0 SAT.3 Agências Ambientais	0 U4:Poluentes
66	✓ SHC.4.2	0 SAT.3 Coleta de Lixo	0 U4:Coleta de Materiais
67	✓ SHC.4.3	0 SAT.3 SAT.AIT	0 U4:Reciclagem em outros programas
68	✓ SHC.4.4	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U4:NRB
69	✓ SHC.4.5	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U4:NC
70	✓ SHC.4.6	0 SAT.3 SAT.DESV	0 U4:Fim do programa
71	✓ SHC.4.7	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U4:Segurança da Informação
72	<input type="checkbox"/> U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE [2.2.2] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Fabricação/Aquisição de componentes do UMB SCOE]		
73	✓ SHC.11.1	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U11:Padronização de Processo e Sistemas
74	✓ SHC.11.2	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U11:Documentação
75	✓ SHC.11.3	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U11:Padronização HW e SW
76	✓ SHC.11.4	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U11:Autorização
77	✓ SHC.11.5	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U11:Qualidade
78	✓ SHC.11.6	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U11:Prazo
79	✓ SHC.11.7	0 UMB.DESV.Almoxarifado	0 U11:Materials e Ferramentas
80	✓ SHC.11.8	0 UMB.DESV.Compras	0 U11:Projeto e Características Fechadas
81	✓ SHC.11.9	0 UMB.DESV.Compras	0 U11:Pedidos
82	✓ SHC.11.10	0 UMB.DESV.Compras	0 U11:Prazo
83	✓ SHC.11.11	0 UMB.DESV.Financeiro	0 U11:Recursos Financeiros
84	✓ SHC.11.12	0 UMB.DESV.GP	0 U11:Acompanhamento
85	✓ SHC.11.13	0 UMB.DESV.GP	0 U11:Documentação
86	✓ SHC.11.14	0 UMB.DESV.GP	0 U11:Processo de Desenvolvimento
87	✓ SHC.11.15	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U11:Espaço
88	✓ SHC.11.16	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U11:Ambiente
89	✓ SHC.11.17	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U11:Energia
90	✓ SHC.11.18	0 UMB.DESV.Programador	0 U11:Codificação
91	✓ SHC.11.19	0 UMB.DESV.Programador	0 U11:Drivers dos Equipamentos
92	✓ SHC.11.20	0 UMB.DESV.Realização	0 U11:Prazo
93	✓ SHC.11.21	0 UMB.DESV.Realização	0 U11:Preparar Procedimentos
94	✓ SHC.11.22	0 UMB.DESV.Realização	0 U11:Desenhos
95	✓ SHC.11.23	0 UMB.DESV.Responsável	0 U11:Projeto Autorizado
96	✓ SHC.11.24	0 UMB.DESV.Responsável	0 U11:Requisitos Fechados
97	✓ SHC.11.25	0 UMB.DESV.Responsável	0 U11:Interface com Cliente
98	<input type="checkbox"/> U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE [2.2.3] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Montagem e integração do UMB SCOE]		
99	✓ SHC.12.1	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U12:Processos
100	✓ SHC.12.2	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U12:Documentação
101	✓ SHC.12.3	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U12:Acompanhamento
102	✓ SHC.12.4	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U12:Prazo
103	✓ SHC.12.5	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U12:Acompanhamento
104	✓ SHC.12.6	0 UMB.DESV.Almoxarifado	0 U12:Fornecer Materiais e Ferramentas
105	✓ SHC.12.7	0 UMB.DESV.Compras	0 U12:Pedidos e Entregas
106	✓ SHC.12.8	0 UMB.DESV.GP	0 U12:Acompanhamento Processos e Relatórios
107	✓ SHC.12.9	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U12:Espaço
108	✓ SHC.12.10	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U12:Ambiente
109	✓ SHC.12.11	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U12:Energia
110	✓ SHC.12.12	0 UMB.DESV.Programador	0 U12:Integração do Software c/ o Hardware
111	✓ SHC.12.13	0 UMB.DESV.Realização	0 U12:Realizar Montagem e Integração
112	✓ SHC.12.14	0 UMB.DESV.Responsável	0 U12:Integração dos Componentes de acordo com o projeto
113	<input type="checkbox"/> U13: Verificação do UMB SCOE [2.2.4] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Verificação do UMB SCOE]		
114	✓ SHC.13.1	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U13:Matriz de Verificação
115	✓ SHC.13.2	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U13:TRR
116	✓ SHC.13.3	0 SAT.3 SAT.AIT.GP	0 U13:TRB
117	✓ SHC.13.4	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U13:Aceitação
118	✓ SHC.13.5	0 SAT.3 SAT.EGSE.Responsável	0 U13:Matriz de Verificação
119	✓ SHC.13.6	0 UMB.DESV.GP	0 U13:TRR
120	✓ SHC.13.7	0 UMB.DESV.GP	0 U13:Processo de Verificação
121	✓ SHC.13.9	0 UMB.DESV.GP	0 U13:Documentação
122	✓ SHC.13.10	0 UMB.DESV.GP	0 U13:TRB
123	✓ SHC.13.11	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U13:Energia
124	✓ SHC.13.12	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U13:Espaço
125	✓ SHC.13.13	0 UMB.DESV.Infraestrutura	0 U13:Ambiente
126	✓ SHC.13.14	0 UMB.DESV.Programador	0 U13:Suporte
127	✓ SHC.13.15	0 UMB.DESV.Realização	0 U13:Relatórios
128	✓ SHC.13.16	0 UMB.DESV.Realização	0 U13:Realizar Verificação

<b>Legenda:</b> Name = ID da Preocupação Type (Role A) = ID do Stakeholder Type (Role B) = Descrição da Preocupação			
#	△ Name	Type (Role A)	Type (Role B)
129	✓ SHC.13.17	U3 UMB.DESV.Responsável	U13:Interface com o Cliente
130	✓ SHC.13.18	U3 UMB.DESV.Responsável	U13:Requisitos Atendidos
131	U31: Validação do UMB SCOE [2.2.6] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Operação durante Validação do UMB SCOE]		
132	✓ SHC.31.1	U3 OCOE.Responsável	U31:Execução e Validação de Scripts
133	✓ SHC.31.2	U3 OCOE.Responsável	U31:Interface Remota e Automatizada
134	✓ SHC.31.3	U3 SAT.AIT.Condutor Teste	U31:Verificação/histórico da interface c/ SC
135	✓ SHC.31.4	U3 SAT.AIT.GP	U31:TRR
136	✓ SHC.31.5	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U31:Espaço
137	✓ SHC.31.6	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U31:Energia
138	✓ SHC.31.7	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U31:Ambiente
139	✓ SHC.31.8	U3 SAT.EGSE.Responsável	U31:Validação Interfaces e Funcionalidades Automáticas
140	✓ SHC.31.9	U3 SAT.EGSE.Responsável	U31:Self-Test
141	✓ SHC.31.10	U3 UMB.Operador	U31:Conexões e setup
142	✓ SHC.31.11	U3 UMB.Operador	U31:Modo de operação manual/local
143	✓ SHC.31.12	U3 UMB.Operador	U31:Self-Test
144	✓ SHC.31.13	U3 UMB.Operador	U31:Validação Interfaces e Funcionalidades Automáticas
145	U32: Operação do UMB SCOE em AIT [2.2.7] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Operação em AIT do UMB SCOE]		
146	✓ SHC.32.1	U3 OCOE.Responsável	U32:Interface Remota e Automatizada
147	✓ SHC.32.2	U3 OCOE.Responsável	U32:Execução de Scripts
148	✓ SHC.32.3	U3 SAT.AIT	U32:Equipamento Padronizado
149	✓ SHC.32.4	U3 SAT.AIT	U32:Alertas de Satélite/RF ligado
150	✓ SHC.32.5	U3 SAT.AIT	U32:Equipamento não perturba o ambiente
151	✓ SHC.32.6	U3 SAT.AIT	U32:Equipamento Seguro
152	✓ SHC.32.7	U3 SAT.AIT.Condutor Teste	U32:Self-Test
153	✓ SHC.32.8	U3 SAT.AIT.Condutor Teste	U32:Interface Remota e Automatizada
154	✓ SHC.32.9	U3 SAT.AIT.GP	U32:Garantir que o satélite não é colocado em risco
155	✓ SHC.32.10	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U32:Espaço
156	✓ SHC.32.11	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U32:Energia
157	✓ SHC.32.12	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U32:Ambiente
158	✓ SHC.32.13	U3 SAT.EGSE.Responsável	U32:Validação com EGSE
159	✓ SHC.32.14	U3 SAT.EGSE.Responsável	U32:Transportabilidade Interna
160	✓ SHC.32.15	U3 UMB.Operador	U32:Minimizar Operação Local
161	✓ SHC.32.16	U3 UMB.Operador	U32:Interface de Usuário Intuitiva
162	✓ SHC.32.17	U3 UMB.Operador	U32:Salvamento e Carregamento de Configurações
163	✓ SHC.32.18	U3 SAT.SYS	U32:Interface Elétrica Única com EGSE
164	✓ SHC.32.19	U3 SAT.SYS	U32:Sinais Vitais do satélite
165	U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento [2.2.8] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Operação em Lançamento do UMB SCOE]		
166	✓ SHC.33.1	U3 OCOE.Responsável	U33:Operações Somente Remotas
167	✓ SHC.33.2	U3 SAT.AIT.Condutor Teste	U33:Interface Remota
168	✓ SHC.33.3	U3 SAT.AIT.Condutor Teste	U33:Disponibilidade
169	✓ SHC.33.4	U3 SAT.AIT.Condutor Teste	U33:Confiabilidade
170	✓ SHC.33.5	U3 SAT.AIT.GP	U33:Garantir que não se põe em risco o lançamento
171	✓ SHC.33.6	U3 SAT.DESV	U33:Bateria Carregada/Monitorada
172	✓ SHC.33.7	U3 SAT.DESV	U33:Sinais Vitais do satélite
173	✓ SHC.33.8	U3 SAT.EGSE.Responsável	U33:Transportabilidade
174	✓ SHC.33.9	U3 SAT.EGSE.Responsável	U33:Alimentar o satélite
175	✓ SHC.33.10	U3 SAT.LCH	U33:Requisitos de segurança, transporte e operação
176	✓ SHC.33.11	U3 SAT.LCH	U33:Atterramento
177	✓ SHC.33.12	U3 SAT.LCH.Infraestrutura	U33:Ambiente
178	✓ SHC.33.13	U3 SAT.LCH.Infraestrutura	U33:Espaço
179	✓ SHC.33.14	U3 SAT.LCH.Infraestrutura	U33:Energia
180	✓ SHC.33.15	U3 UMB.Operador	U33:Pouca Operação Local (on/off)
181	U34: UMB SCOE em aferição/calibração [2.2.9] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Operação durante Aferição de Calibração do UMB SCOE]		
182	✓ SHC.34.1	U3 CALIBRAÇÃO	U34:Processo padronizado e automatizado
183	✓ SHC.34.2	U3 CALIBRAÇÃO.Responsável	U34:Interfaces curtas e acessíveis
184	✓ SHC.34.3	U3 CALIBRAÇÃO.Responsável	U34:Procedimento
185	✓ SHC.34.4	U3 CALIBRAÇÃO.Responsável	U34:Interface de Usuário com função de Calibração
186	✓ SHC.34.5	U3 CALIBRAÇÃO.Responsável	U34:Relatório
187	✓ SHC.34.6	U3 SAT.AIT.GP	U34:Relatório
188	✓ SHC.34.7	U3 SAT.AIT.GP	U34:Certificação
189	✓ SHC.34.8	U3 SAT.AIT.GP	U34:Processo
190	✓ SHC.34.9	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U34:Espaço
191	✓ SHC.34.10	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U34:Energia
192	✓ SHC.34.11	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U34:Ambiente

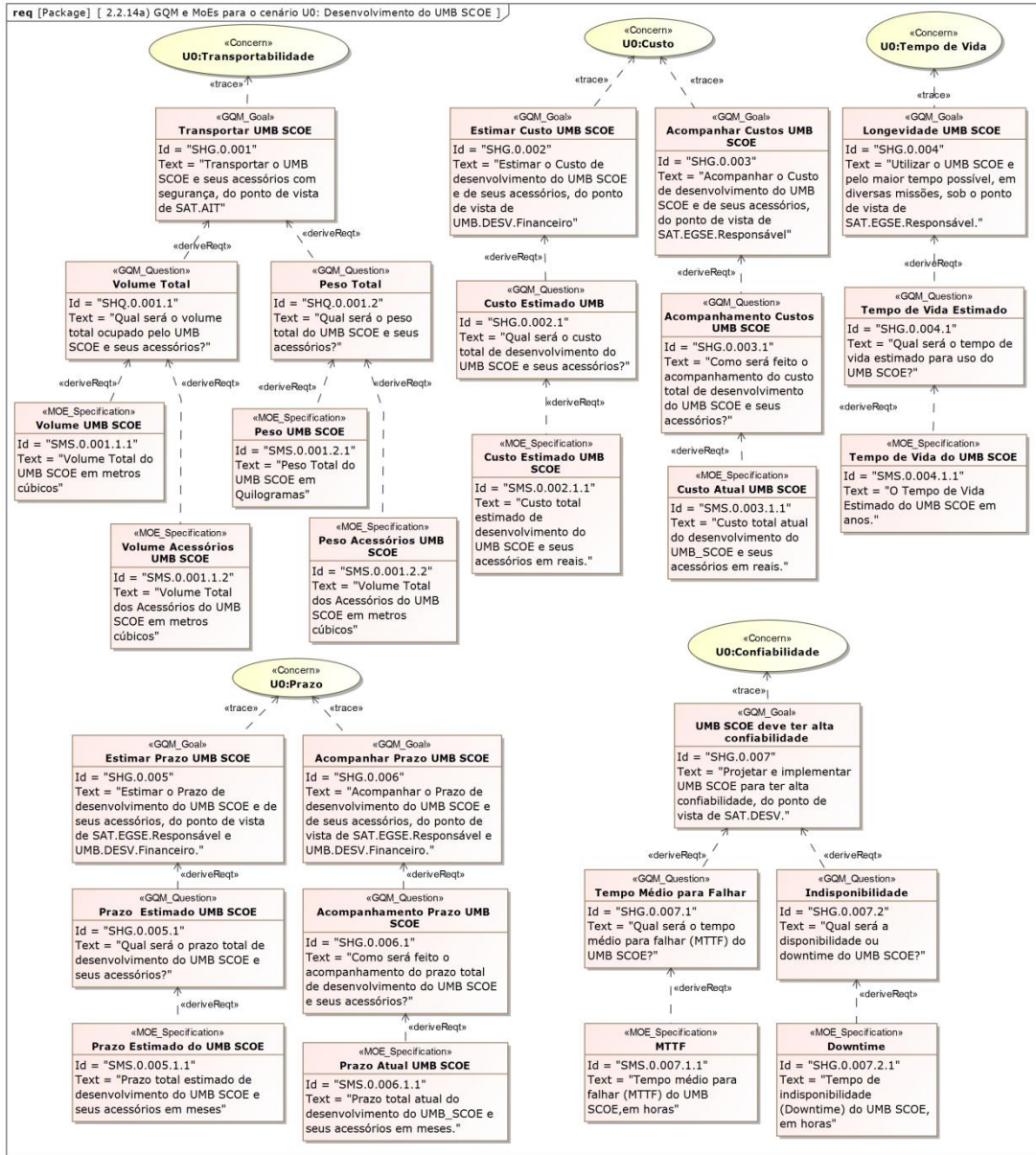
Legenda: Name = ID da Preocupação Type (Role A) = ID do Stakeholder Type (Role B) = Descrição da Preocupação			
#	△ Name	Type (Role A)	Type (Role B)
193	/ SHC.34.12	U3 SAT.EGSE.Responsável	U34:Facilidade
194	/ SHC.34.13	U3 SAT.EGSE.Responsável	U34:Prazo
195	/ SHC.34.14	U3 SAT.EGSE.Responsável	U34:Calibração sem desmontar ou remover equipamentos
196	/ SHC.34.15	U3 UMB.Operador	U34:Suporte
197	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> U35: UMB SCOE em manutenção [2.2.10] Preocupações dos Stakeholders de Produto e Processo para Operação - Manutenção do UMB SCOE]		
198	/ SHC.35.1	U3 SAT.AIT.Almoxarifado	U35:Política de Sobressalentes: Disponibilidade e reposição
199	/ SHC.35.2	U3 SAT.AIT.GP	U35:Causa da Falha
200	/ SHC.35.3	U3 SAT.AIT.GP	U35:NC
201	/ SHC.35.4	U3 SAT.AIT.GP	U35:Relatório
202	/ SHC.35.5	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U35:Energia
203	/ SHC.35.6	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U35:Ambiente
204	/ SHC.35.7	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U35:Espaço
205	/ SHC.35.8	U3 SAT.EGSE.Responsável	U35:Prazo
206	/ SHC.35.9	U3 SAT.EGSE.Responsável	U35:Validação
207	/ SHC.35.10	U3 SAT.EGSE.Responsável	U35:Manutenção baseada em sobressalentes
208	/ SHC.35.11	U3 UMB.DESV.Compras	U35:Prazo
209	/ SHC.35.12	U3 UMB.DESV.Financeiro	U35:Orçamento p/ Reposição de Sobressalentes
210	/ SHC.35.13	U3 UMB.DESV.GP	U35:Processo
211	/ SHC.35.14	U3 UMB.DESV.GP	U35:NC
212	/ SHC.35.15	U3 UMB.DESV.Realização	U35:Avaliação do componente danificado
213	/ SHC.35.16	U3 UMB.DESV.Responsável	U35:Suporte na Análise
214	/ SHC.35.17	U3 UMB.DESV.Responsável	U35:Sobressalentes Necessários
215	/ SHC.35.18	U3 UMB.Operador	U35:Pontos de Testes
216	/ SHC.35.19	U3 UMB.Operador	U35:Manual de Manutenção
217	/ SHC.35.20	U3 SAT.AIT.Infraestrutura	U35:Equipamento Seguro
218	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> U36: UMB SCOE em transporte [2.2.11] Preocupações dos stakeholders de Produto e Processo para Operação durante Transporte do UMB SCOE]		
219	/ SHC.36.1	U3 SAT.AIT	U36:Pouca necessidade de pessoal
220	/ SHC.36.2	U3 SAT.AIT	U36:Baixo Custo
221	/ SHC.36.3	U3 SAT.AIT	U36:Containers Padronizados e reutilizáveis
222	/ SHC.36.4	U3 SAT.AIT.Almoxarifado	U36:Armazenagem de Containers
223	/ SHC.36.5	U3 SAT.EGSE.Responsável	U36:Equipamentos protegidos contra impacto e ambiente
224	/ SHC.36.6	U3 Transportadora	U36:Paletização
225	/ SHC.36.7	U3 Transportadora	U36:Peso
226	/ SHC.36.8	U3 Transportadora	U36:Centro de Massa
227	/ SHC.36.9	U3 Transporte Aéreo	U36:Despressurização
228	/ SHC.36.10	U3 Transporte Aéreo	U36:Dimensões Padronizadas
229	/ SHC.36.11	U3 Transporte Aéreo	U36:Materiais permitidos
230	/ SHC.36.12	U3 Transporte Terrestre	U36:Impacto
231	/ SHC.36.13	U3 Transporte Terrestre	U36:Condições Climáticas
232	/ SHC.36.14	U3 Transporte Terrestre	U36:Vibração
233	/ SHC.36.15	U3 UMB.Operador	U36:Rapidez e facilidade

Fonte: Produção do autor.

## D.2.5 Medidas de efetividade / desempenho do UMB SCOE

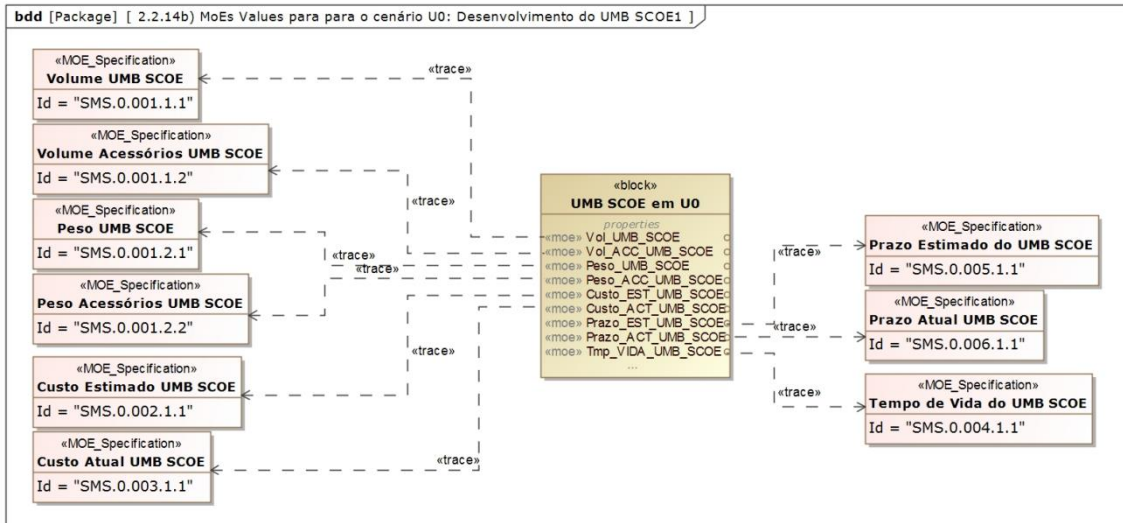
### D.2.5.1 MoEs para o cenário U0: desenvolvimento do UMB SCOE

Figura D.18 - Análise GQM e MoEs para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

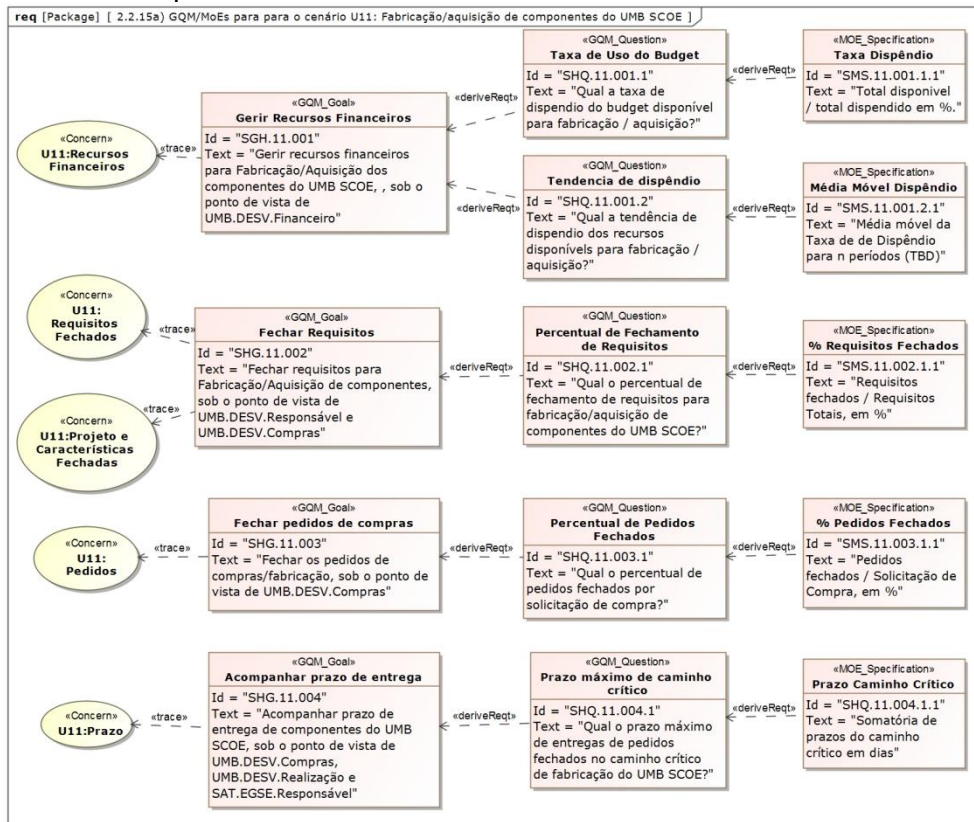
Figura D.19 - MoEs Values para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE"



Fonte: Produção do autor.

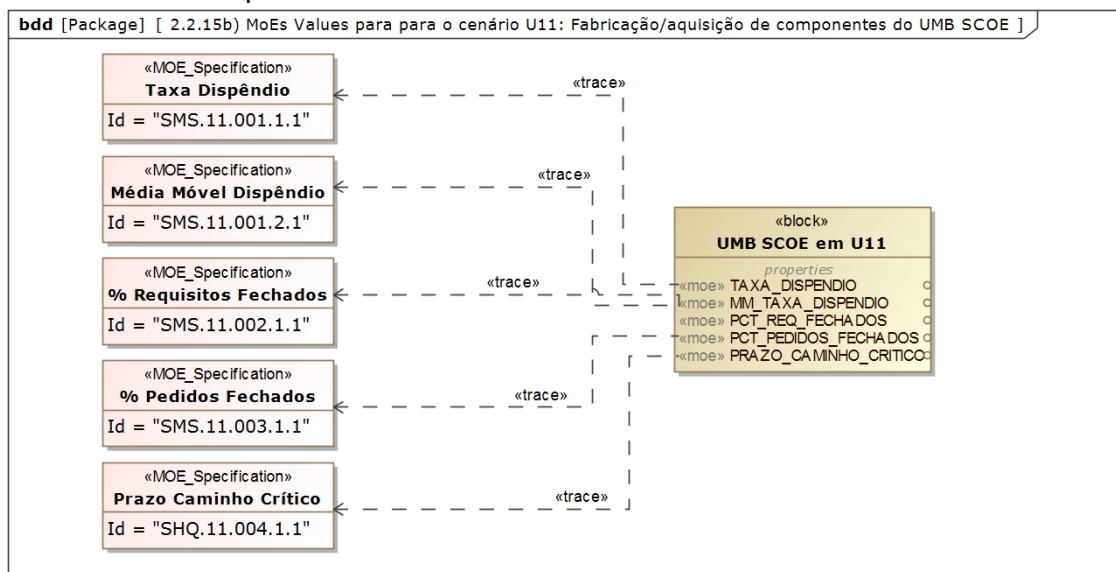
### D.2.5.2 MoEs para para o cenário U11: fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE

Figura D.20 - Análise GQM para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE"



Fonte: Produção do autor.

Figura D.21 - MoEs Values para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE"



Fonte: Produção do autor.

Tabela D.3 - Lista Consolidada de QGM/MoEs

#	△ Name	Id	Traced To	Applied Stereotype	Text
1	2.2b) Medidas de Efetividade				
2	2.2.14) QGM/MoEs para para o cenário U0: Desenvolvimento do UMB SCOE				
3	Acompanhar Custos UMB SCOE	SHG.0.003	U0:Custo	«>> GQM_Goal [Class]	Acompanhar o Custo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável
4	Acompanhamento Custos UMB SCOE	SHG.0.003.1		«>> GQM_Question [Class]	Como será feito o acompanhamento do custo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
5	Custo Atual UMB SCOE	SMS.0.003.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Custo total atual do desenvolvimento do UMB_SCOE e seus acessórios em reais.
6	Acompanhar Prazo UMB SCOE	SHG.0.006	U0:Prazo	«>> GQM_Goal [Class]	Acompanhar o Prazo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável e UMB.DESV.Financeiro.
7	Acompanhamento Prazo UMB SCOE	SHG.0.006.1		«>> GQM_Question [Class]	Como será feito o acompanhamento do prazo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
8	Prazo Atual UMB SCOE	SMS.0.006.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Prazo total atual do desenvolvimento do UMB_SCOE e seus acessórios em meses.
9	Estimar Custo UMB SCOE	SHG.0.002	U0:Custo	«>> GQM_Goal [Class]	Estimar o Custo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de UMB.DESV.Financeiro
10	Custo Estimado UMB	SHG.0.002.1		«>> GQM_Question [Class]	Qual será o custo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
11	Custo Estimado UMB SCOE	SMS.0.002.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Custo total estimado de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios em reais.
12	Estimar Prazo UMB SCOE	SHG.0.005	U0:Prazo	«>> GQM_Goal [Class]	Estimar o Prazo de desenvolvimento do UMB SCOE e de seus acessórios, do ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável e UMB.DESV.Financeiro.
13	Prazo Estimado UMB SCOE	SHG.0.005.1		«>> GQM_Question [Class]	Qual será o prazo total de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios?
14	Prazo Estimado do UMB SCOE	SMS.0.005.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	Prazo total estimado de desenvolvimento do UMB SCOE e seus acessórios em meses
15	Longevidade UMB SCOE	SHG.0.004	U0:Tempo de Vida	«>> GQM_Goal [Class]	Utilizar o UMB SCOE e pelo maior tempo possível, em diversas missões, sob o ponto de vista de SAT.EGSE.Responsável.
16	Tempo de Vida Estimado	SHG.0.004.1		«>> GQM_Question [Class]	Qual será o tempo de vida estimado para uso do UMB SCOE?
17	Tempo de Vida do UMB SCOE	SMS.0.004.1.1		«>> MOE_Specification [Class]	O Tempo de Vida Estimado do UMB SCOE em anc

#	△ Name	Id	Traced To	Applied Stereotype	Text
18	Transportar UMB SCOE	SHG.0.001	U0:Transportabilidade	GQM_Goal [Class]	Transportar o UMB SCOE e seus acessórios com segurança, do ponto de vista de SAT.AIT
19	Peso Total	SHQ.0.001.2		GQM_Question [Class]	Qual será o peso total do UMB SCOE e seus acessórios?
20	Peso Acessórios UMB SCOE	SMS.0.001.2.2		MOE_Specification [Class]	Volume Total dos Acessórios do UMB SCOE em metros cúbicos
21	Peso UMB SCOE	SMS.0.001.2.1		MOE_Specification [Class]	Peso Total do UMB SCOE em Quilogramas
22	Volume Total	SHQ.0.001.1		GQM_Question [Class]	Qual será o volume total ocupado pelo UMB SCOE e seus acessórios?
23	Volume Acessórios UMB SCOE	SMS.0.001.1.2		MOE_Specification [Class]	Volume Total dos Acessórios do UMB SCOE em metros cúbicos
24	Volume UMB SCOE	SMS.0.001.1.1		MOE_Specification [Class]	Volume Total do UMB SCOE em metros cúbicos
25	UMB SCOE deve ter alta confiabilidade	SHG.0.007	U0:Confiabilidade	GQM_Goal [Class]	Projetar e implementar UMB SCOE para ter alta confiabilidade, do ponto de vista de SAT.DESV.
26	Indisponibilidade	SHG.0.007.2		GQM_Question [Class]	Qual será a disponibilidade ou downtime do UMB SCOE?
27	Downtime	SHG.0.007.2.1		MOE_Specification [Class]	Tempo de indisponibilidade (Downtime) do UMB SCOE, em horas
28	Tempo Médio para Falhar	SHG.0.007.1		GQM_Question [Class]	Qual será o tempo médio para falhar (MTTF) do UMB SCOE?
29	MTTF	SMS.0.007.1.1		MOE_Specification [Class]	Tempo médio para falhar (MTTF) do UMB SCOE, em horas
30	2.2.15) GQM/MoEs para para o cenário U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE				
31	Acompanhar prazo de entrega	SHG.11.004	U11:Prazo	GQM_Goal [Class]	Acompanhar prazo de entrega de componentes do UMB SCOE, sob o ponto de vista de UMB.DESV.Compras, UMB.DESV.Realização e SAT.EGSE.Responsável
32	Prazo máximo de caminho crítico	SHQ.11.004.1		GQM_Question [Class]	Qual o prazo máximo de entregas de pedidos fechados no caminho crítico de fabricação do UMB SCOE?
33	Prazo Caminho Crítico	SHQ.11.004.1.1		MOE_Specification [Class]	Somatória de prazos do caminho crítico em dias
34	Fechar pedidos de compras	SHG.11.003	U11:Pedidos	GQM_Goal [Class]	Fechar os pedidos de compras/fabricação, sob o ponto de vista de UMB.DESV.Compras
35	Percentual de Pedidos Fechados	SHQ.11.003.1		GQM_Question [Class]	Qual o percentual de pedidos fechados por solicitação de compra?
36	% Pedidos Fechados	SMS.11.003.1.1		MOE_Specification [Class]	Pedidos fechados / Solicitação de Compra, em %
37	Fechar Requisitos	SHG.11.002	U11:Requisitos Fechados U11:Projeto e Características Fechadas	GQM_Goal [Class]	Fechar requisitos para Fabricação/Aquisição de componentes, sob o ponto de vista de UMB.DESV.Responsável e UMB.DESV.Compras
38	Percentual de Fechamento de Requisitos	SHQ.11.002.1		GQM_Question [Class]	Qual o percentual de fechamento de requisitos para fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE?
39	% Requisitos Fechados	SMS.11.002.1.1		MOE_Specification [Class]	Requisitos fechados / Requisitos Totais, em %
40	Gerir Recursos Financeiros	SGH.11.001	U11:Recursos Financeiros	GQM_Goal [Class]	Gerir recursos financeiros para Fabricação/Aquisição dos componentes do UMB SCOE, sob o ponto de vista de UMB.DESV.Financeiro
41	Taxa de Uso do Budget	SHQ.11.001.1		GQM_Question [Class]	Qual a taxa de dispêndio do budget disponível para fabricação / aquisição?
42	Taxa Dispêndio	SMS.11.001.1.1		MOE_Specification [Class]	Total disponível / total dispêndio em %.
43	Tendencia de dispêndio	SHQ.11.001.2		GQM_Question [Class]	Qual a tendência de dispêndio dos recursos disponíveis para fabricação / aquisição?
44	Média Móvel Dispêndio	SMS.11.001.2.1		MOE_Specification [Class]	Média móvel da Taxa de de Dispêndio para n períodos (TBD)

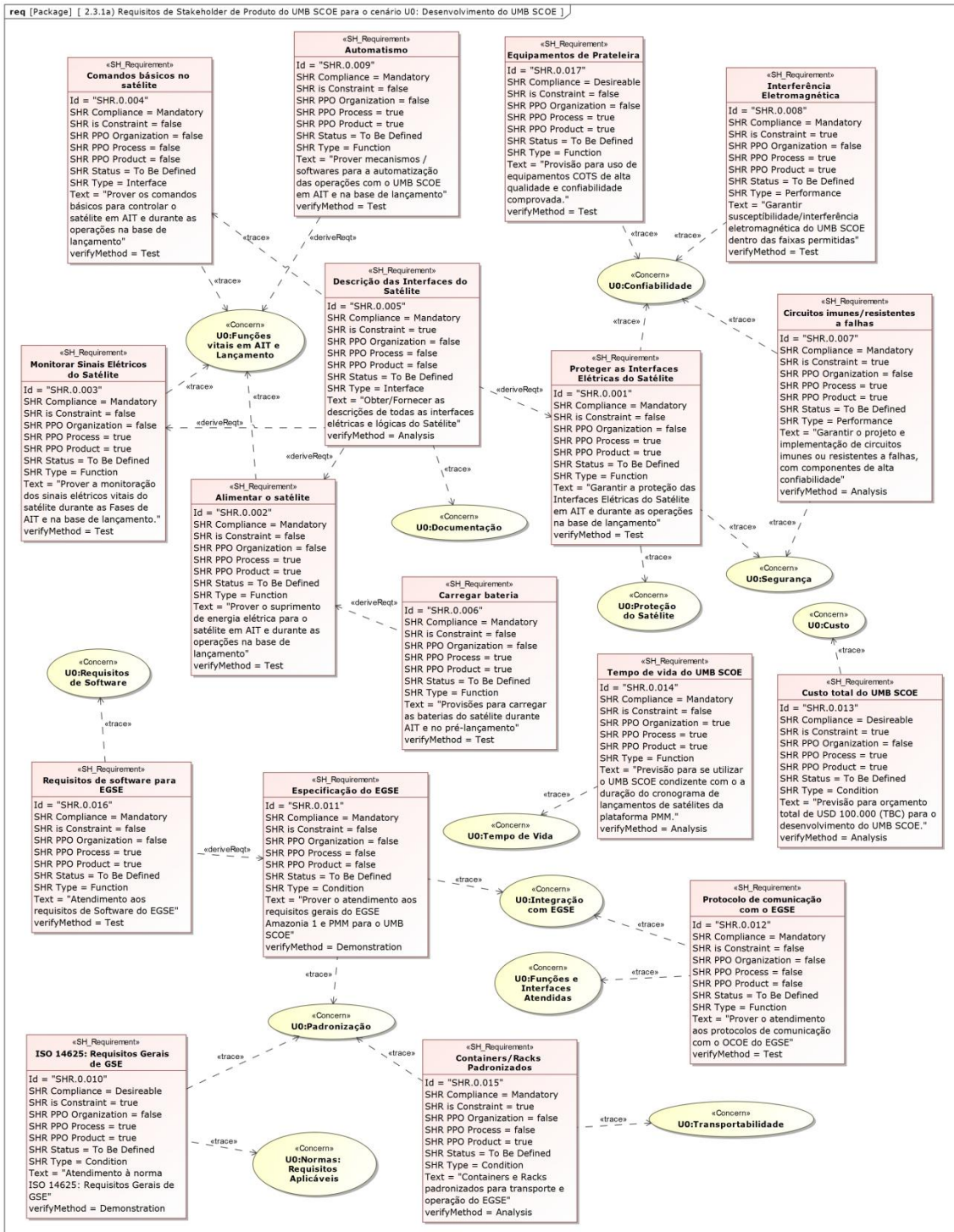
Fonte: Produção do autor.



## D.2.6 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE

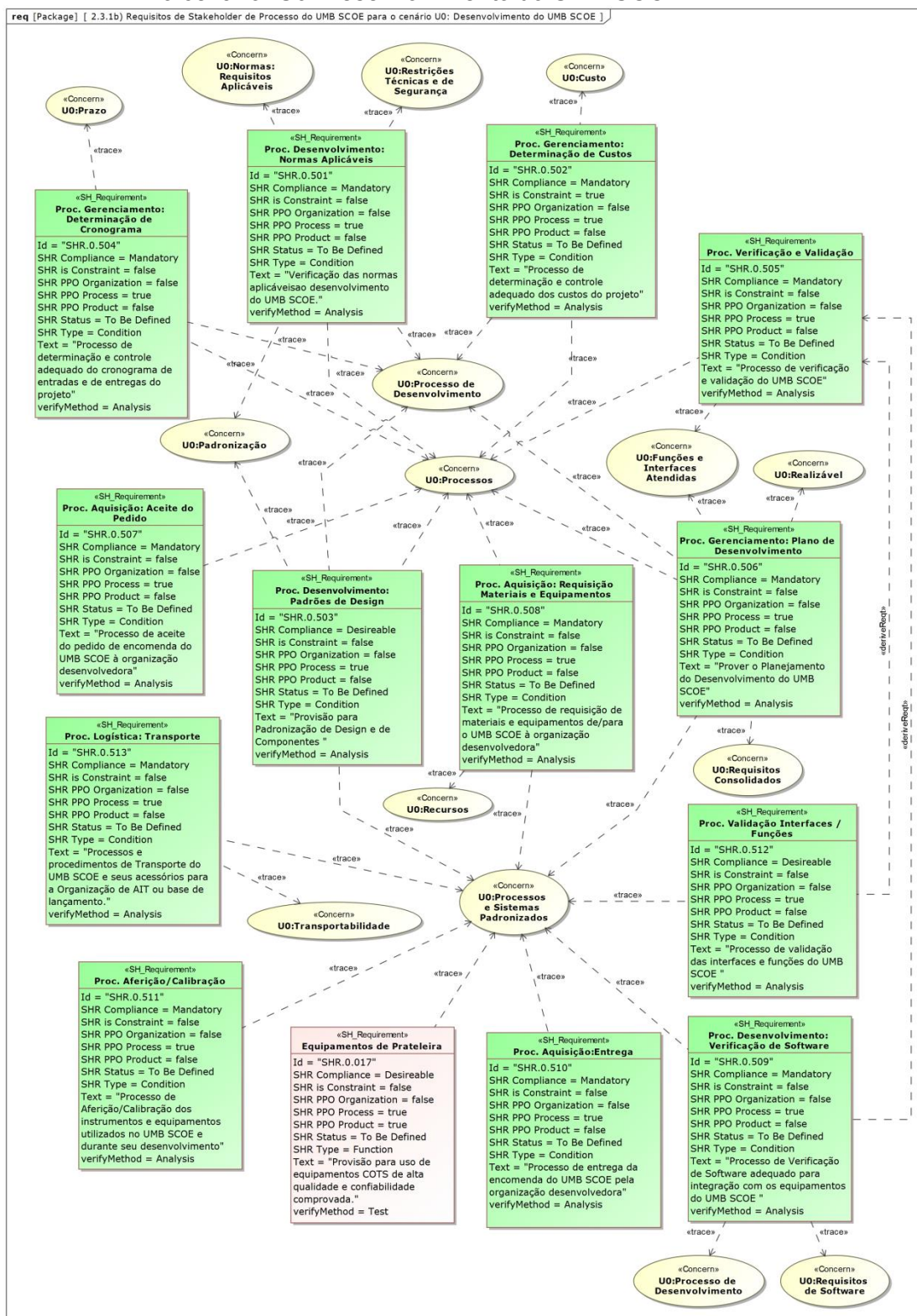
### D.2.6.1 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U0: desenvolvimento do UMB SCOE”

Figura D.22 - Análise de requisitos dos stakeholders de produto do UMB SCOE para o cenário “U0: Desenvolvimento do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

Figura D.23 - Análise de requisitos dos stakeholders de processo do UMB SCOE para o cenário "U0: Desenvolvimento do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

## D.2.6.2 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário "U11: fabricação/aquisição de componentes"

Figura D.24 - Análise de requisitos dos stakeholders de produto do UMB SCOE para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE".

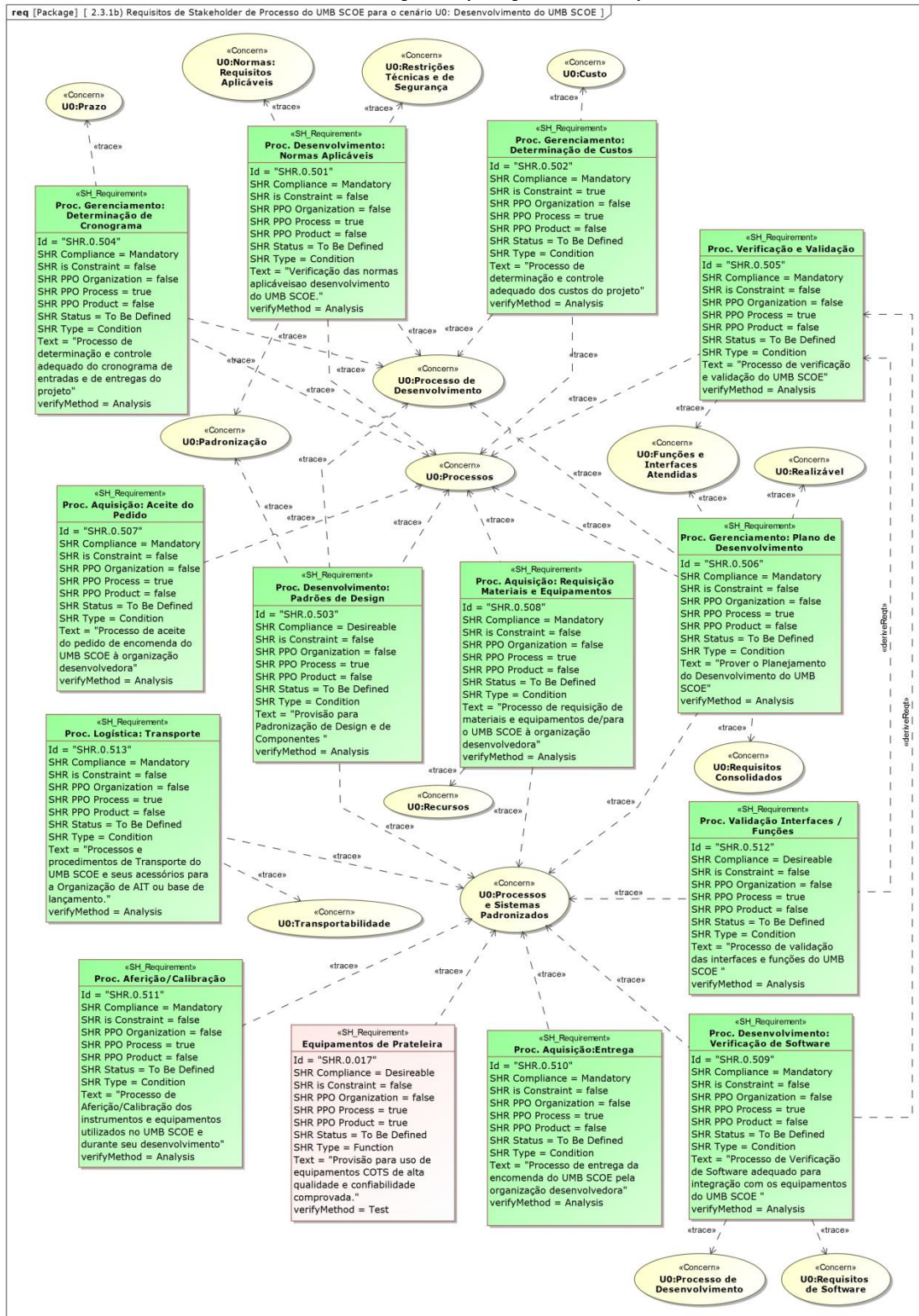
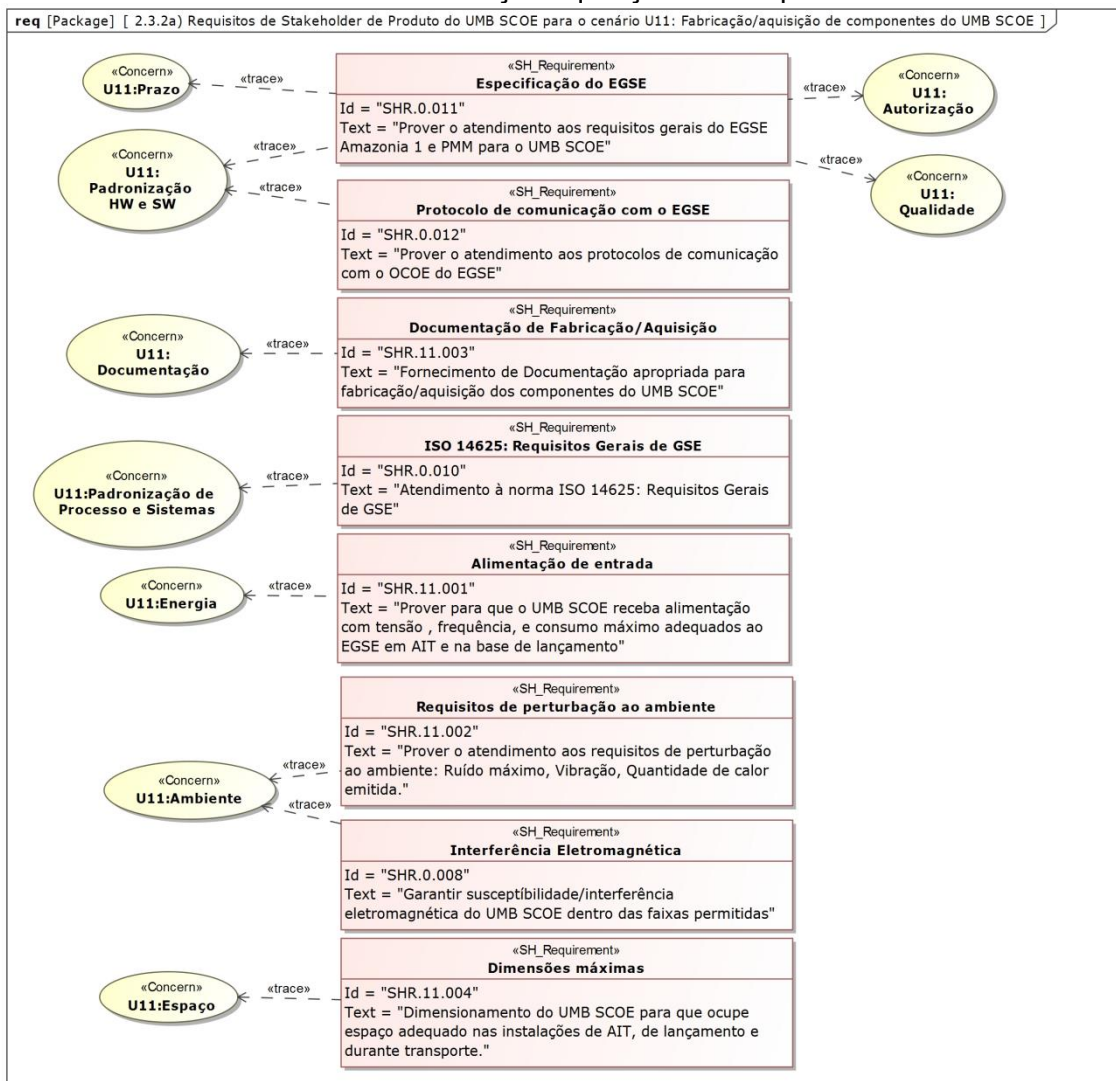


Figura D.25 - Análise de requisitos dos *stakeholders* de processo do UMB SCOE para o cenário "U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE".

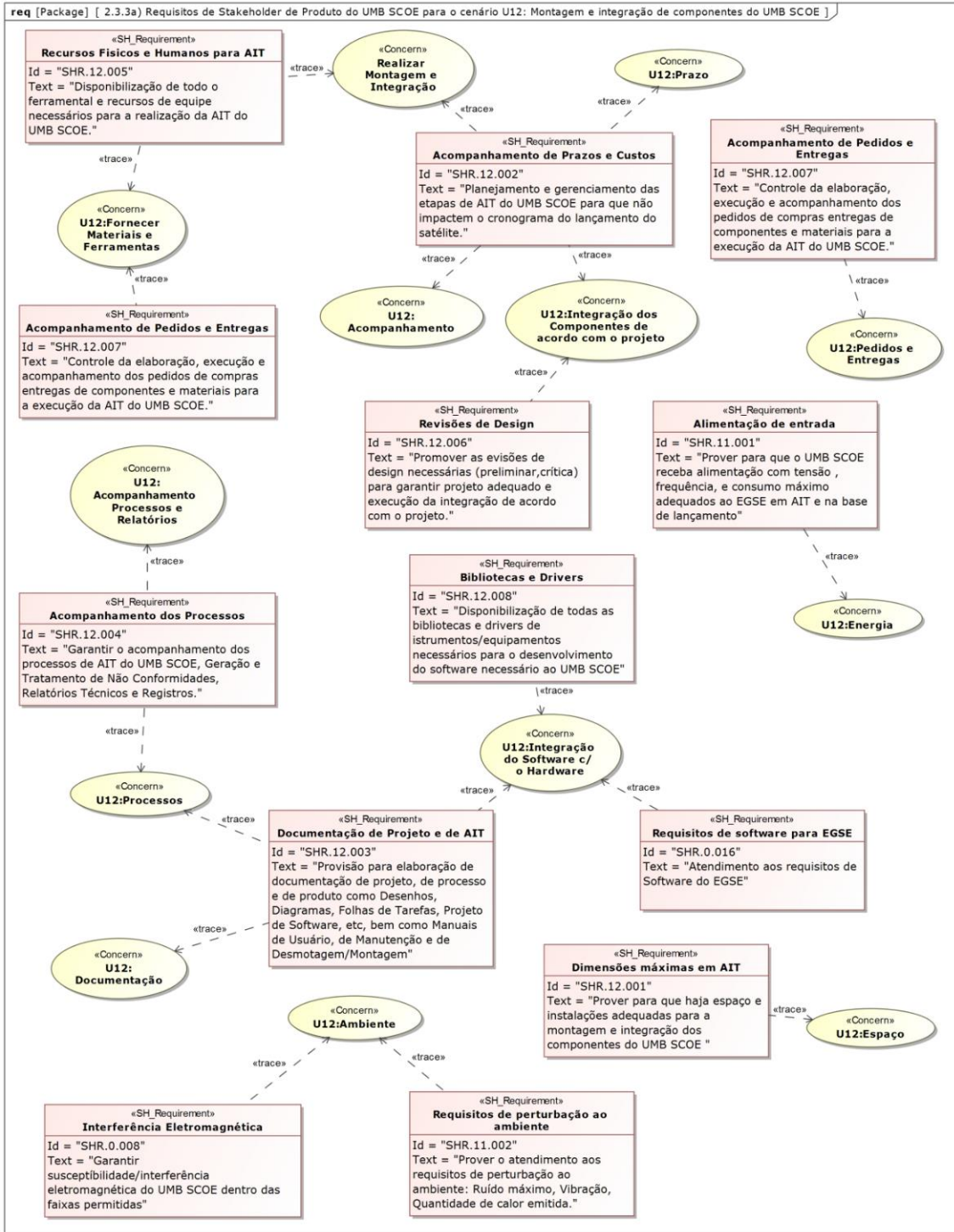


Fonte: Produção do autor.



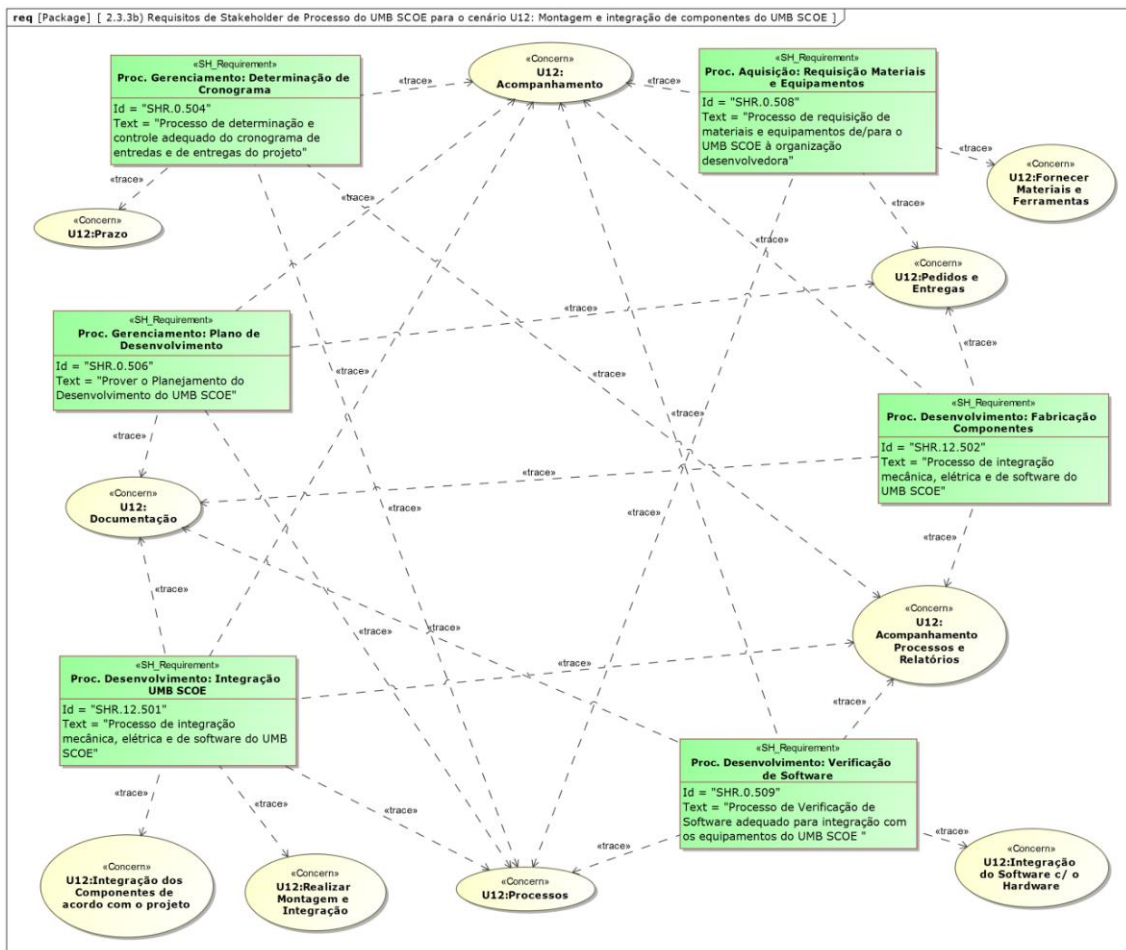
### D.2.6.3 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U12: montagem e integração de componentes do UMB SCOE”

Figura D.27 - Análise de requisitos dos stakeholders de produto do UMB SCOE para o cenário “U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

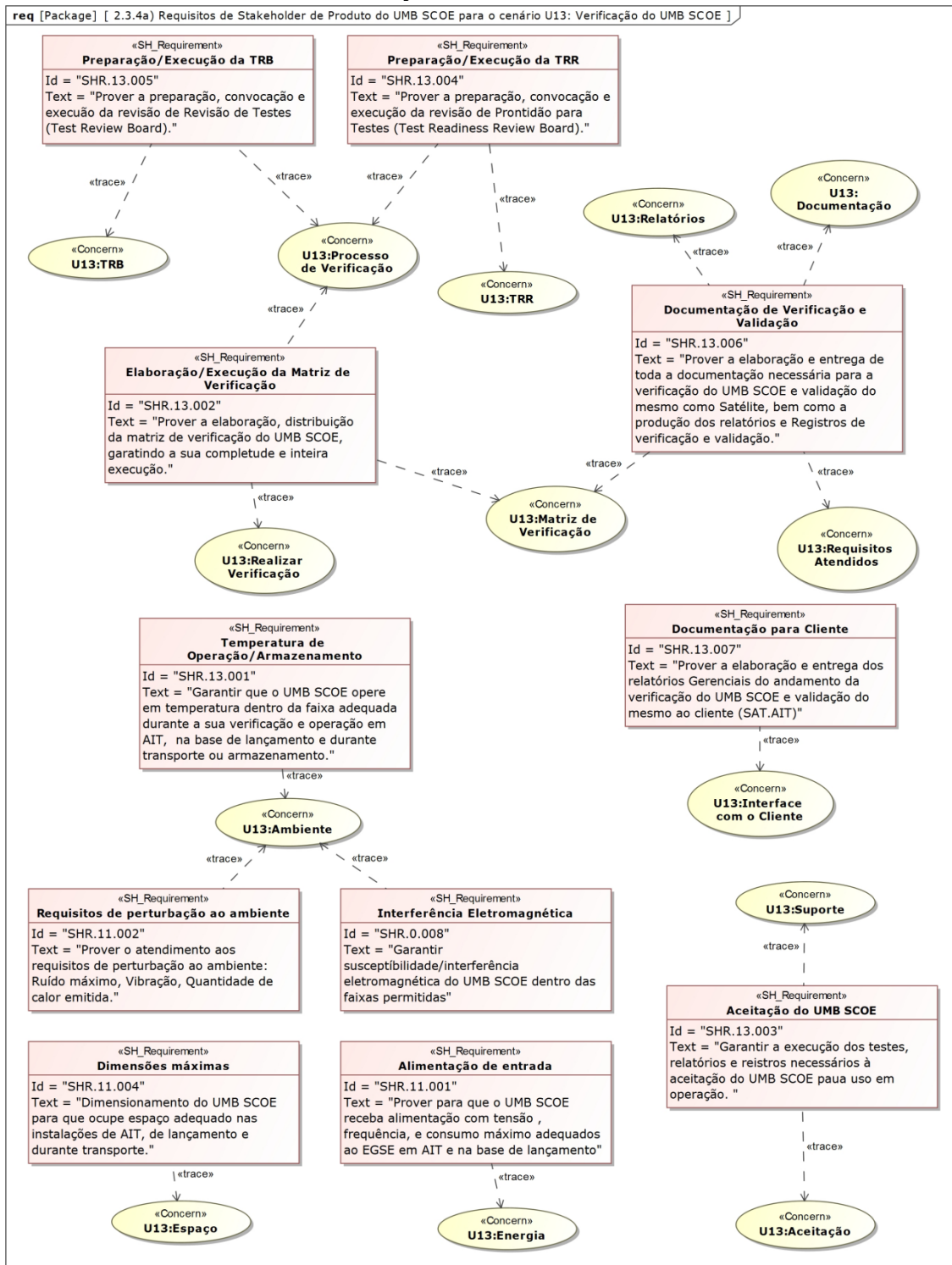
Figura D.28 - Análise de requisitos dos stakeholders de processo do UMB SCOE para o cenário "U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

## D.2.6.4 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U13: verificação do UMB SCOE”

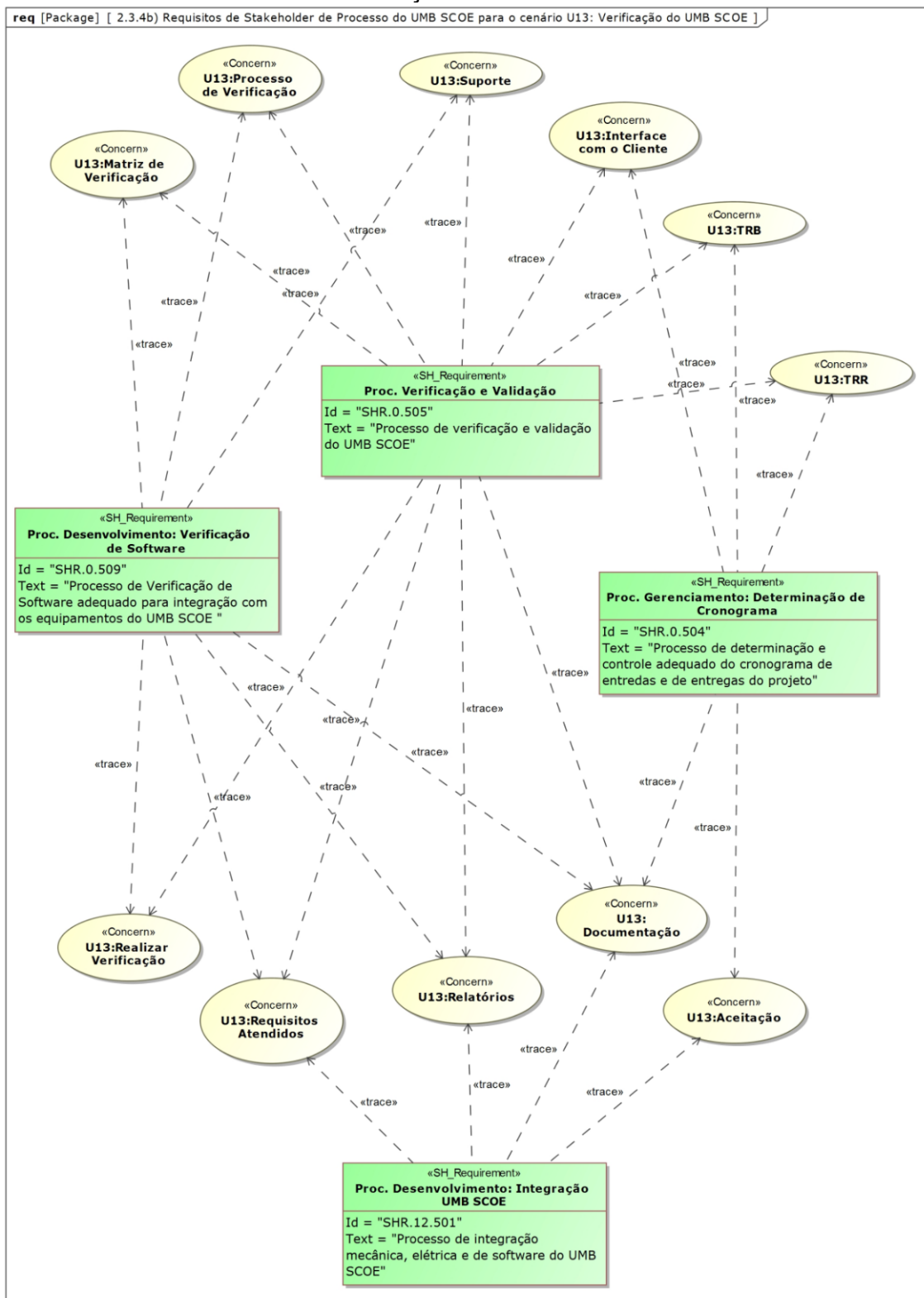
Figura D.29 - Análise de requisitos dos stakeholders de produto do UMB SCOE para o cenário “U13: Verificação do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.



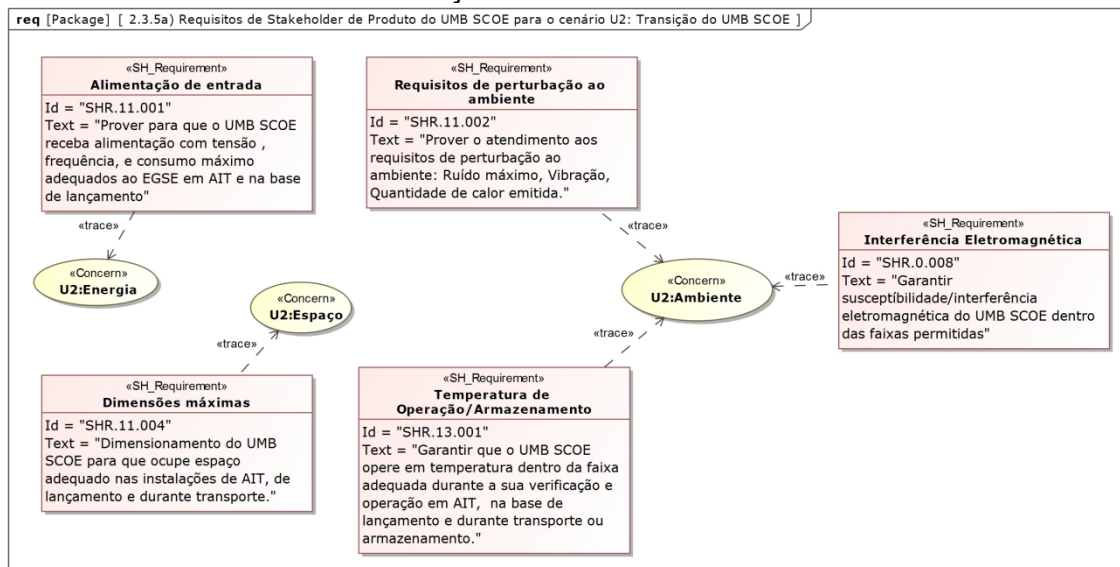
Figura D.30 - Análise de requisitos dos stakeholders de processo do UMB SCOE para o cenário "U13: Verificação do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

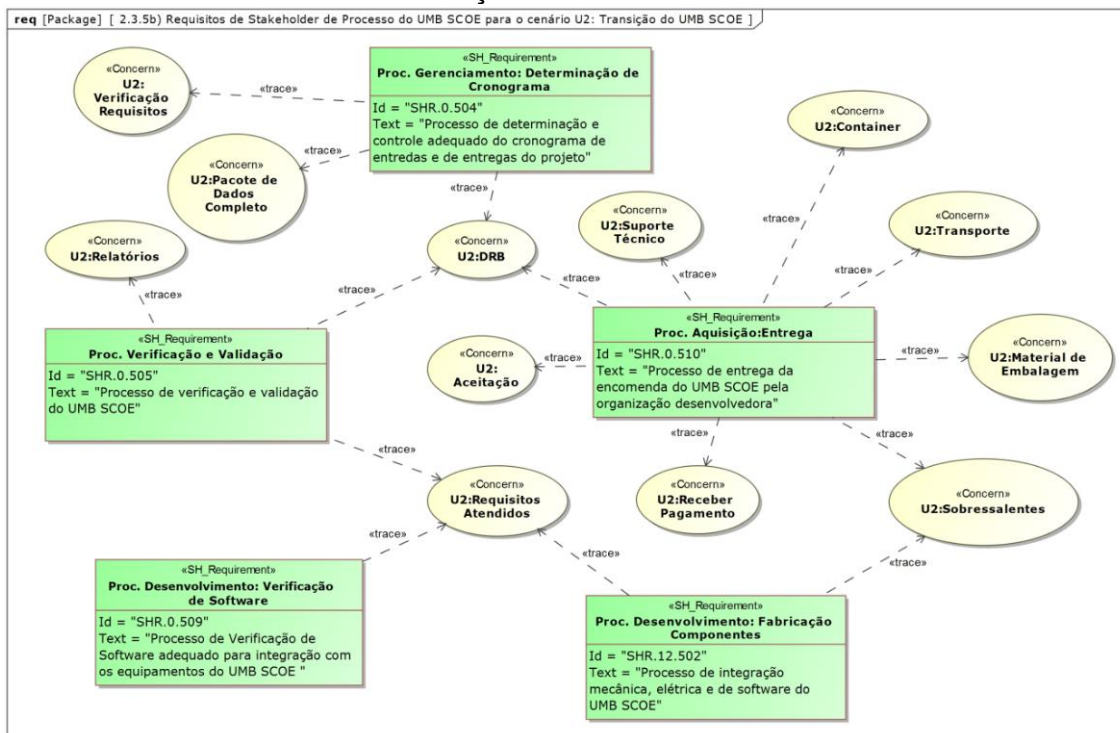
## D.2.6.5 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U2: transição do UMB SCOE”

Figura D.31 - Análise de requisitos dos stakeholders de produto do UMB SCOE para o cenário “U2 : Transição do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

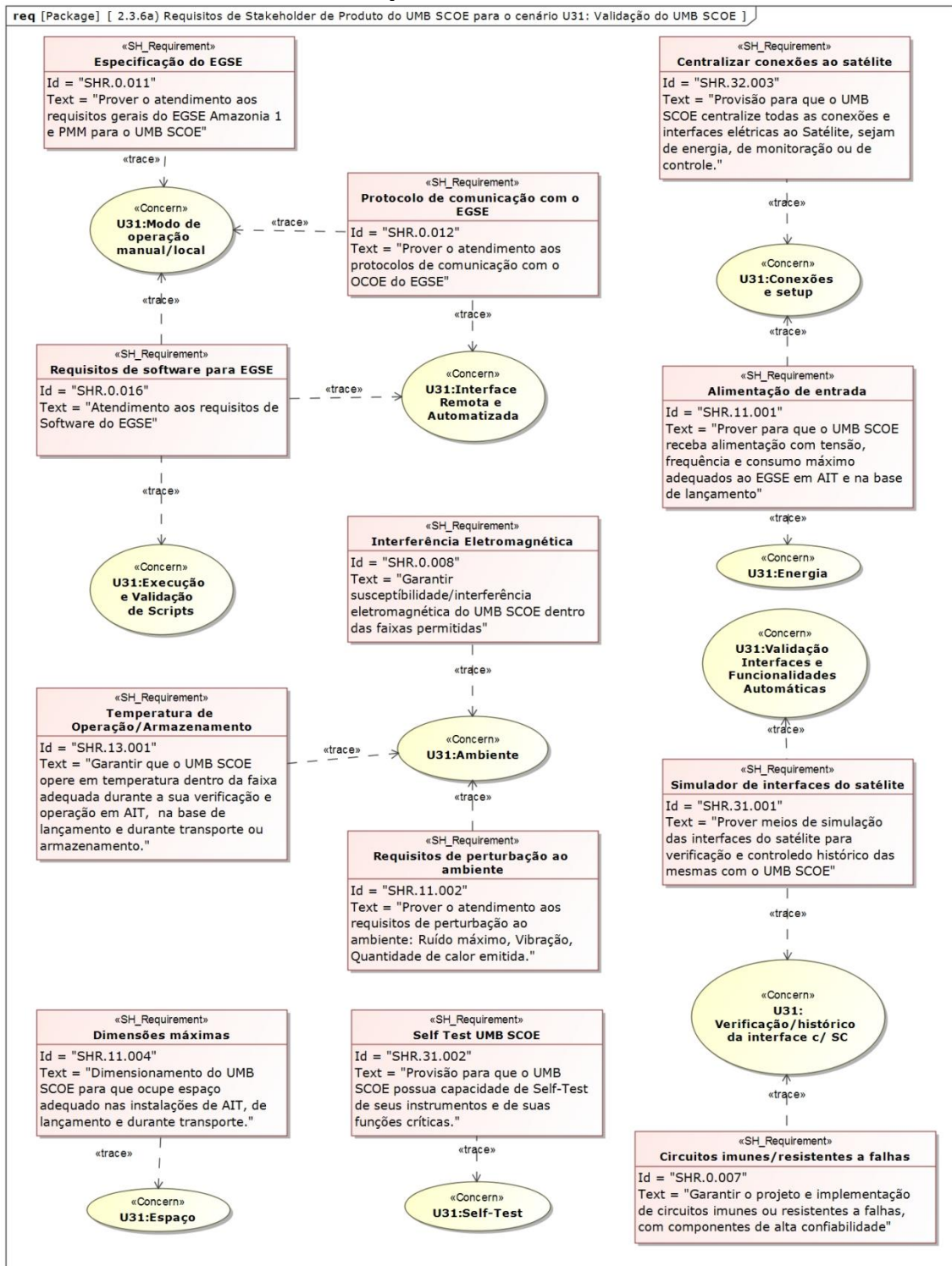
Figura D.32 - Análise de requisitos dos stakeholders de processo do UMB SCOE para o cenário “U2 : Transição do UMB SCOE”



Fonte: Produção do autor.

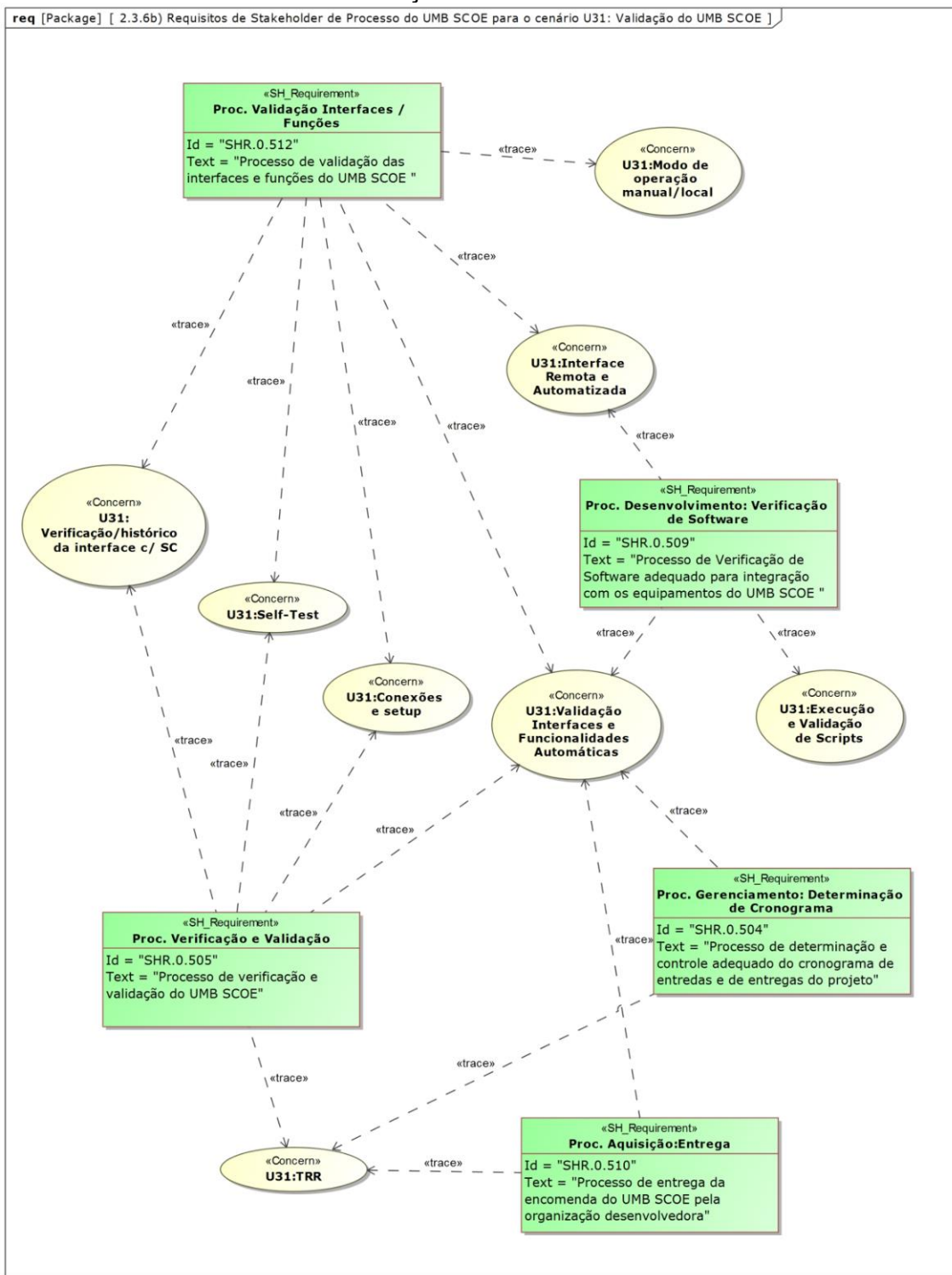
## D.2.6.6 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U31: validação do UMB SCOE”

Figura D.33 - Análise de requisitos dos stakeholders de Produto do UMB SCOE para o cenário “U31: Validação do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

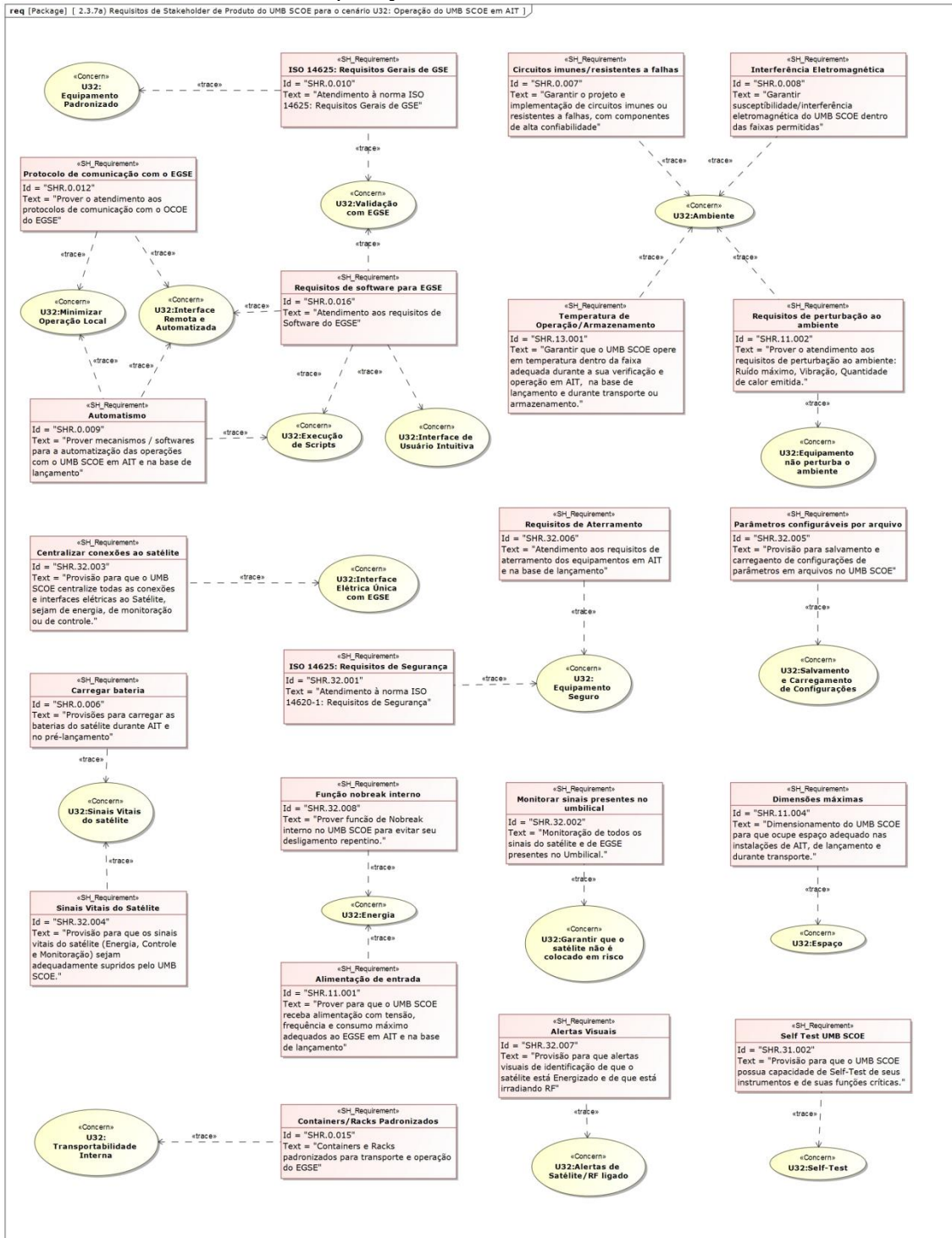
Figura D.34 - Análise de requisitos dos stakeholders de Processo do UMB SCOE para o cenário "U31: Validação do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

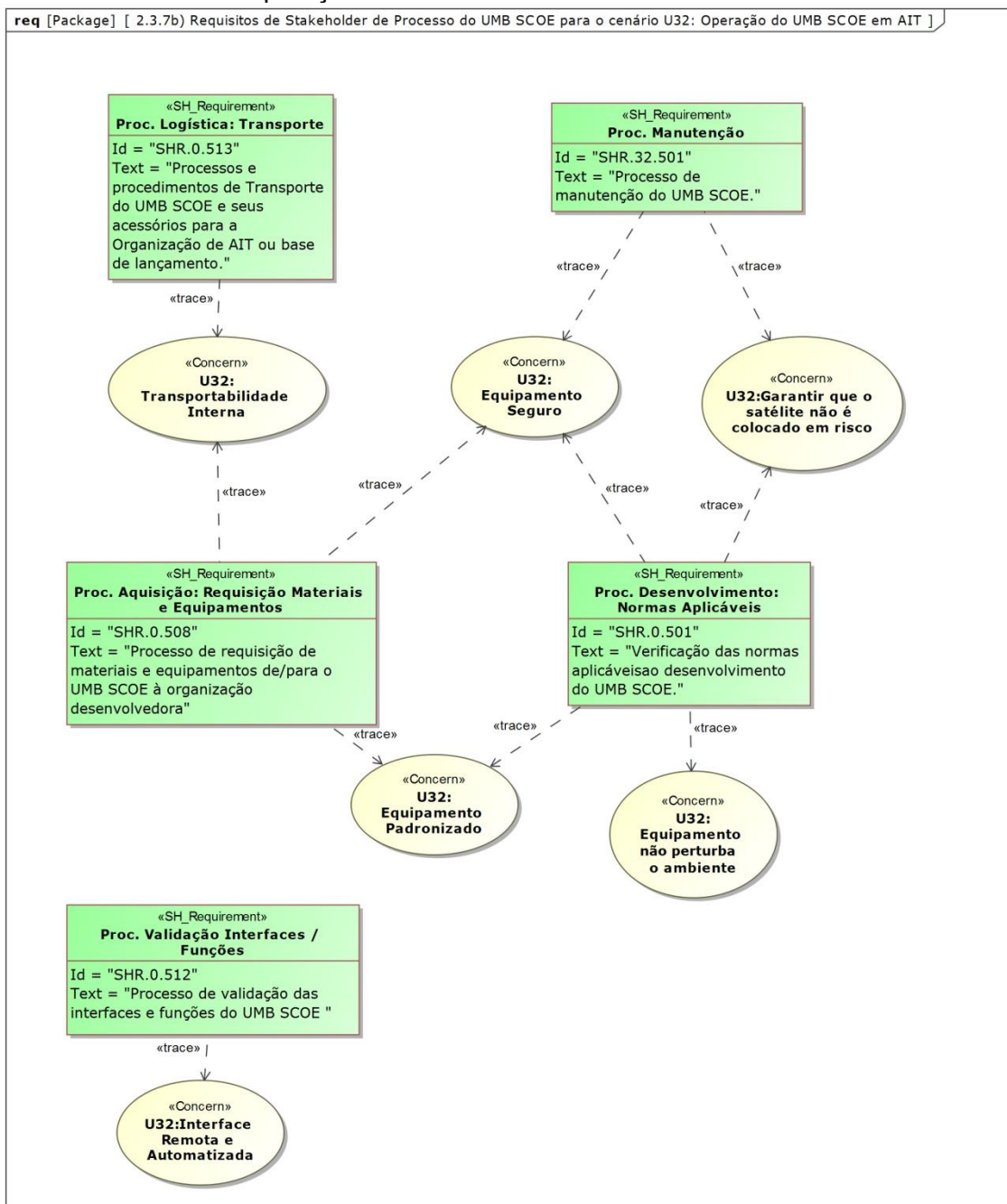
## D.2.6.7 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U32: operação do UMB SCOE em AIT”

Figura D.35 - Análise de requisitos dos stakeholders de Produto do UMB SCOE para o cenário “U32: Operação do UMB SCOE em AIT”.



Fonte: Produção do autor.

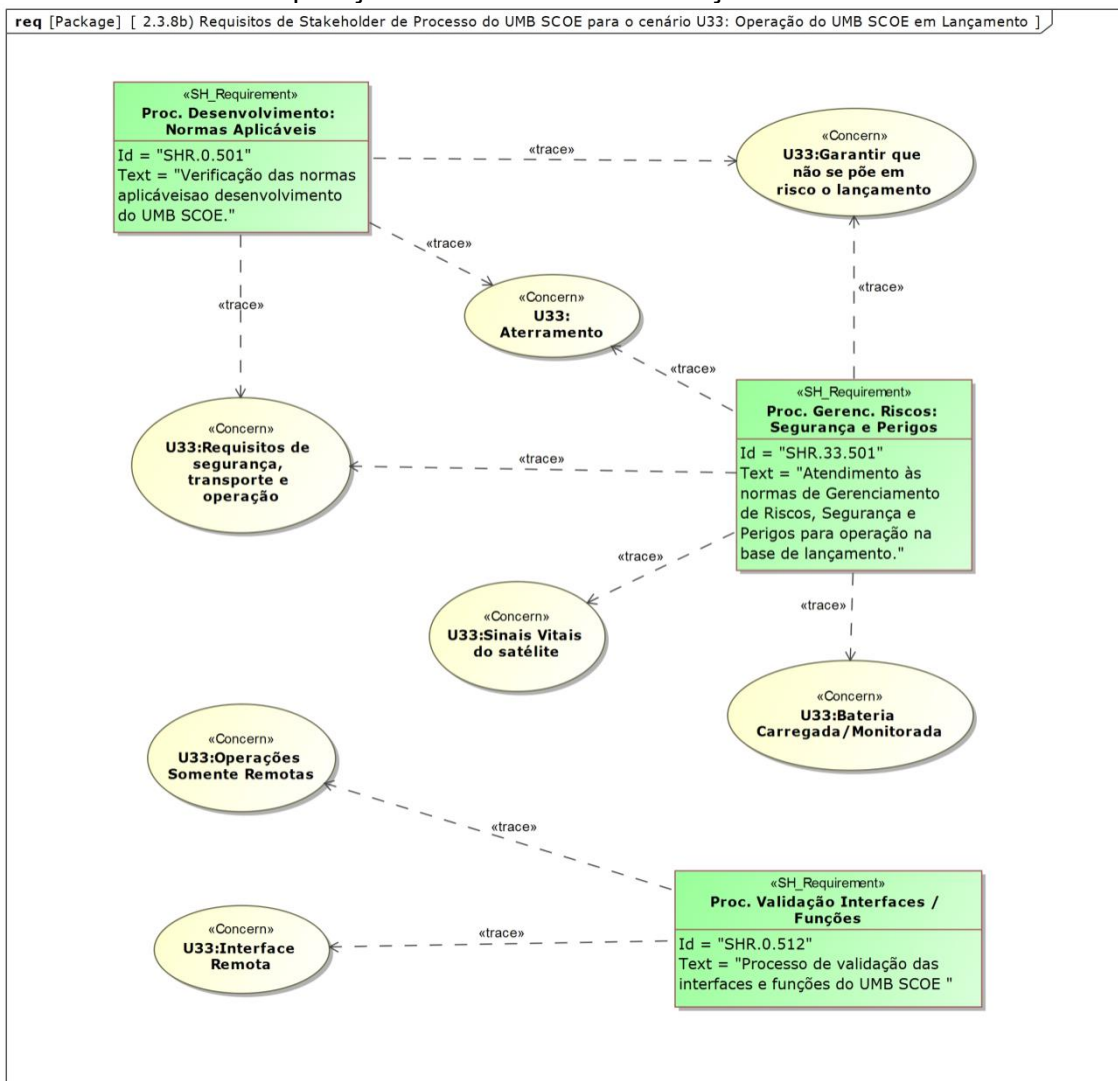
Figura D.36 - Requisitos dos *stakeholders* de Processo do UMB SCOE para o cenário "U32: Operação do UMB SCOE em AIT".



Fonte: Produção do autor.



Figura D.38 - Requisitos dos *stakeholders* de Processo do UMB SCOE para o cenário "U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento".

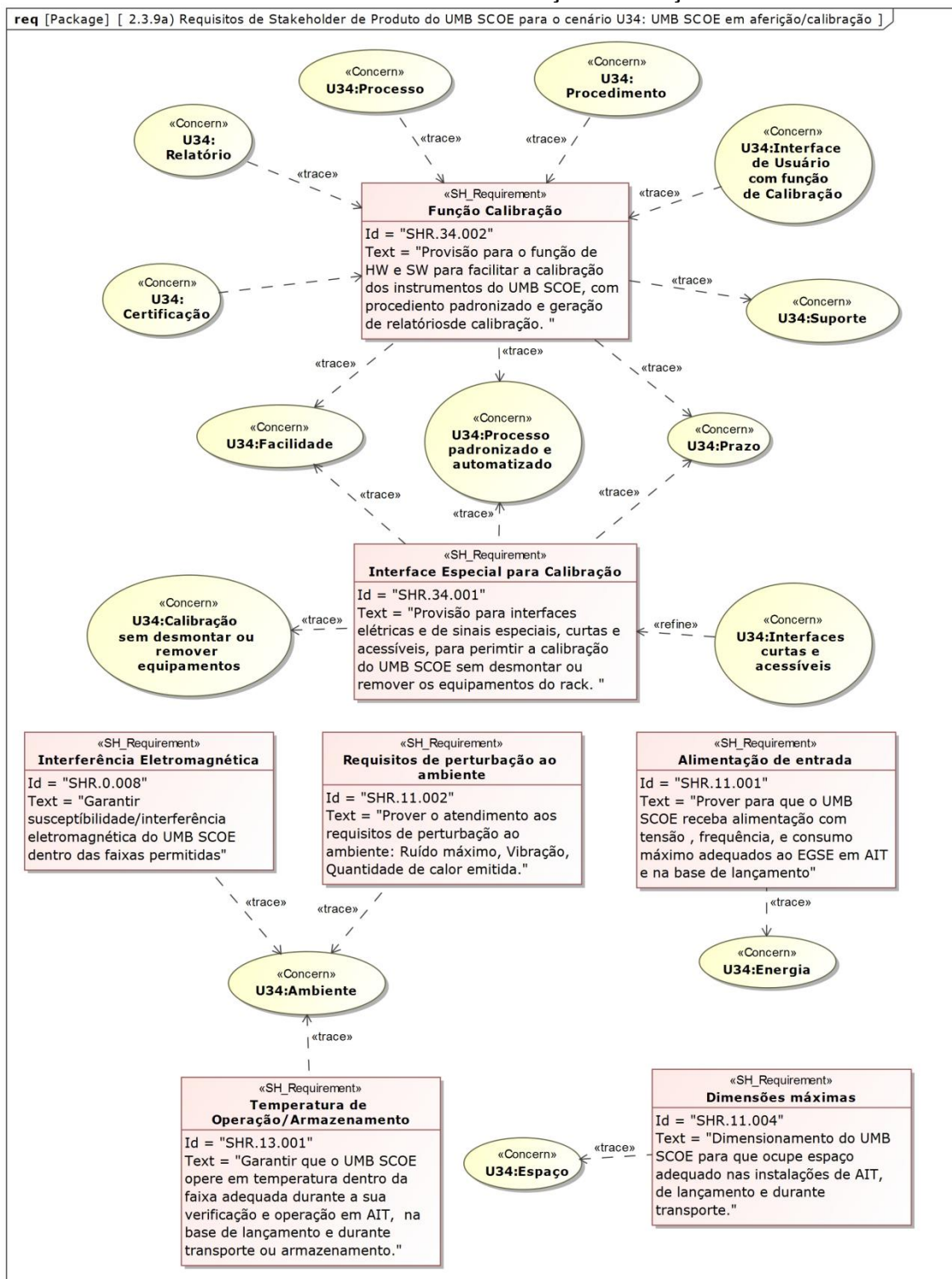


Fonte: Produção do autor.



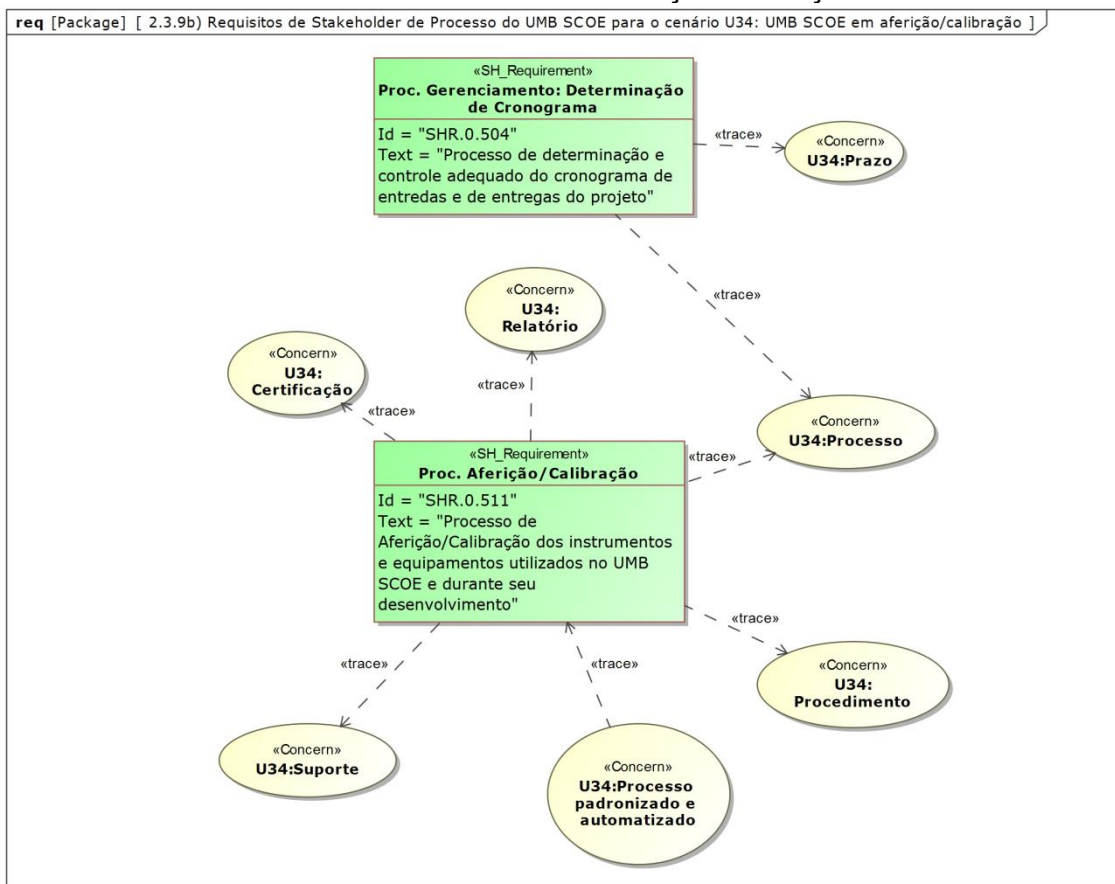
## D.2.6.9 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U34: UMB SCOE em aferição/calibração”

Figura D.39 - Análise de requisitos dos stakeholders de Produto do UMB SCOE para o cenário “U34: UMB SCOE em aferição/calibração”.



Fonte: Produção do autor.

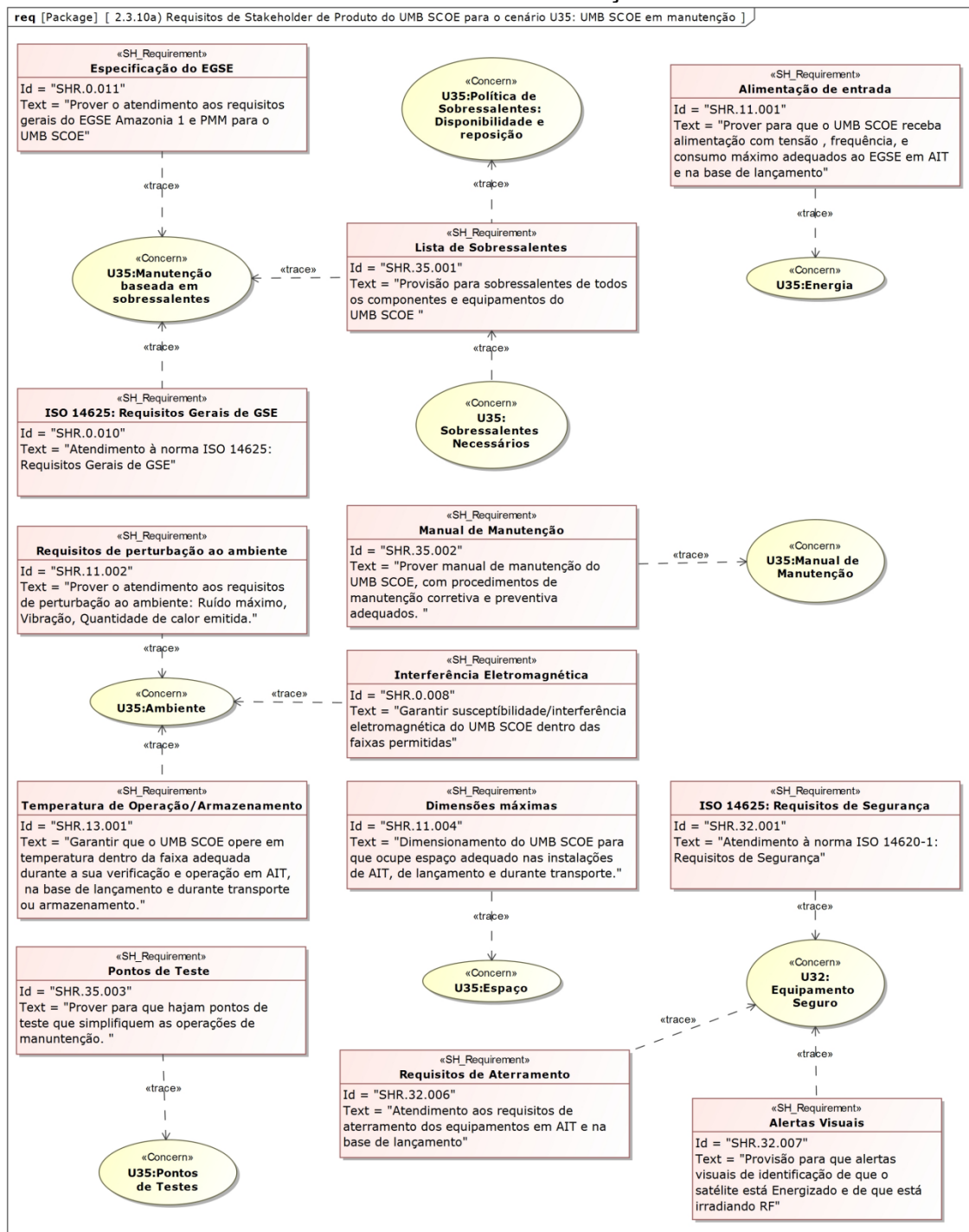
Figura D.40 - Análise de requisitos dos *stakeholders* de Processo do UMB SCOE para o cenário "U34: UMB SCOE em aferição/calibração".



Fonte: Produção do autor.

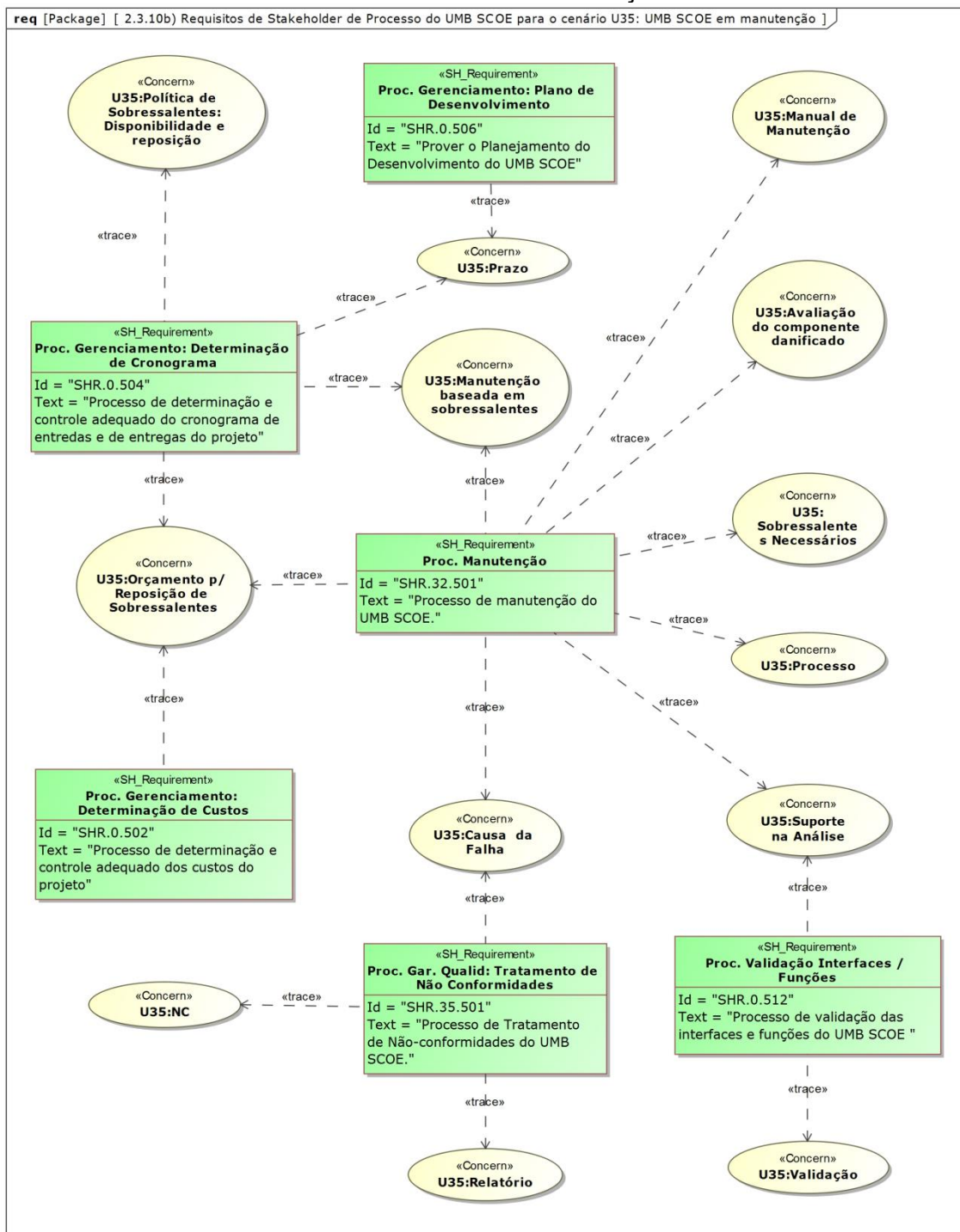
## D.2.6.10 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U35: UMB SCOE em manutenção”

Figura D.41 - Análise de requisitos dos stakeholders de Produto do UMB SCOE para o cenário “U35: UMB SCOE em manutenção”.



Fonte: Produção do autor.

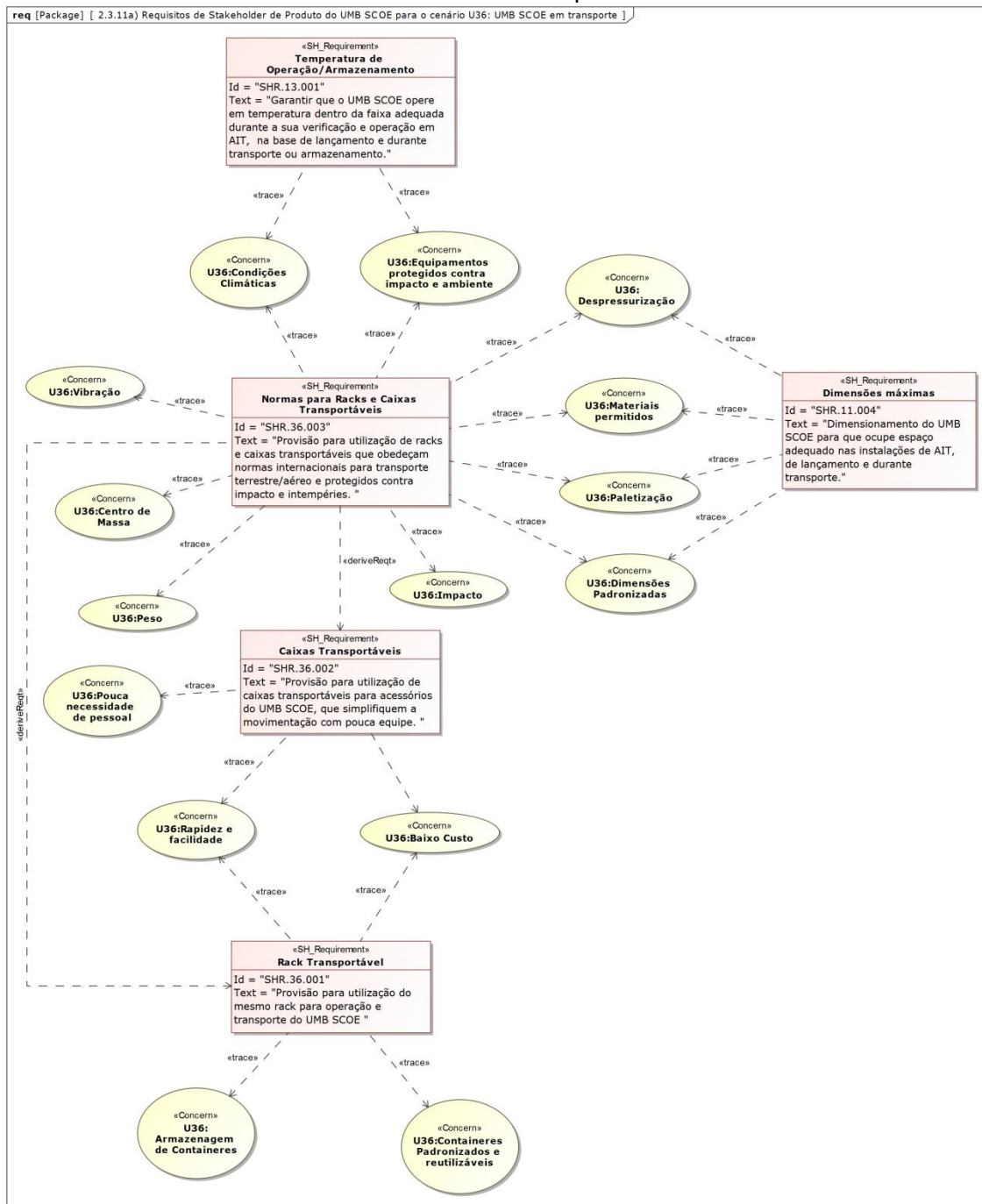
Figura D.42 - Análise de requisitos dos stakeholders de Processo do UMB SCOE para o cenário "U35: UMB SCOE em manutenção".



Fonte: Produção do autor.

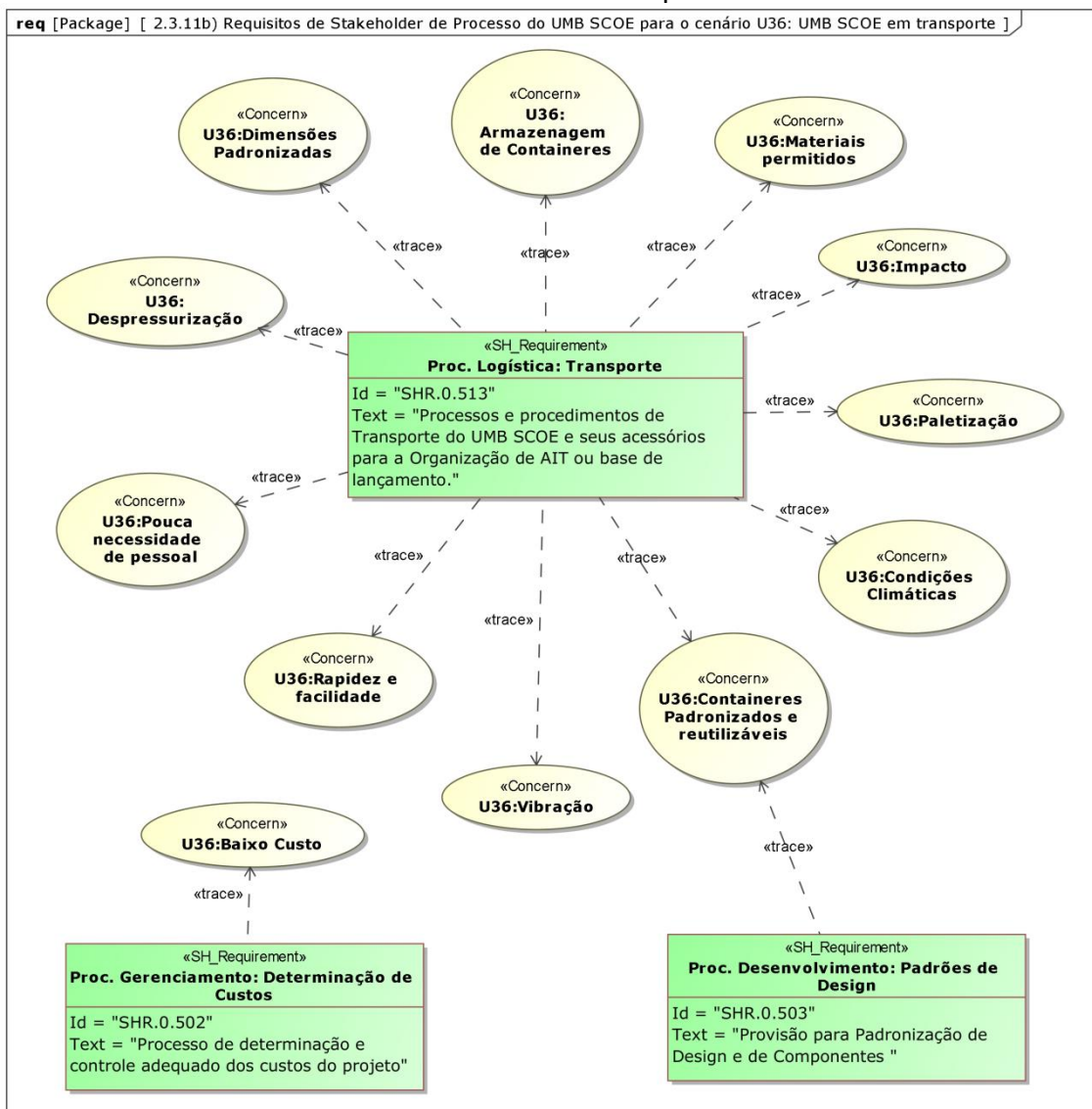
## D.2.6.11 Requisitos dos stakeholders do UMB SCOE para o cenário “U36: UMB SCOE em transporte”

Figura D.43 - Análise de requisitos dos stakeholders de Produto do UMB SCOE para o cenário “U36: UMB SCOE em transporte”.



Fonte: Produção do autor.

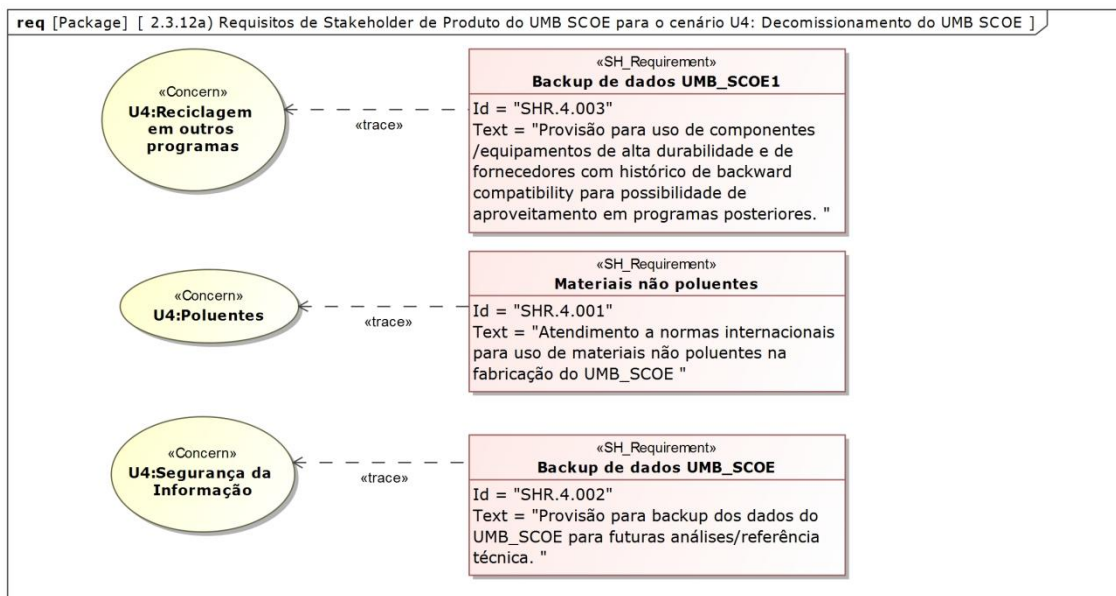
Figura D.44 - Análise de requisitos dos *stakeholders* de Processo do UMB SCOE para o cenário "U36: UMB SCOE em transporte".



Fonte: Produção do autor.

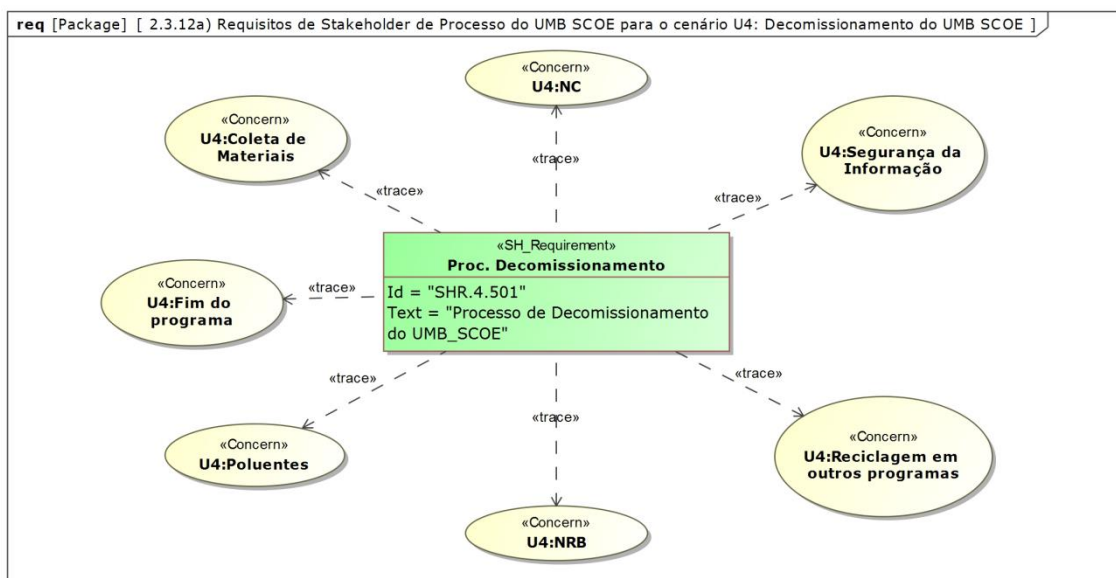
### D.2.6.12 Requisitos dos *stakeholders* do UMB SCOE para o cenário “U4: decomissionamento do UMB SCOE”

Figura D.45 - Análise de requisitos dos *stakeholders* de Produto do UMB SCOE para o cenário “U4: Decomissionamento do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

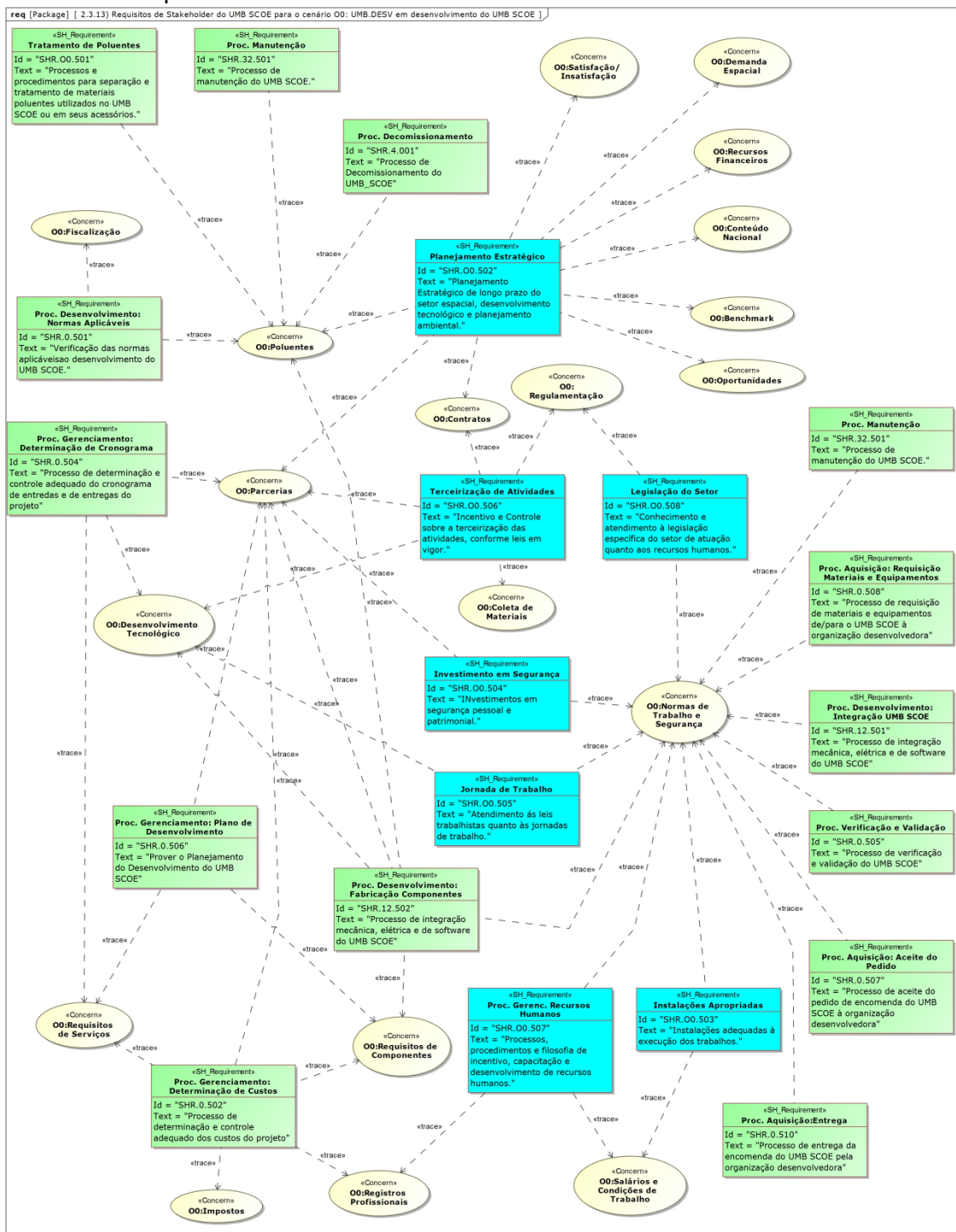
Figura D.46 - Análise de requisitos dos *stakeholders* de Processo do UMB SCOE para o cenário “U4: Decomissionamento do UMB SCOE”.



Fonte: Produção do autor.

### D.2.6.13 Requisitos dos stakeholders de organização do UMB SCOE para o cenário "00: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE"

Figura D.47 - Análise de requisitos dos stakeholders de organização do UMB SCOE para o cenário "00: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.



## D.2.7 Consolidação de requisitos dos *stakeholders* do UMB SCOE

Tabela D.4 - Consolidação dos requisitos dos *stakeholders* do UMB SCOE.

Id	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method	
1	2.3.12a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U4: Decomissionamento do UMB SCOE										
2	SHR.4.001	Materiais não poluentes	Atendimento a normas internacionais para uso de materiais não poluentes na fabricação do UMB_SCOE	Condition	Desireable	To Be Defined	true	true	false	true	Analysis
3	SHR.4.002	Backup de dados UMB_SCOE	Provisão para backup dos dados do UMB_SCOE para futuras análises/referência técnica.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
4	SHR.4.003	Reaproveitamento em outros Programas	Provisão para uso de componentes /equipamentos de alta durabilidade e de fornecedores com histórico de backward compatibility para possibilidade de aproveitamento em programas posteriores.	Condition	Desireable	To Be Defined	true	true	false	true	Analysis
5	2.3.8a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento										
6	SHR.33.004	Manual do lançador	Provisão para o atendimento ao Manual do Lançador para implementação de operações remotas seguras ao lançador e à equipe.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	true	Analysis
7	2.3.7b) Requisitos de Stakeholder de Processo do UMB SCOE para o cenário U32: Operação do UMB SCOE em AIT										
8	SHR.32.501	Proc. Manutenção	Processo de manutenção do UMB SCOE.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
9	2.3.12b) Requisitos de Stakeholder de Processo do UMB SCOE para o cenário U4: Decomissionamento do UMB SCOE1										
10	SHR.4.501	Proc. Decomissionamento	Processo de Decomissionamento do UMB_SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
11	2.3.4a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U13: Verificação do UMB SCOE										
12	SHR.13.001	Temperatura de Operação/Armazenamento	Garantir que o UMB SCOE opere em temperatura dentro da faixa adequada durante a sua verificação e operação em AIT, na base de lançamento e durante transporte ou armazenamento.	Performance	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	true	Inspection
13	SHR.13.002	Elaboração/Execução da Matriz de Verificação	Prover a elaboração, distribuição da matriz de verificação do UMB SCOE, garantindo a sua completude e inteira execução.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
14	SHR.13.003	Aceitação do UMB SCOE	Garantir a execução dos testes, relatórios e registros necessários à aceitação do UMB SCOE para uso em operação.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	false	Demonstration

	ID	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
15	SHR.13.004	Preparação/Execução da TRR	Prover a preparação, convocação e execução da revisão de Prontidão para Testes (Test Readiness Review Board).	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Demonstration
16	SHR.13.005	Preparação/Execução da TRB	Prover a preparação, convocação e execução da Reunião de Revisão de Testes (Test Review Board).	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Demonstration
17	SHR.13.006	Documentação de Verificação e Validação	Prover a elaboração e entrega de toda a documentação necessária para a verificação do UMB SCOE e validação do mesmo como Satélite, bem como a produção dos relatórios e Registros de verificação e validação.	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Demonstration
18	SHR.13.007	Documentação para Cliente	Prover a elaboração e entrega dos relatórios Gerenciais do andamento da verificação do UMB SCOE e validação do mesmo ao cliente (SAT.AIT)	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Analysis
19		2.3.3a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE									
20	SHR.12.001	Dimensões máximas em AIT	Prover para que haja espaço e instalações adequadas para a montagem e integração dos componentes do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Inspection
21	SHR.12.002	Acompanhamento de Prazos e Custos	Planejamento e gerenciamento das etapas de AIT do UMB SCOE para que não impactem o cronograma do lançamento do satélite.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
22	SHR.12.003	Documentação de Projeto e de AIT	Provisão para elaboração de documentação de projeto, de processo e de produto como Desenhos, Diagramas, Folhas de Tarefas, Projeto de Software, etc, bem como Manuais de Usuário, de Manutenção e de Desmontagem/Montagem	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Analysis
23	SHR.12.004	Acompanhamento dos Processos	Garantir o acompanhamento dos processos de AIT do UMB SCOE, Geração e Tratamento de Não Conformidades, Relatórios Técnicos e Registros.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
24	SHR.12.005	Recursos Físicos e Humanos para AIT	Disponibilização de todo o ferramental e recursos de equipe necessários para a realização da AIT do UMB SCOE.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Demonstration
25	SHR.12.006	Revisões de Design	Promover as revisões de design necessárias (preliminar, crítica) para garantir projeto adequado e execução da integração de acordo com o projeto.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	false	Analysis
26	SHR.12.007	Acompanhamento de Pedidos e Entregas	Controle da elaboração, execução e acompanhamento dos pedidos de compras entregas de componentes e materiais para a execução da AIT do UMB SCOE.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
27	SHR.12.008	Bibliotecas e Drivers	Disponibilização de todas as bibliotecas e drivers de instrumentos/equipamentos necessários para o desenvolvimento do software necessário ao UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Demonstration

	ID	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
28		2.3.6a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U31: Validação do UMB SCOE									
29	SHR.31.001	Simulador de interfaces do satélite	Prover meios de simulação das interfaces do satélite para verificação e controle histórico das mesmas com o UMB SCOE	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
30	SHR.31.002	Self-Test	Prover meios de self-test dos instrumentos do UMB SCOE bem com de suas funções crítica	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
31		2.3.7a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U32: Operação do UMB SCOE em AIT									
32	SHR.32.001	ISO 14625: Requisitos de Segurança	Atendimento à norma ISO 14620-1: Requisitos de Segurança	Condition	Desireable	To Be Defined	true	true	false	true	Analysis
33	SHR.32.002	Monitorar sinais presentes no umbilical	Monitoração de todos os sinais do satélite e de EGSE presentes no Umbilical.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
34	SHR.32.003	Centralizar conexões ao satélite	Provisão para que o UMB SCOE centralize todas as conexões e interfaces elétricas ao Satélite, sejam de energia, de monitoração ou de controle.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Analysis
35	SHR.32.004	Sinais Vitais do Satélite	Provisão para que os sinais vitais do satélite (Energia, Controle e Monitoração) sejam adequadamente supridos pelo UMB SCOE.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	true	false	Test
36	SHR.32.005	Parâmetros configuráveis por arquivo	Provisão para salvamento e carregamento de configurações de parâmetros em arquivos no UMB SCOE	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	true	Test
37	SHR.32.006	Requisitos de Aterramento	Atendimento aos requisitos de aterramento dos equipamentos em AIT e na base de lançamento	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	true	Analysis
38	SHR.32.007	Alertas Visuais	Provisão para que alertas visuais de identificação de que o satélite está Energizado e de que está irradiando RF	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
39	SHR.32.008	Self Test UMB SCOE	Provisão para que o UMB SCOE possua capacidade de Self-Test de seus instrumentos e de suas funções críticas.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
40	SHR.32.009	Função nobreak interno	Prover função de Nobreak interno no UMB SCOE para evitar seu desligamento repentino.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test

	ID	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
41		2.3.9a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U34: UMB SCOE em aferição/calibração									
42	SHR.34.001	Interface Especial para Calibração	Provisão para interfaces elétricas e de sinais especiais, curtas e acessíveis, para permitir a calibração do UMB SCOE sem desmontar ou remover os equipamentos do rack.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
43	SHR.34.002	Função Calibração	Provisão para o função de HW e SW para facilitar a calibração dos instrumentos do UMB SCOE, com procedimento padronizado e geração de relatórios de calibração.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
44		2.3.10a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U35: UMB SCOE em manutenção									
45	SHR.35.001	Lista de Sobressalentes	Provisão para sobressalentes de todos os componentes e equipamentos do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Demonstration
46	SHR.35.002	Manual de Manutenção	Prover manual de manutenção do UMB SCOE, com procedimentos de manutenção corretiva e preventiva adequados.	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Analysis
47	SHR.35.003	Pontos de Teste	Prover para que haja pontos de teste que simplifiquem as operações de manutenção.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
48		2.3.10b) Requisitos de Stakeholder de Processo do UMB SCOE para o cenário U35: UMB SCOE em manutenção									
49	SHR.35.501	Proc. Gar. Qualid: Tratamento de Não Conformidades	Processo de Tratamento de Não-conformidades do UMB SCOE.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
50		2.3.1a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U0: Desenvolvimento do UMB SCOE									
51	SHR.0.001	Proteger as Interfaces Elétricas do Satélite	Garantir a proteção das Interfaces Elétricas do Satélite em AIT e durante as operações na base de lançamento	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
52	SHR.0.002	Alimentar o satélite	Prover o suprimento de energia elétrica para o satélite em AIT e durante as operações na base de lançamento	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
53	SHR.0.003	Monitorar Sinais Elétricos do Satélite	Prover a monitoração dos sinais elétricos vitais do satélite durante as Fases de AIT e na base de lançamento.	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
54	SHR.0.004	Comandos básicos no satélite	Prover os comandos básicos para controlar o satélite em AIT e durante as operações na base de lançamento	Interface	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
55	SHR.0.005	Descrição das Interfaces do Satélite	Obter/Fornecer as descrições de todas as interfaces elétricas e lógicas do Satélite	Interface	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	true	Analysis

	ID	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
56	SHR.0.006	Carregar bateria	Provisões para carregar as baterias do satélite durante AIT e no pré-lançamento	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
57	SHR.0.007	Circuitos imunes/resistentes a falhas	Garantir o projeto e implementação de circuitos imunes ou resistentes a falhas, com componentes de alta confiabilidade	Performance	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	true	Analysis
58	SHR.0.008	Interferência Eletromagnética	Garantir susceptibilidade/interferência eletromagnética do UMB SCOE dentro das faixas permitidas	Performance	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	true	Test
59	SHR.0.009	Automatismo	Prover mecanismos / softwares para a automatização das operações com o UMB SCOE em AIT e na base de lançamento	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
60	SHR.0.010	ISO 14625: Requisitos Gerais de GSE	Atendimento à norma ISO 14625: Requisitos Gerais de GSE	Condition	Desireable	To Be Defined	true	true	false	true	Demonstration
61	SHR.0.011	Especificação do EGSE	Prover o atendimento aos requisitos gerais do EGSE Amazonia 1 e PMM para o UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Demonstration
62	SHR.0.012	Protocolo de comunicação com o EGSE	Prover o atendimento aos protocolos de comunicação com o OCOE do EGSE	Function	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Test
63	SHR.0.013	Custo total do UMB SCOE	Previsão para orçamento total de USD 100.000 (TBC) para o desenvolvimento do UMB SCOE.	Condition	Desireable	To Be Defined	true	true	false	true	Analysis
64	SHR.0.014	Tempo de vida do UMB SCOE	Previsão para se utilizar o UMB SCOE condizente com o a duração do cronograma de lançamentos de satélites da plataforma PMM.	Function	Mandatory		true	true	true	false	Analysis
65	SHR.0.015	Containers/Racks Padronizados	Containers e Racks padronizados para transporte e operação do EGSE	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	true	Analysis
66	SHR.0.016	Requisitos de software para EGSE	Atendimento aos requisitos de Software do EGSE	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Test
67	SHR.0.017	Equipamentos de Prateleira	Provisão para uso de equipamentos COTS de alta qualidade e confiabilidade comprovada.	Function	Desireable	To Be Defined	true	true	false	false	Test

	ID	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
68		2.3.1b) Requisitos de Stakeholder de Processo do UMB SCOE para o cenário U0: Desenvolvimento do UMB SCOE									
69	SHR.0.501	Proc. Desenvolvimento: Normas Aplicáveis	Verificação das normas aplicáveis ao desenvolvimento do UMB SCOE.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
70	SHR.0.502	Proc. Gerenciamento: Determinação de Custos	Processo de determinação e controle adequado dos custos do projeto	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	true	Analysis
71	SHR.0.503	Proc. Desenvolvimento: Padrões de Design	Provisão para Padronização de Design e de Componentes	Condition	Desireable	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
72	SHR.0.504	Proc. Gerenciamento: Determinação de Cronograma	Processo de determinação e controle adequado do cronograma de entradas e de entregas do projeto	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
73	SHR.0.505	Proc. Verificação e Validação	Processo de verificação e validação do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
74	SHR.0.506	Proc. Gerenciamento: Plano de Desenvolvimento	Prover o Planejamento do Desenvolvimento do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
75	SHR.0.507	Proc. Aquisição: Aceite do Pedido	Processo de aceite do pedido de encomenda do UMB SCOE à organização desenvolvedora	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
76	SHR.0.508	Proc. Aquisição: Requisição Materiais e Equipamentos	Processo de requisição de materiais e equipamentos de/para o UMB SCOE à organização desenvolvedora	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
77	SHR.0.509	Proc. Desenvolvimento: Verificação de Software	Processo de Verificação de Software adequado para integração com os equipamentos do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
78	SHR.0.510	Proc. Aquisição: Entrega	Processo de entrega da encomenda do UMB SCOE pela organização desenvolvedora	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
79	SHR.0.511	Proc. Aferição/Calibração	Processo de Aferição/Calibração dos instrumentos e equipamentos utilizados no UMB SCOE e durante seu desenvolvimento	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
80	SHR.0.512	Proc. Validação Interfaces / Funções	Processo de validação das interfaces e funções do UMB SCOE	Condition	Desireable	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis

	ID	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
81	SHR.0.513	Proc. Logística: Transporte	Processos e procedimentos de Transporte do UMB SCOE e seus acessórios para a Organização de AIT ou base de lançamento.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
82		2.3.2a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U11: Fabricação/aquisição de componentes do UMB SCOE									
83	SHR.11.001	Alimentação de entrada	Prover para que o UMB SCOE receba alimentação com tensão, frequência e consumo máximo adequados ao EGSE em AIT e na base de lançamento	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	true	Test
84	SHR.11.002	Requisitos de perturbação ao ambiente	Prover o atendimento aos requisitos de perturbação ao ambiente: Ruído máximo, Vibração, Quantidade de calor emitida.	Performance	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	true	Test
85	SHR.11.003	Documentação de Fabricação/Aquisição	Fornecimento de Documentação apropriada para fabricação/aquisição dos componentes do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Analysis
86	SHR.11.004	Dimensões máximas	Dimensionamento do UMB SCOE para que ocupe espaço adequado nas instalações de AIT, de lançamento e durante transporte.	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	false	false	false	Inspection
87		2.3.3b) Requisitos de Stakeholder de Processo do UMB SCOE para o cenário U12: Montagem e integração de componentes do UMB SCOE									
88	SHR.12.501	Proc. Desenvolvimento: Integração UMB SCOE	Processo de integração mecânica, elétrica e de software do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
89	SHR.12.502	Proc. Desenvolvimento: Fabricação Componentes	Processo de integração mecânica, elétrica e de software do UMB SCOE	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	false	Analysis
90		2.3.8b) Requisitos de Stakeholder de Processo do UMB SCOE para o cenário U33: Operação do UMB SCOE em Lançamento									
91	SHR.33.501	Proc. Gerenc. Riscos: Segurança e Perigos	Atendimento às normas de Gerenciamento de Riscos, Segurança e Perigos para operação na base de lançamento.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	false	true	Analysis
92		2.3.13) Requisitos de Stakeholder do UMB SCOE para o cenário O0: UMB.DESV em desenvolvimento do UMB SCOE									
93	SHR.O0.501	Tratamento de Poluentes	Processos e procedimentos para separação e tratamento de materiais poluentes utilizados no UMB SCOE ou em seus acessórios.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	true	Analysis
94	SHR.O0.502	Planejamento Estratégico	Planejamento Estratégico de longo prazo do setor espacial, desenvolvimento tecnológico e planejamento ambiental.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	false	Analysis
95	SHR.O0.503	Instalações Apropriadas	Instalações adequadas à execução dos trabalhos.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	false	Analysis

	ID	Name	Text	SHR Type	SHR Compliance	SHR Status	SHR PPO Product	SHR PPO Process	SHR PPO Organization	SHR Is Constraint	Verify Method
96	SHR.O0.504	Investimento em Segurança	Investimentos em segurança pessoal e patrimonial.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	true	Analysis
97	SHR.O0.505	Jornada de Trabalho	Atendimento às leis trabalhistas quanto às jornadas de trabalho.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	true	Analysis
98	SHR.O0.506	Terceirização de Atividades	Incentivo e Controle sobre a terceirização das atividades, conforme leis em vigor.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	true	Analysis
99	SHR.O0.507	Proc. Gerenc. Recursos Humanos	Processos, procedimentos e filosofia de incentivo, capacitação e desenvolvimento de recursos humanos.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	true	Analysis
100	SHR.O0.508	Legislação do Setor	Conhecimento e atendimento à legislação específica do setor de atuação quanto aos recursos humanos.	Condition	Mandatory	To Be Defined	false	true	true	true	Analysis
101		2.3.11a) Requisitos de Stakeholder de Produto do UMB SCOE para o cenário U36: UMB SCOE em transporte									
102	SHR.36.001	Rack Transportável	Provisão para utilização do mesmo rack para operação e transporte do UMB SCOE	Function	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Analysis
103	SHR.36.002	Caixas Transportáveis	Provisão para utilização de caixas transportáveis para acessórios do UMB SCOE, que simplifiquem a movimentação com pouca equipe.	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	false	Analysis
104	SHR.36.003	Normas para Racks e Caixas Transportáveis	Provisão para utilização de racks e caixas transportáveis que obedecem normas internacionais para transporte terrestre/aéreo e protegidos contra impacto e intempéries.	Condition	Mandatory	To Be Defined	true	true	false	true	Analysis

Fonte: Produção do autor.

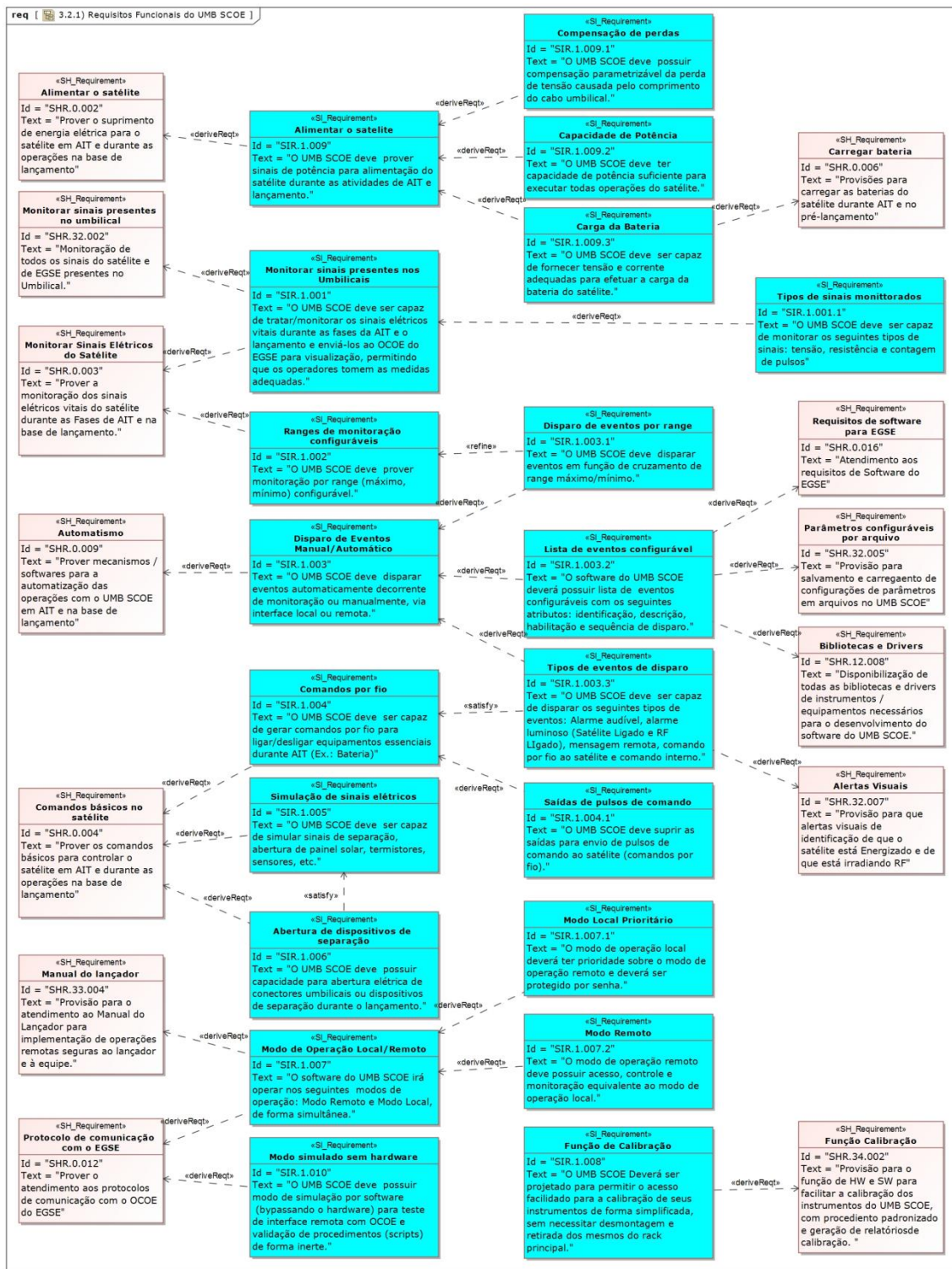




## D.3 Análise de requisitos do UMB SCOE

### D.3.1 Requisitos funcionais do UMB SCOE

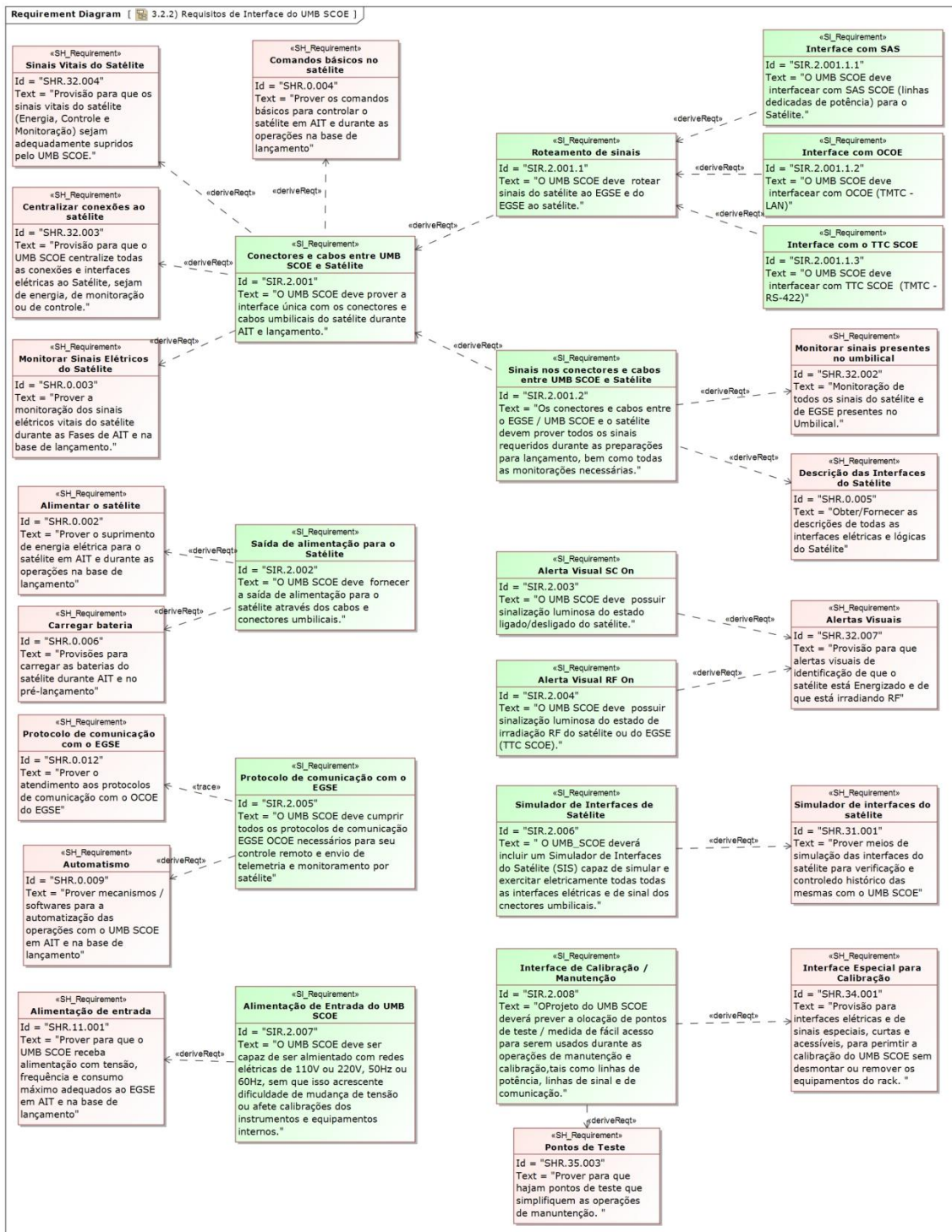
Figura D.48 - Análise de requisitos funcionais do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

## D.3.2 Requisitos de interface do UMB SCOE

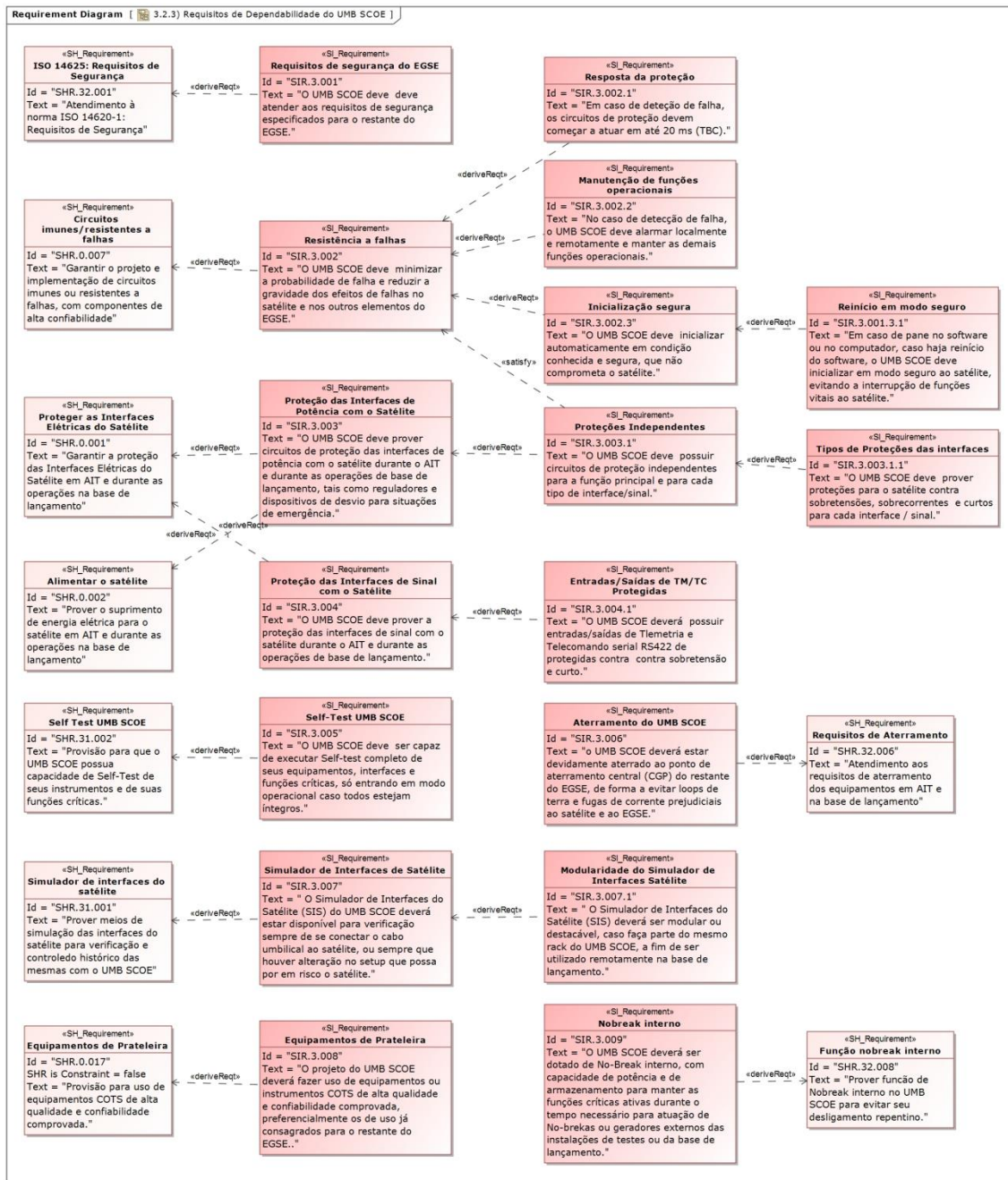
Figura D.49 - Análise de requisitos de interface do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

### D.3.3 Requisitos de dependabilidade do UMB SCOE

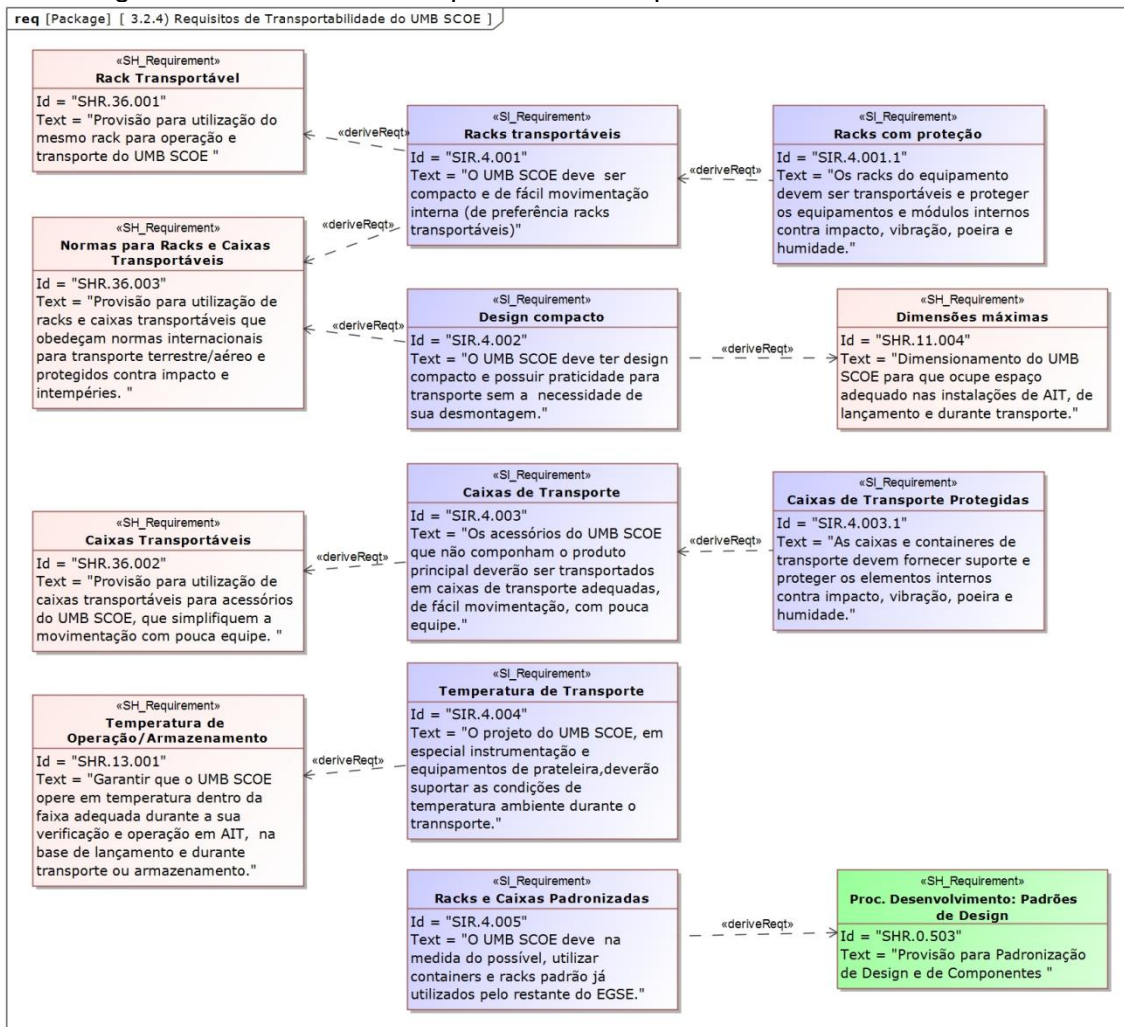
Figura D.50 - Análise de requisitos de dependabilidade do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

### D.3.4 Requisitos de transportabilidade do UMB SCOE

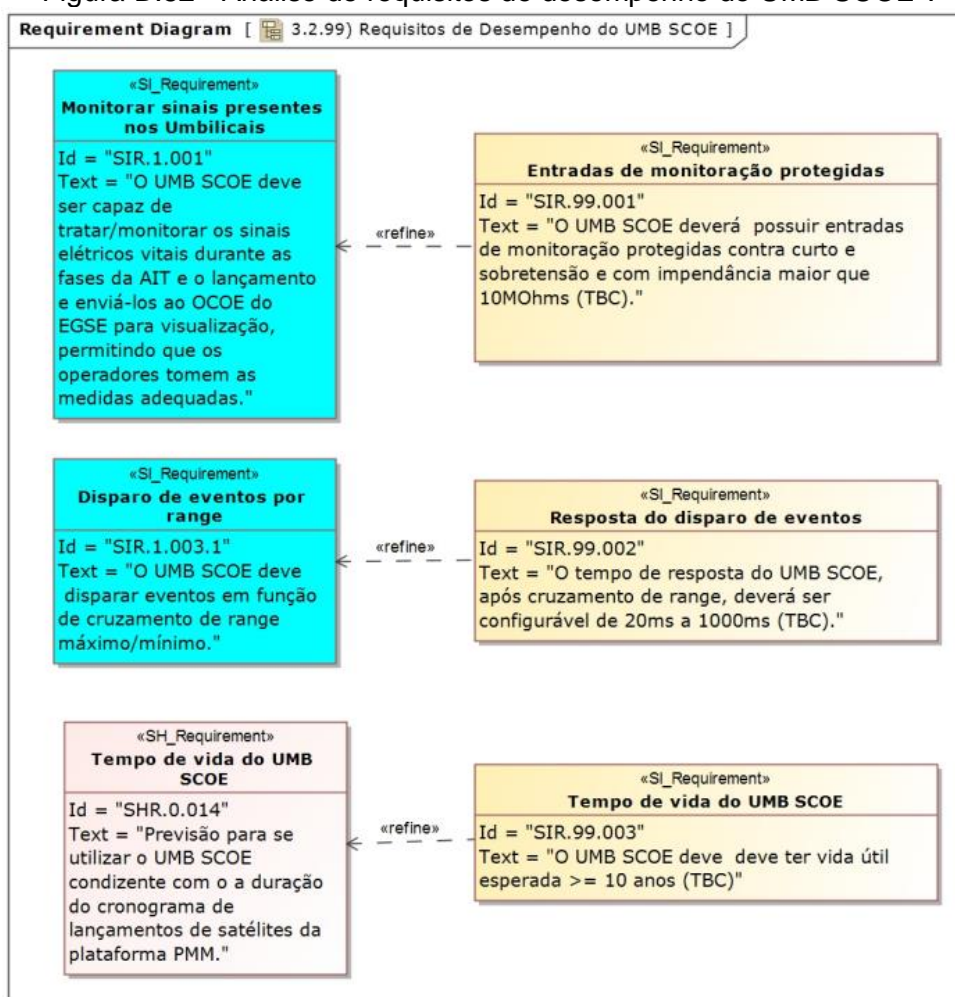
Figura D.51 - Análise de requisitos de transportabilidade do UMB SCOE".



Fonte: Produção do autor.

### D.3.5 Requisitos de desempenho do UMB SCOE

Figura D.52 - Análise de requisitos de desempenho do UMB SCOE".



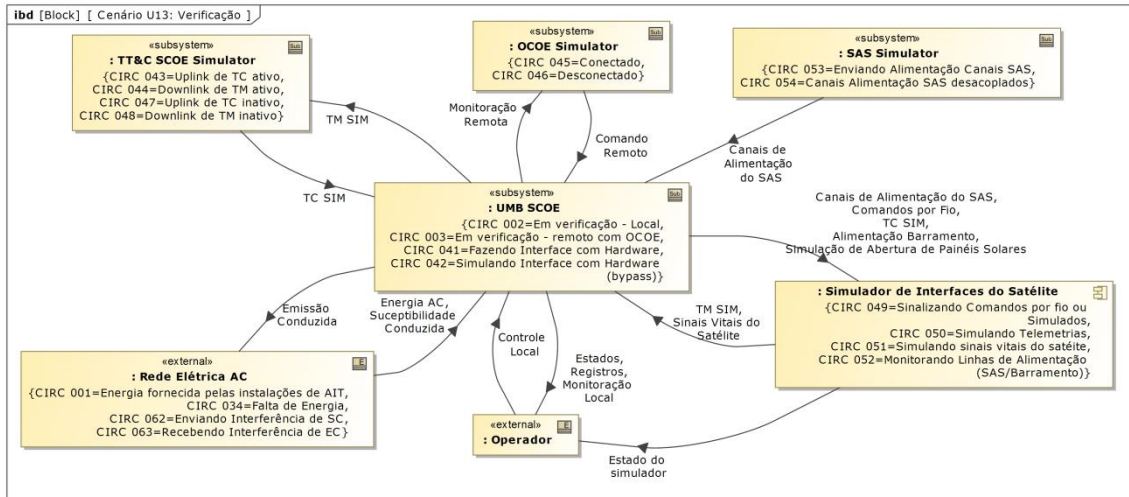
Fonte: Produção do autor.

## D.4 Análise Funcional do UMB SCOE

### D.4.1 Identificação das fronteiras, interfaces e análise de ambiente do UMB SCOE

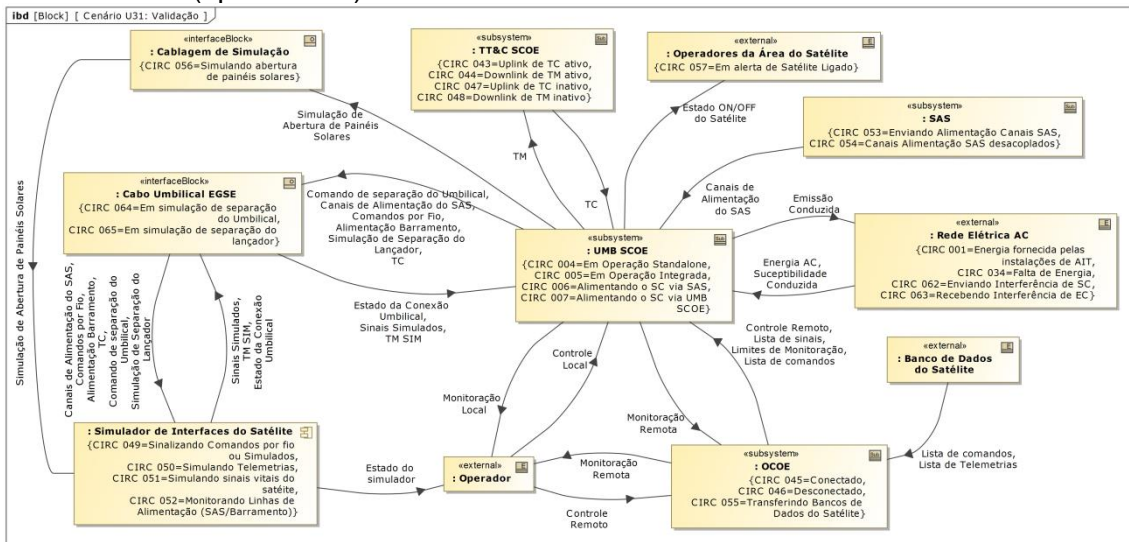
#### D.4.1.1 Cenários Operacionais

Figura D.53 - Modelagem de ambiente para cenário U13 e suas circunstâncias (operacional).



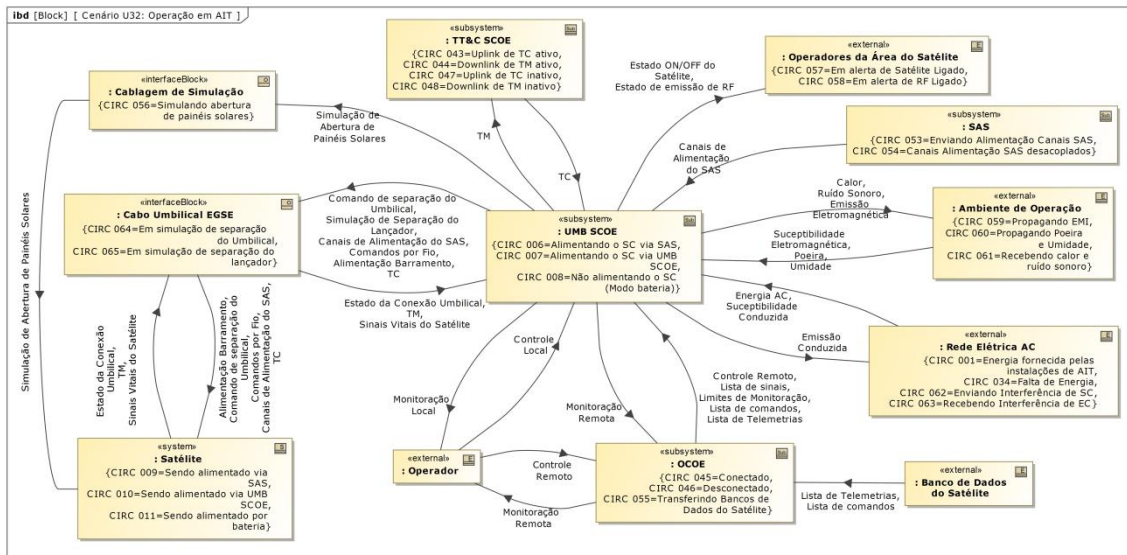
Fonte: Produção do autor.

Figura D.54 - Modelagem de ambiente para cenário U31 e suas circunstâncias (operacional).



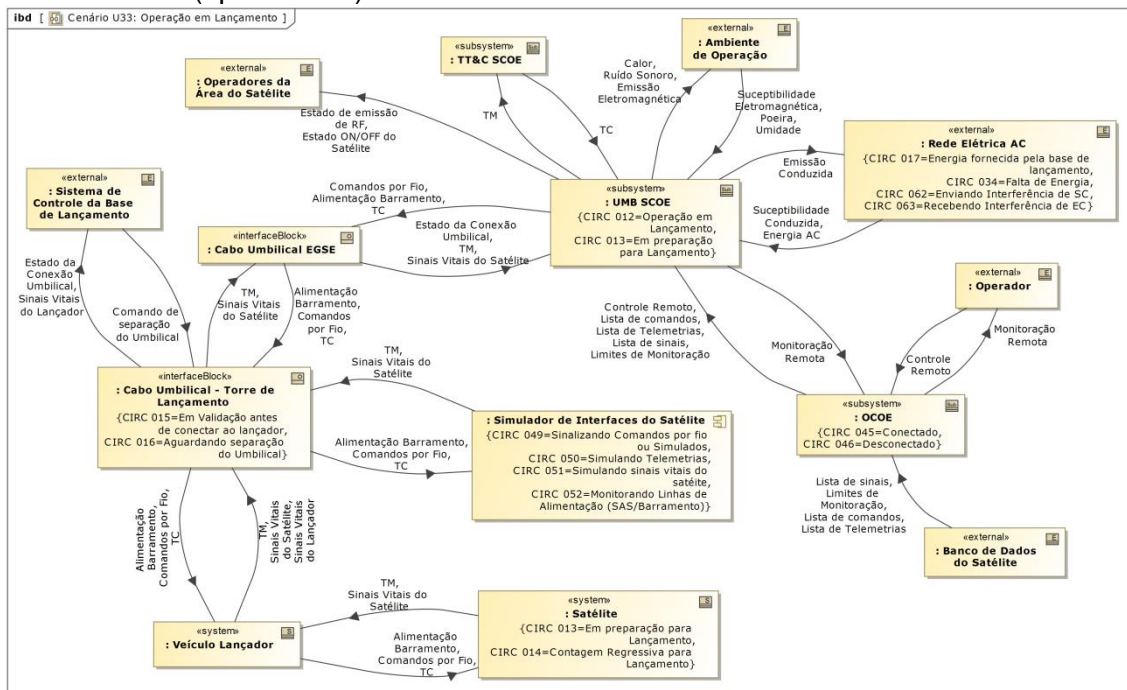
Fonte: Produção do autor.

Figura D.55 - Modelagem de ambiente para cenário U32 e suas circunstâncias (operacional).



Fonte: Produção do autor.

Figura D.56 - Modelagem de ambiente para cenário U33 e suas circunstâncias (operacional).

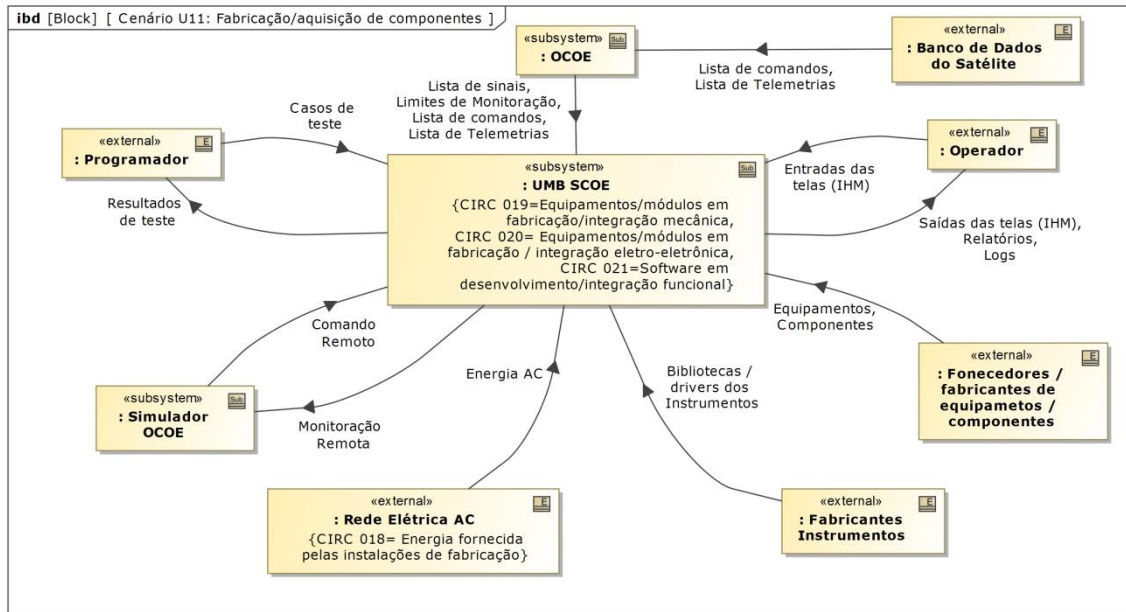


Fonte: Produção do autor.



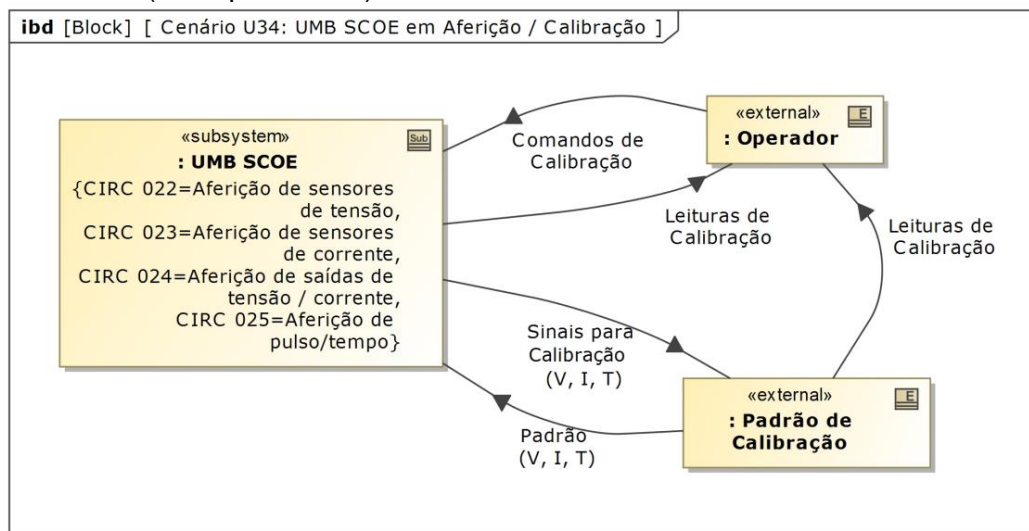
### D.4.1.2 Cenários não-operacionais

Figura D.57 - Modelagem de ambiente para cenário U11 e suas circunstâncias (não operacional).



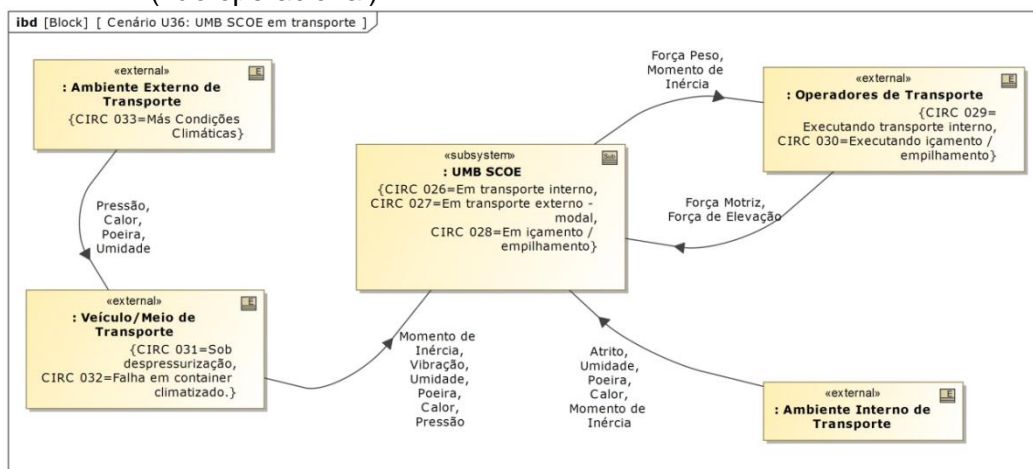
Fonte: Produção do autor.

Figura D.58 - Modelagem de ambiente para cenário U34 e suas circunstâncias (não operacional).



Fonte: Produção do autor.

Figura D.59 - Modelagem de ambiente para cenário U36 e suas circunstâncias (não operacional).



Fonte: Produção do autor.

#### D.4.2 Estados e modos do UMB SCOE derivados das circunstâncias

Tabela D.6 - Lista preliminar de estados e modos derivados das circunstâncias para o UMB SCOE.

Circunstância	Estado UMB SCOE	Modo UMB SCOE							
		Inoperante	Operante	Local	Remoto	HW Simulado	HW Real	Standalone	Integrado
<b>Cenário U13 - Verificação</b>									
Em falta de energia AC	UMB SCOE desenergizado	X							
Energia fornecida pelas instalações de AIT	UMB SCOE energizado Normal		X	X	X	X	X	X	X
Em falta de energia AC – Com No-Break	UMB SCOE energizado com No-Break		X	X	X	X	X	X	X
Em verificação Local	UMB SCOE inicializando		X	X	X	X	X	X	X
	UMB SCOE operando		X	X	X	X	X	X	X
	UMB SCOE finalizando		X	X	X	X	X	X	X
Em verificação remota com OCOE	OCOE conectado		X		X	X	X	X	X
	OCOE desconectado		X		X	X	X	X	X
Fazendo interface com hardware	UMB SCOE interfaceando com HW		X	X	X		X	X	X
Simulando interface com Hardware	UMB SCOE simulando HW		X	X	X	X			
Uplink de TC ativo	TT&C uplink TC ON		X	X	X		X	X	X
Uplink de TC inativo	TT&C uplink TC OFF		X	X	X		X	X	X
Downlink de TM ativo	TT&C downlink TM ON		X	X	X		X	X	X
Downlink de TM inativo	TT&C downlink TM OFF		X	X	X		X	X	X
Sinalizando Comandos por fio ou Simulados	UMB SCOE enviando comando por fio		X	X	X		X	X	X
Simulando Telemetrias	UMB SCOE recebendo TM do SC		X	X	X		X	X	X
Simulando sinais vitais do satélite	UMB SCOE monitorando sinais vitais do SC		X	X	X		X	X	X
Enviando Alimentação Canais SAS	UMB SCOE recebendo alimentação SAS		X	X	X		X	X	X
Canais Alimentação SAS desacoplados	SAS desacoplado do UMB SCOE		X	X	X		X	X	X
Monitorando Linhas de Alimentação SAS/Barramento	SAS acoplado ao UMB SCOE		X	X	X		X	X	X
	UMB SCOE monitorando Linhas do SAS		X	X	X		X	X	X
	UMB SCOE enviando canais do SAS para SC		X	X	X		X	X	X
	UMB SCOE enviando alimentação barramento		X	X	X		X	X	X
Enviando Interferência de SC	UMB SCOE minimizando envio interferência de SC								

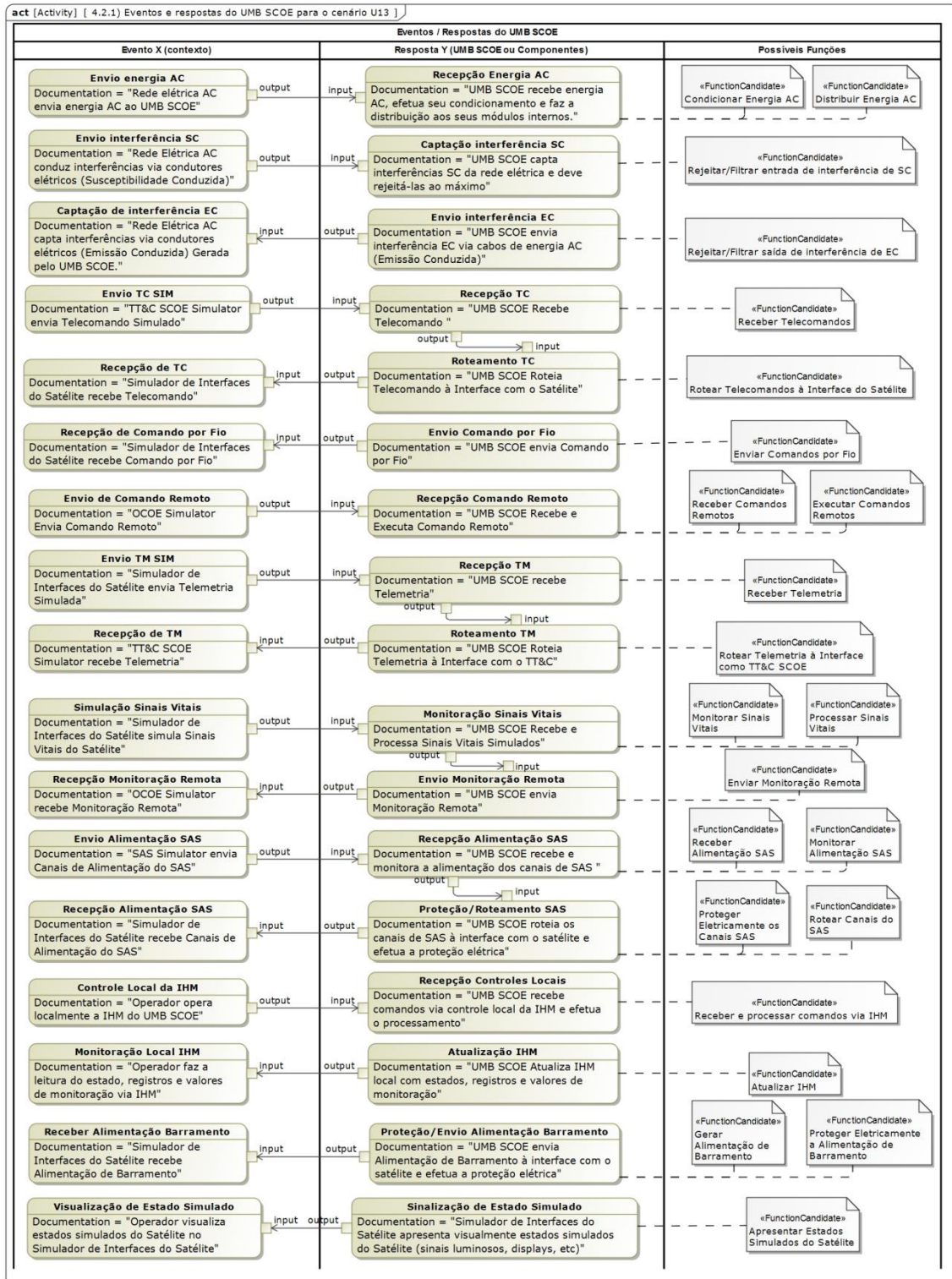
Circunstância	Estado UMB SCOE	Modo UMB SCOE								
		Inoperante	Operante	Local	Remoto	HW Simulado	HW Real	Standalone	Integrado	
Recebendo Interferência de EC	UMB SCOE minimizando recepção interferência de EC									
<b>Cenário U31 – Validação</b>										
Em operação <i>Standalone</i> / Alimentando o SC via UMB SCOE	UMB SCOE enviando alimentação barramento		X	X	X			X	X	X
	UMB SCOE monitorando alimentação barramento		X	X	X			X	X	X
Em operação Integrada	SAS acoplado ao UMB SCOE		X	X	X			X		X
Alimentando o SC via SAS	UMB SCOE enviando canais do SAS para SC		X	X	X			X		X
Transferindo Bancos de Dados do Satélite	UMB SCOE recebendo BD do OCOE		X		X	X		X	X	X
Simulando abertura de painéis solares	UMB SCOE enviando CMD abertura de painéis		X	X				X	X	X
Em alerta de Satélite Ligado	UMB SCOE enviando CMD de SC ON		X	X	X			X	X	X
Em simulação de separação do Umbilical	UMB SCOE enviando CMD Separ. Umbilical		X	X	X			X	X	X
Em simulação de separação do Lançador	UMB SCOE enviando CMD Separ. Lançador		X	X	X			X	X	X
<b>Cenário U32 – Operação em AIT</b>										
Não alimentando o SC (Modo Bateria)	SAS desacoplado do UMB SCOE		X	X	X			X	X	X
	Alimentação barramento desacoplada do UMB SCOE		X	X	X			X	X	X
Em alerta de RF Ligado	UMB SCOE enviando comando de RF ON		X	X	X			X	X	X
Ambiente Propagando EMI	UMB SCOE minimizando emissão de EMI									
	UMB SCOE minimizando recepção de EMI									
Ambiente Propagando poeira e umidade	UMB SCOE filtrando entrada de poeira e umidade									
Ambiente Recebendo Calor e ruído sonoro	UMB SCOE emitindo calor e ruído sonoro		I	I	I	I	I	I	I	I
<b>Cenário U33 – Operação em Lançamento</b>										
Em validação antes de conectar ao lançador / Em preparação para Lançamento	UMB SCOE enviando comando por fio		X		X			X		X
	UMB SCOE recebendo TM do SC		X		X			X		X
	UMB SCOE enviando alimentação barramento		X		X			X		X
	UMB SCOE monitorando sinais vitais do SC		X		X			X		X
Aguardando separação do Umbilical / Em contagem regressiva para Lançamento	UMB SCOE monitorando sinais vitais do SC		X		X			X		X
	UMB SCOE recebendo TM do SC		X		X			X		X

Fonte: Produção do autor.

## D.4.3 Eventos e respostas do UMB SCOE nos cenários

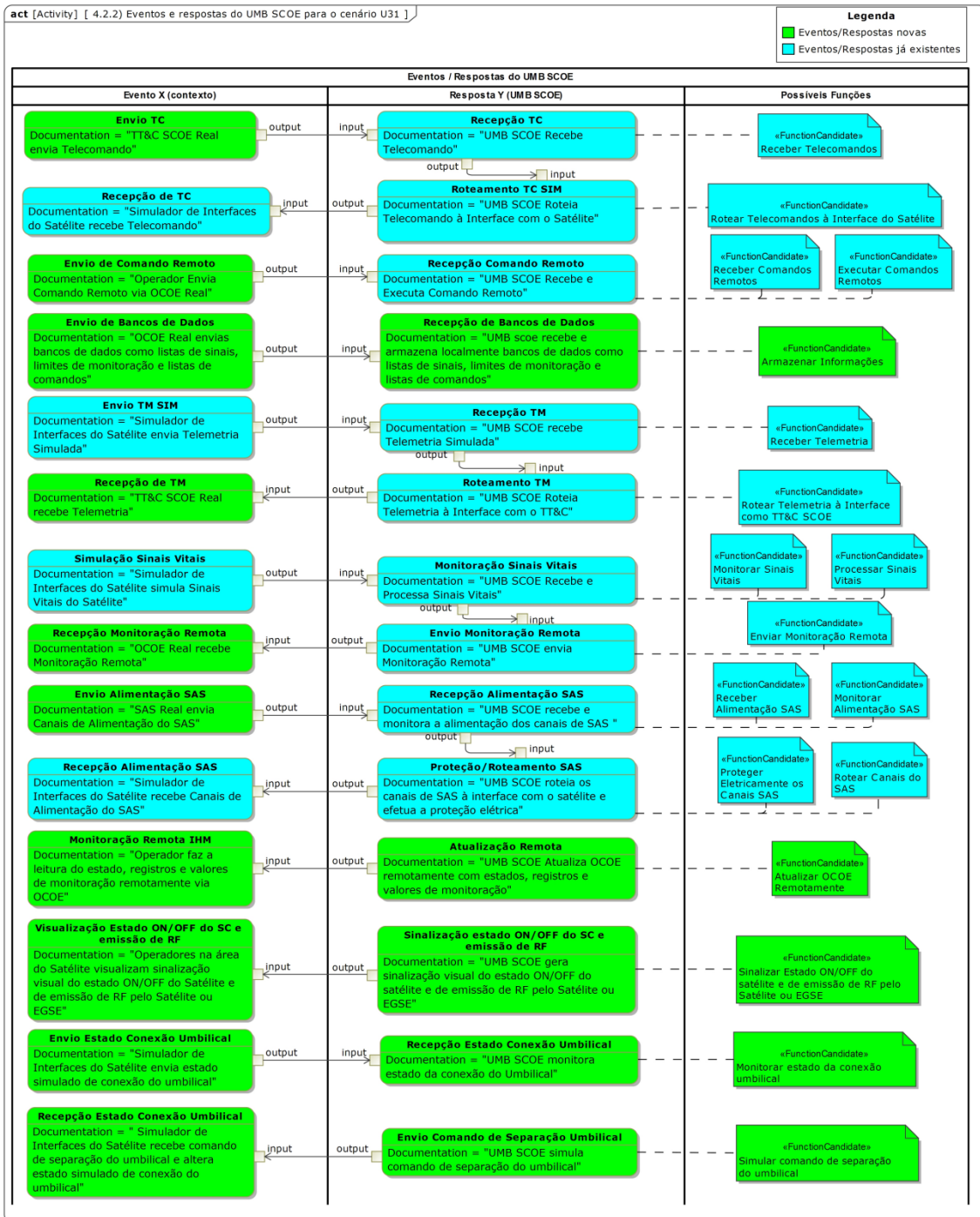
### D.4.3.1 Cenários operacionais

Figura D.60 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U13.



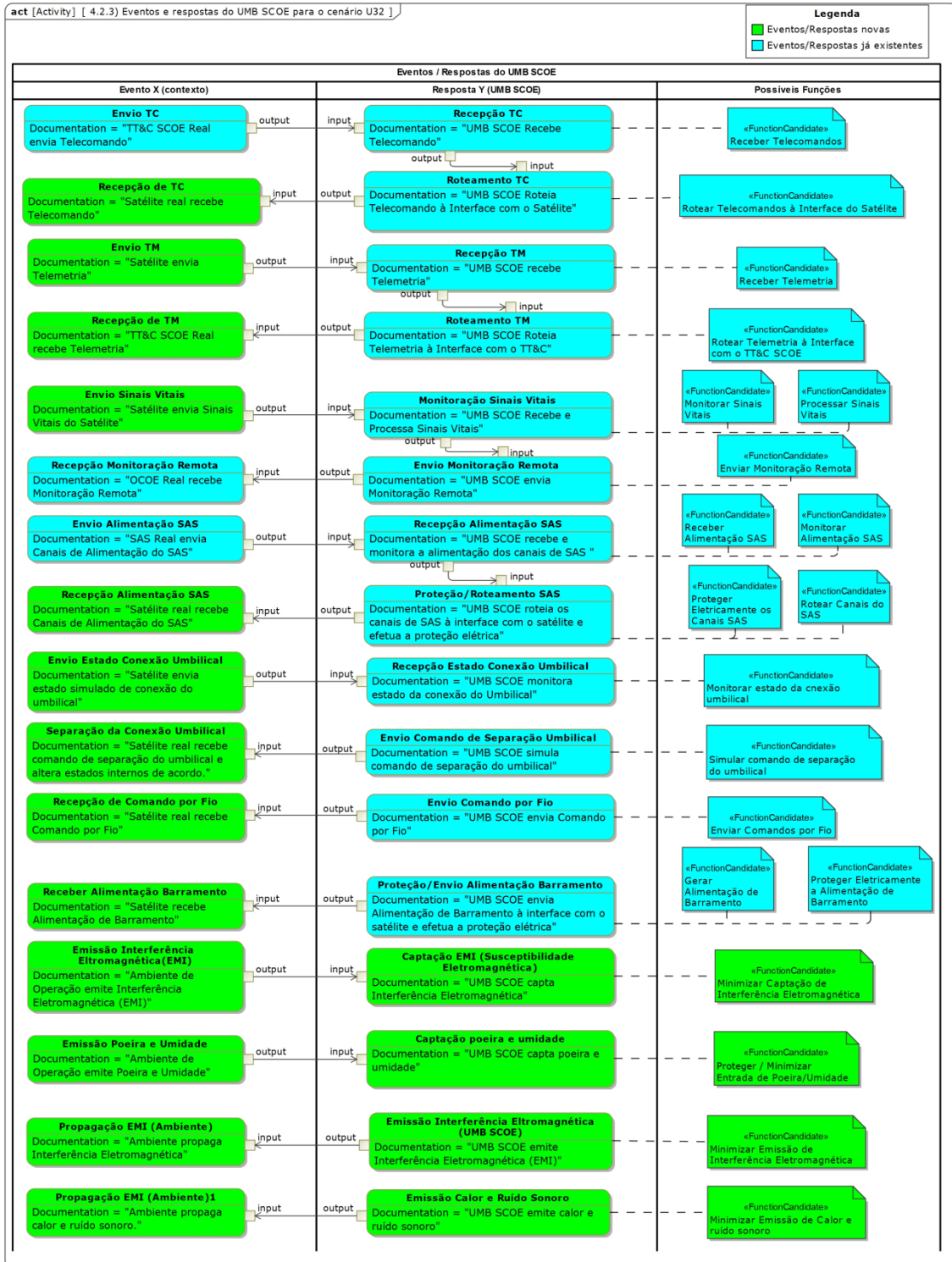
Fonte: Produção do autor.

Figura D.61 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U31.



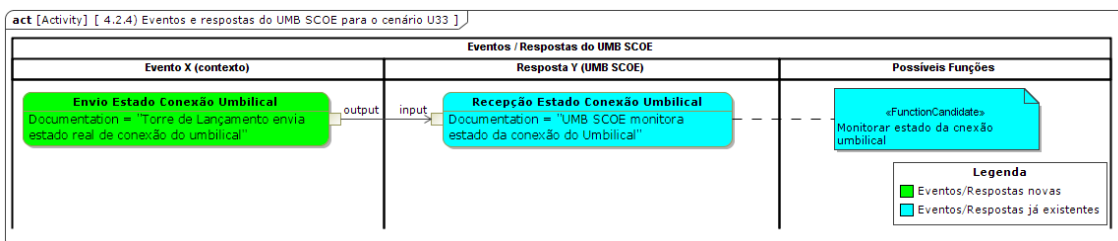
Fonte: Produção do autor.

Figura D.62 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U32.



Fonte: Produção do autor.

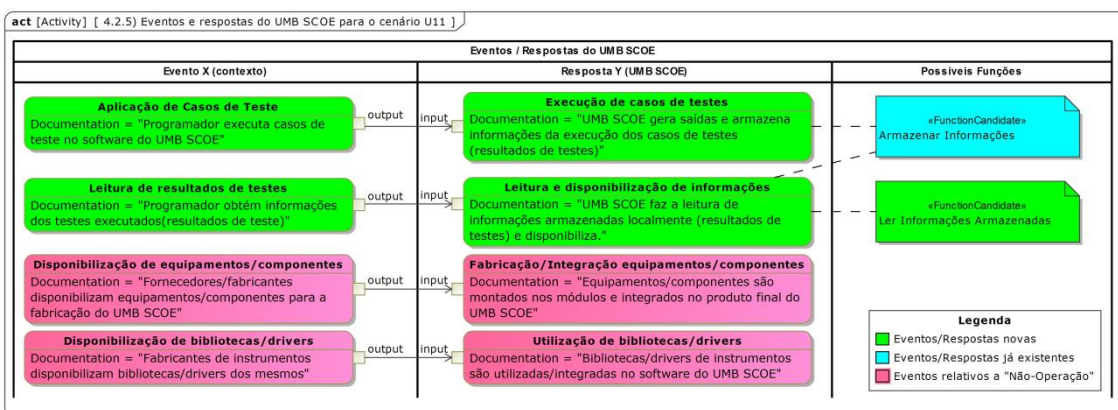
Figura D.63 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U33.



Fonte: Produção do autor.

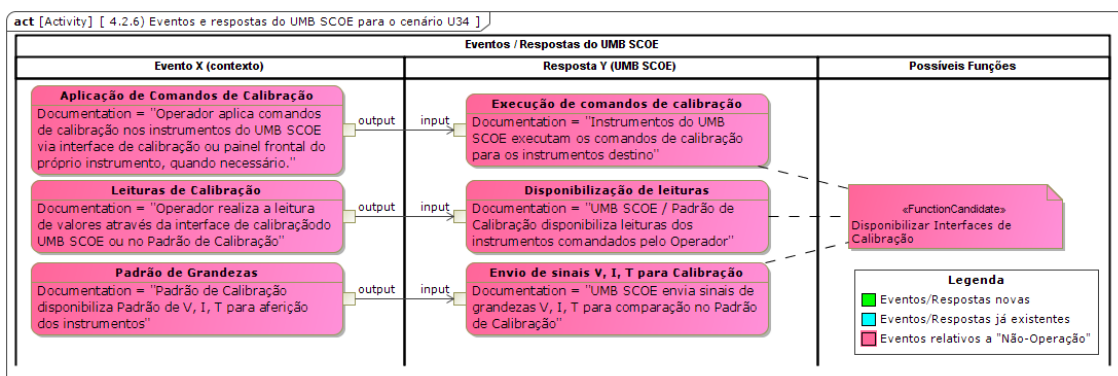
### D.4.3.2 Cenários não-operacionais

Figura D.64 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U11.



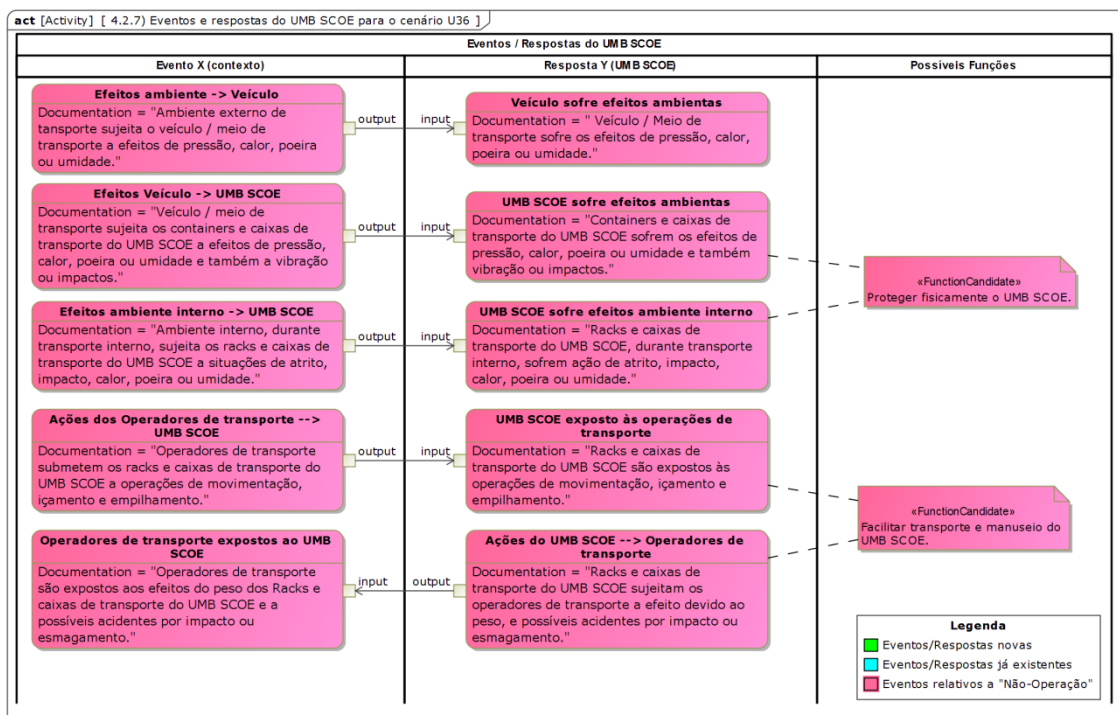
Fonte: Produção do autor.

Figura D.65 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U34.



Fonte: Produção do autor.

Figura D.66 - Eventos e respostas do UMB SCOE para o cenário U36.

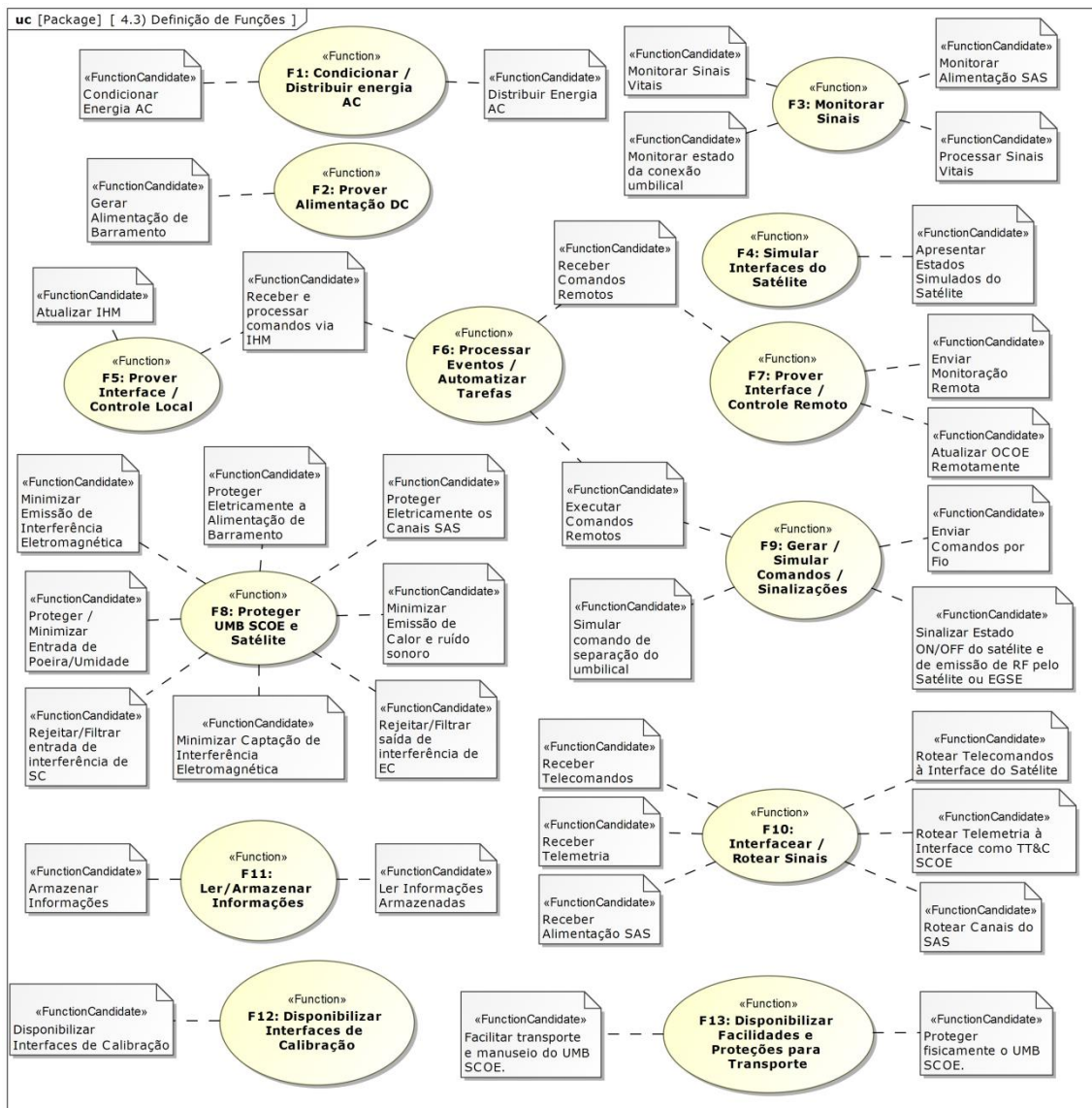


Fonte: Produção do autor.



## D.4.4 Definição de funções do UMB SCOE

Figura D.67 - Definição final das funções do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

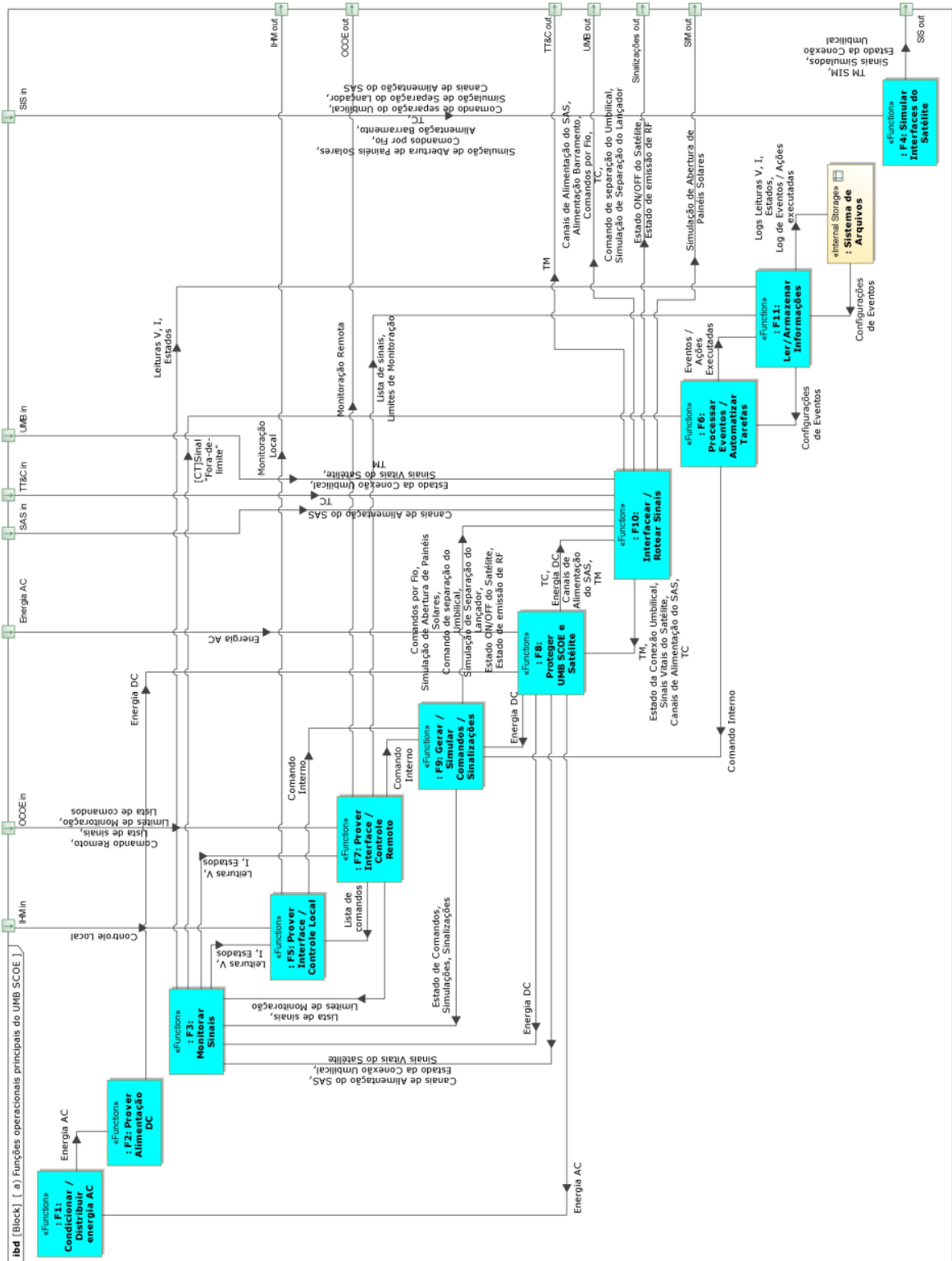
Tabela D.7 - Lista de definição final das funções do UMB SCOE.

#	△ Name	Documentation
1	○ F1: Condicionar / Distribuir energia AC	Função que cuida do condicionamento da energia AC de entrada e realiza a distribuição de energia internamente no UMB SCOE
2	○ F2: Prover Alimentação DC	Função que cuida da geração de energia DC para alimentação de barramento do satélite, e energia DC para uso interno no UMB SCOE.
3	○ F3: Monitorar Sinais	Função que cuida da monitoração de sinais vitais do satélite presentes no cabo umbilical, sinais importantes ao estado do satélite, incluindo sinais do EGSE e monitoração do próprio UMB SCOE .
4	○ F4: Simular Interfaces do Satélite	Função que cuida da simulação de Interfaces e estados do satélite para o UMB SCOE.
5	○ F5: Prover Interface / Controle Local	Função que provê a interface local (IHM) para controle local pelo Operador e visualização de informações diversas.
6	○ F6: Processar Eventos / Automatizar Tarefas	Função para a processamento de eventos e automatização de tarefas baseadas nos eventos e listas de ações pré-programadas.
7	○ F7: Prover Interface / Controle Remoto	Função para prover a interface para controle remoto e envio de informações remotas e telemetrias de/para o OCOE.
8	○ F8: Proteger UMB SCOE e Satélite	Função / Dispositivos para minimizar a propagação de falha e reduzir a gravidade dos efeitos de falha n satélite e nos outros elementos do EGSE, filtragem/rejeição de interferência de SC e EC, surtos de tensão e de corrente.
9	○ F9: Gerar / Simular Comandos / Sinalizações	Função para a geração de pulsos de comando para ligar/desligar para o satélite via cabo umbilical, ou para comandar circuitos / dispositivos de simulação (ex.: simulação de separação) e de sinalizações diversas.
10	○ F10: Interfacear / Rotear Sinais	Função que executa a interface entre o EGSE e o satélite através do conector Ubilical EGSE durante as atividades de AIT e lançamento.
11	○ F11: Ler/Armazenar Informações	Função que cuida do armazenamento e leitura das informações da execução de testes, logs de comandos, comunicações, configuração e logs de eventos, listas diversas, etc.
12	○ F12: Disponibilizar Interfaces de Calibração	Função para a disponibilização de interfaces para facilitar a calibração dos equipamentos e instrumentos de medida do UMB SCOE quando estiverem em AIT ou campanha de lançamento.
13	○ F13: Disponibilizar Facilidades e Proteções para Transporte	Função para a disponibilização de facilidades para o transporte dos racks e caixas de transporte do UMB SCOE, bem como para proteger os mesmos contra efeitos e intempéries ambientais.

Fonte: Produção do autor.

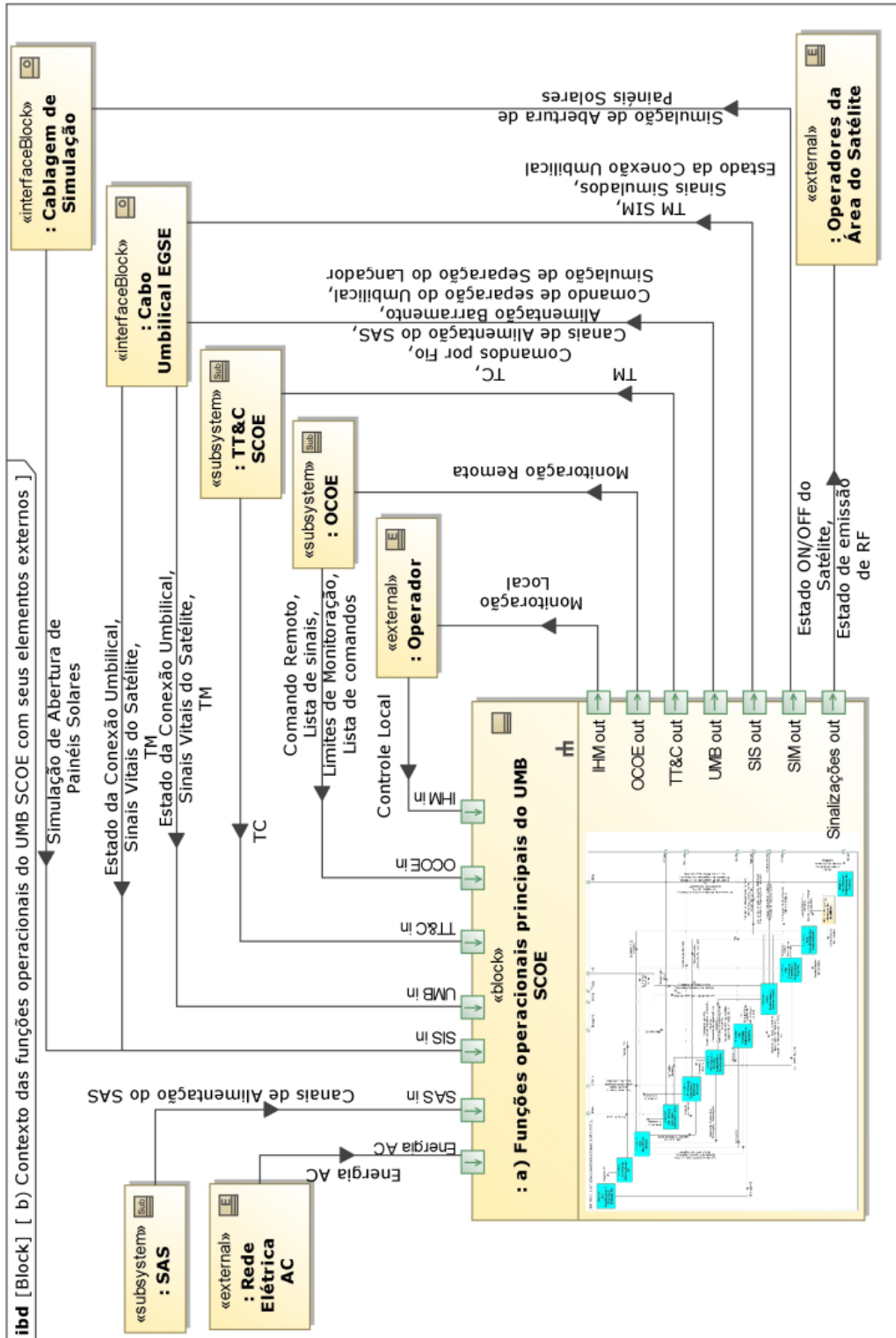
## D.4.5 Análise de estrutura funcional do UMB SCOE

Figura D.68 – Estrutura funcional das funções operacionais principais do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

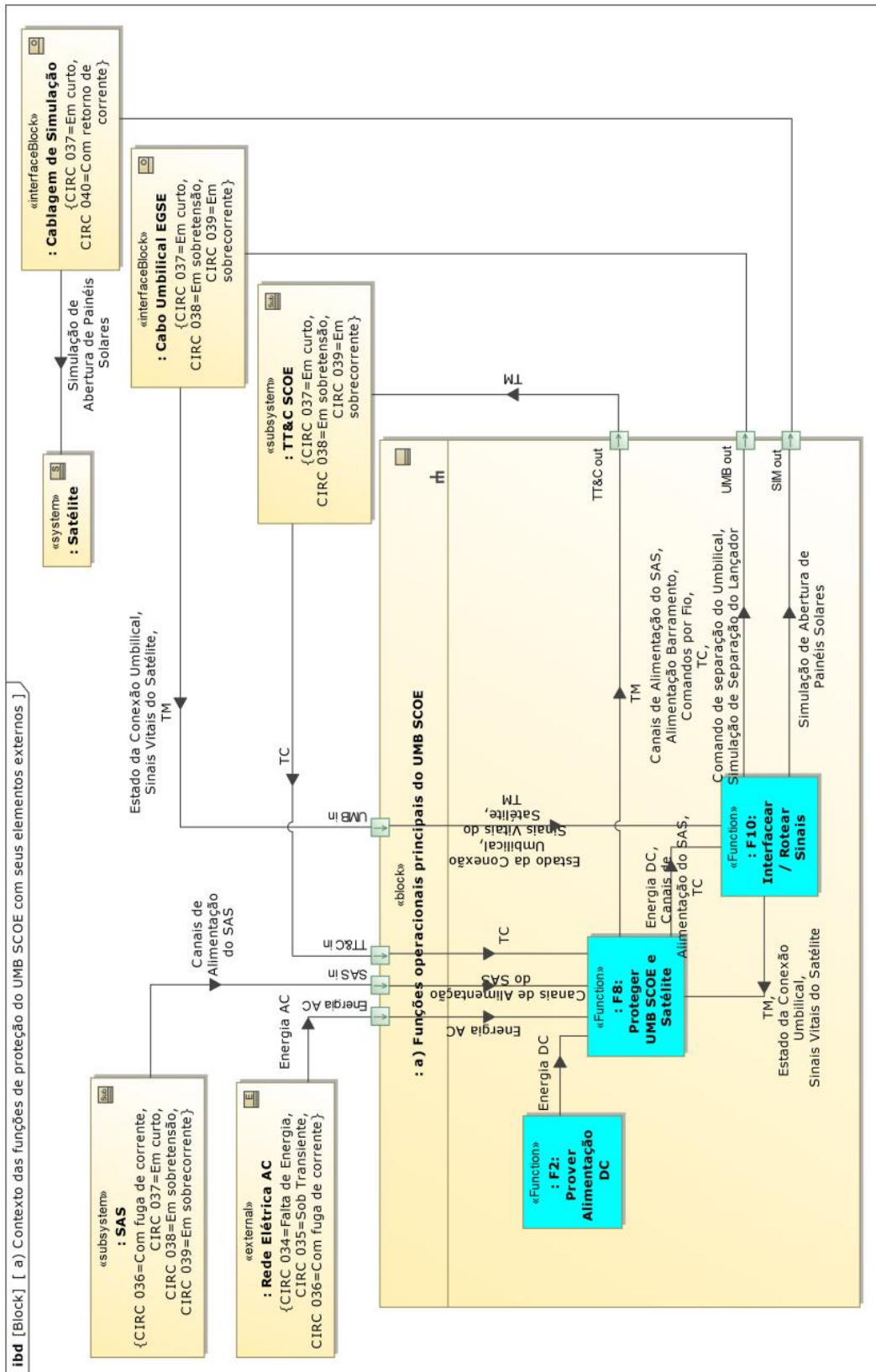
Figura D.69 – Estrutura funcional das funções operacionais do UMB SCOE com seus elementos externos.



Fonte: Produção do autor.



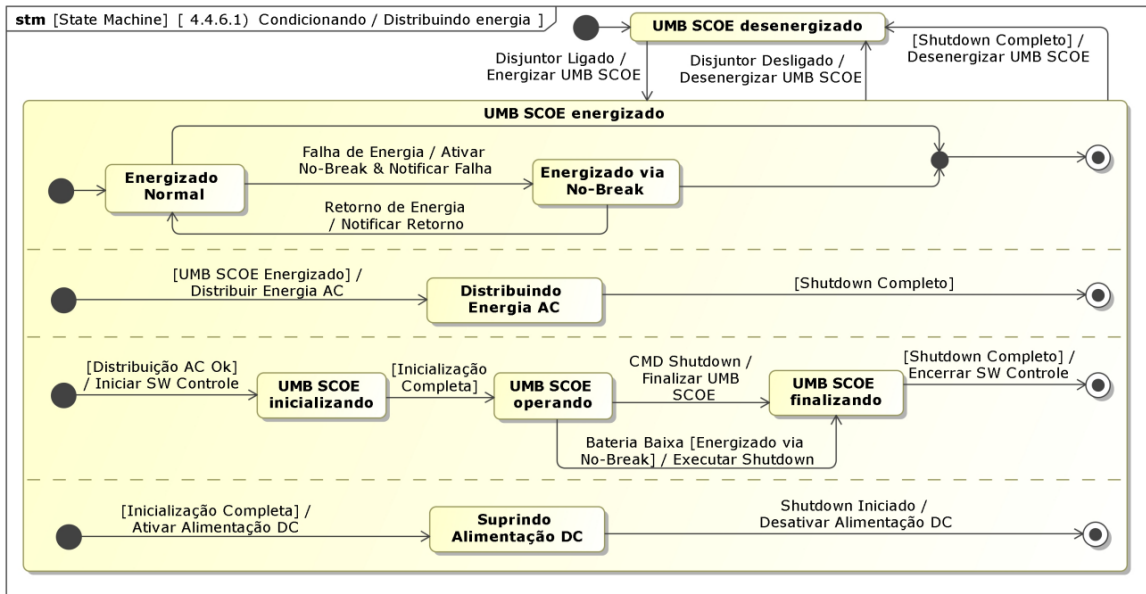
Figura D.71 - Estrutura funcional das funções relacionadas à proteção no UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.

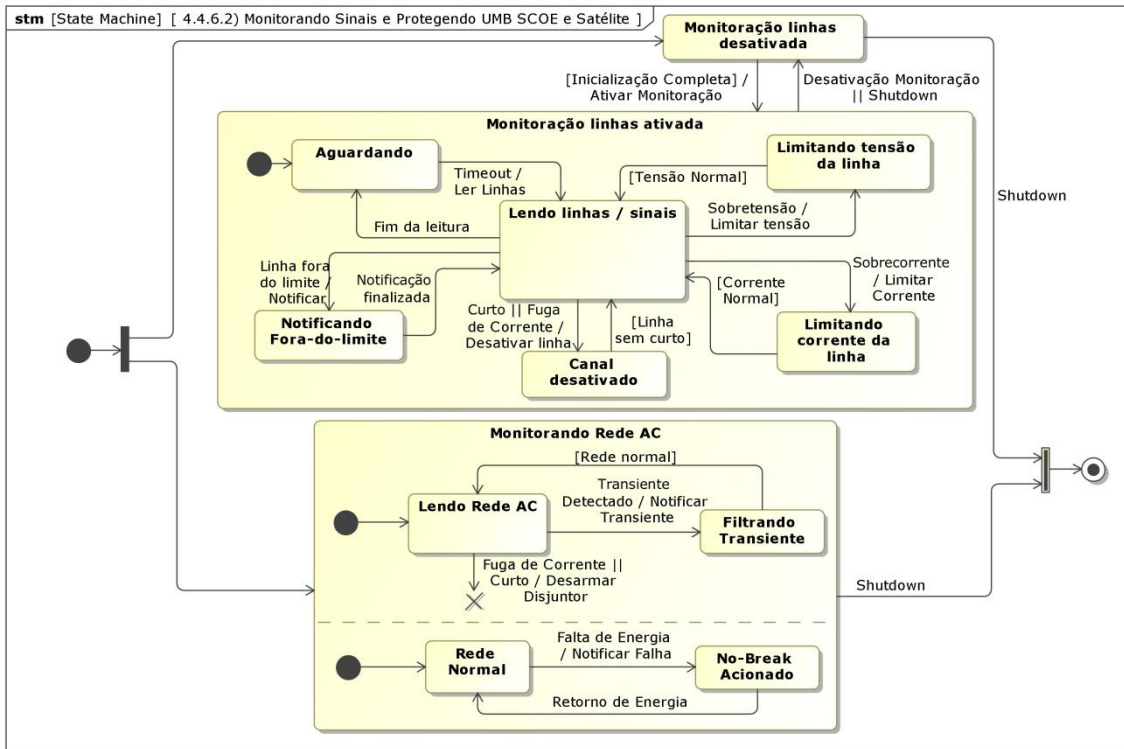
### D.4.6 Análise de comportamento funcional do UMB SCOE

Figura D.72 - Máquina de estados para as funções F1: condicionar / distribuir energia AC e F2: prover alimentação DC.



Fonte: Produção do autor.

Figura D.73 - Máquina de estados para as funções F8: proteger UMB SCOE e satélite e F3: monitorar sinais.

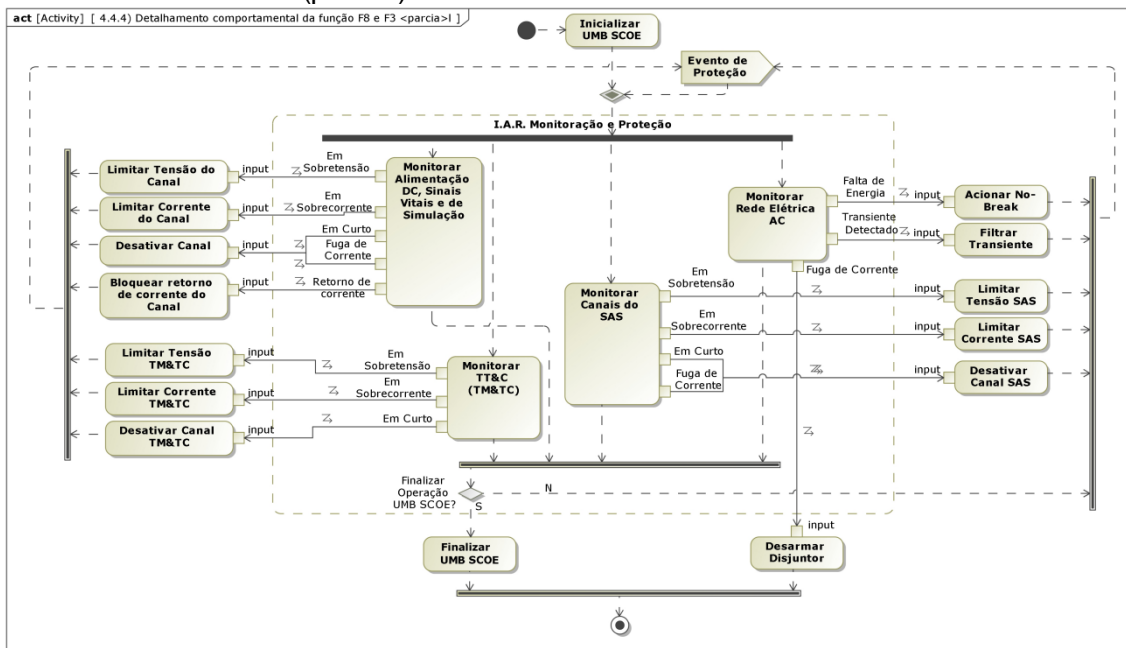


Fonte: Produção do autor.

Notou-se que essa análise não é suficiente para evidenciar o comportamento da função “F8: Proteger UMB SCOE e satélite”, em especial com relação às novas circunstâncias identificadas. Uma vez que ela cuida sozinha das proteções, o diagrama não mostra, por exemplo, os sinais de controle que atuam quando surgirem estas circunstâncias.

Para isso, foi feito uma análise mais aprofundada de comportamento desta função, o que foi feito por meio do diagrama de atividades, Já utilizado anteriormente, no qual podemos detalhar mais adequadamente os eventos causados pelas circunstâncias, e as ações de resposta e de controle apropriadas do sistema de interesse. Isso é mostrado na Figura D.74.

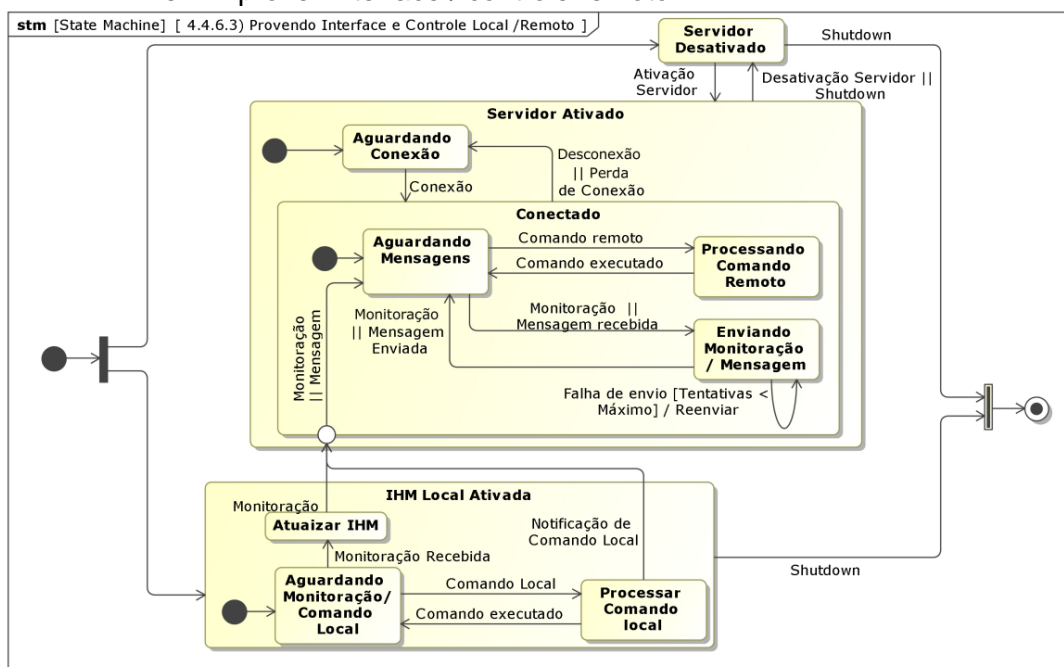
Figura D.74 - Diagrama de atividades com detalhamento do comportamento da função F8 e F3 (parcial).



Fonte: Produção do autor.

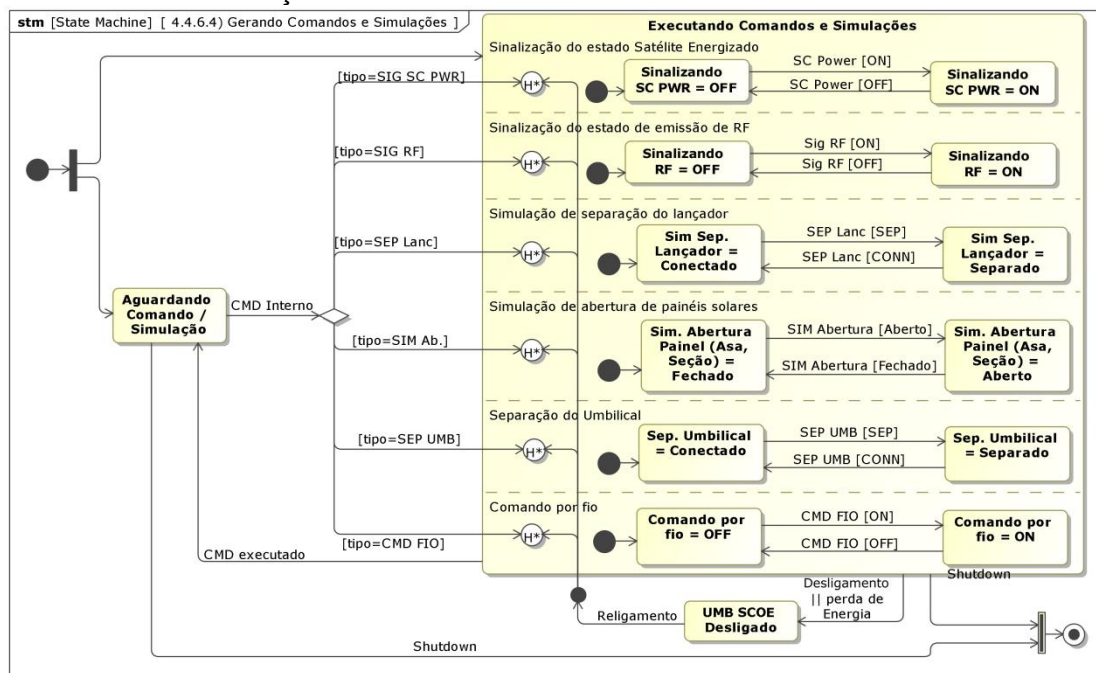


Figura D.75 - Máquina de estados para as funções F5: prover interface / controle local e F7: prover interface / controle remoto.



Fonte: Produção do autor.

Figura D.76 - Máquina de estados para a função F9: gerar / simular comandos / sinalizações.

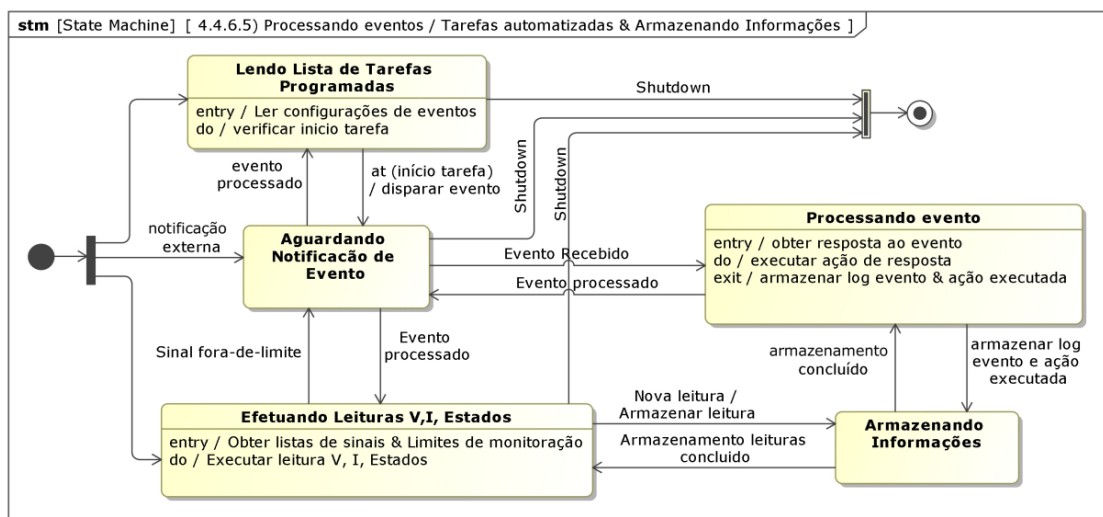


Fonte: Produção do autor.

Na Figura D.77 temos um diagrama de estados que se utiliza de um estado ortogonal (Estado “Executando Comandos e Simulações”), cujas sub-regiões são executadas de forma simultânea. Além disso novos comandos são encaminhados para pseudo-estados de “*deep history*” ( $H^*$ ), que armazena cada sub-estado de cada sub-região. Isto porque, após a execução dos comandos e simulações, os estados devem permanecer inalterados após seu acionamento. Além disso, em caso de desligamento inesperado, o estado do satélite deve ser mantido (desligamento / religamento em modo seguro).

Já no diagrama da Figura D.77 foi utilizado o recurso de ações de entrada (*entry*), permanência (*do*) e saída dos estados (*exit*), onde necessário, tornando a complexidade visual do diagrama muito menor do que seria em outras situações, mas mantendo a descrição comportamental desejada para as funções em questão.

Figura D.77 - Máquina de estados para as funções F6: processar eventos / automatizar tarefas e F11: ler/armazenar informações.



Fonte: Produção do autor.

## D.4.7 Consolidação dos estados e modos do UMB SCOE a partir das funções

Tabela D.8 - Lista consolidada de estados, sub-estados e modos derivados das funções para o UMB SCOE.

Legend	4.4) Definição de Funções													Modos UMB SCOE (4.2) Estados							
Refine	F1: Condicionar / Distribuir ener	F2: Prover Alimentação DC	F3: Monitorar Sinais	F4: Simular Interfaces do Satélite	F5: Prover Interface / Controle	F6: Processar Eventos / Automa	F7: Prover Interface / Controle	F8: Proteger UMB SCOE e Satélite	F9: Gerar / Simular Comandos /	F10: Interfacer / Rotear Sinais	F11: Ler/Armazenar Informação	F12: Disponibilizar Interfaces de	F13: Disponibilizar Facilidades e	Modo Inoperante	Modo Operante	Modo Local	Modo Remoto	Modo HW Simulad	Modo HW Real	Modo Standalone	Modo Integrado
Trace	9	9	13	11	5	11	13	15	5					1	52	48	50	31	52	52	52
4.4.6) Análise de Transições de Estados e Modos do UMB SCOE	9	9	13	11	5	11	13	15	5					1	52	48	50	31	52	52	52
4.4.6.1) Condicionando / Distribuindo energia	9	9												1	8	8	8	8	8	8	8
4.4.6.1.1) Condicionando / Distribuindo energia	9	9												1	8	8	8	8	8	8	8
UMB SCOE desenergizado	2	↗												1	↗						
UMB SCOE energizado	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Energizado Normal	2	2												2	2	2	2	2	2	2	2
Energizado via No-Break	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Distribuindo Energia AC	1	1												1	1	1	1	1	1	1	1
UMB SCOE finalizando	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
UMB SCOE inicializando	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
UMB SCOE operando	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Suprindo Alimentação DC	1	1												1	1	1	1	1	1	1	1
4.4.6.2) Monitorando Sinais e Protegendo UMB SCOE e Satélite	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
4.4.6.2.1) Monitorando Sinais e Protegendo UMB SCOE e Satélite			13				13							13	13	13	8	13	13	13	
Monitoração linhas ativada	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Aguardando	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Canal desativado	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Lendo linhas / sinais	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Limitando corrente da linha	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Limitando tensão da linha	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Notificando Fora-do-limite	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Monitoração linhas desativada	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Monitorando Rede AC	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Filtrando Transiente	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Lendo Rede AC	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
No-Break Acionado	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Rede Normal	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
4.4.6.3) Provendo Interface e Controle Local ou Remoto																					
4.4.6.3.1) Provendo Interface e Controle Local /Remoto																					
IHM Local Ativada	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Aguardando Monitoração/Comando Local	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Atualizar IHM	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Processar Comando local	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Servidor Ativado	2	↗												7	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Aguardando Conexão	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Conectado	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Aguardando Mensagens	2	↗												3	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Enviando Monitoração / Mensagem	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Processando Comando Remoto	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Servidor Desativado	2	↗												6	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗

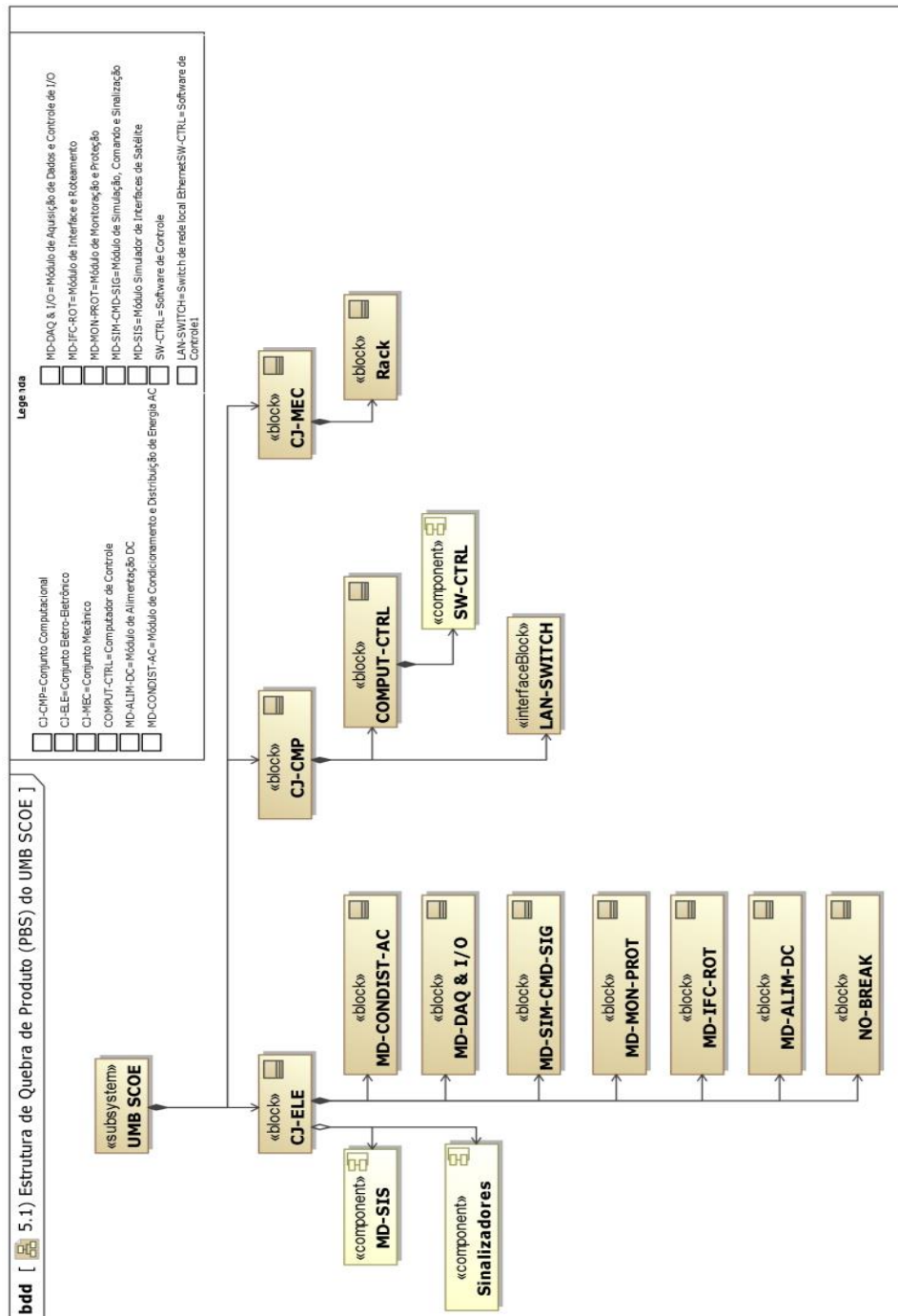


## D.5 Análise de implementação do UMB SCOE

Esta análise encontra-se completa na Seção 6, porém os diagramas foram reapresentados aqui para maior legibilidade.

### D.5.1 Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE


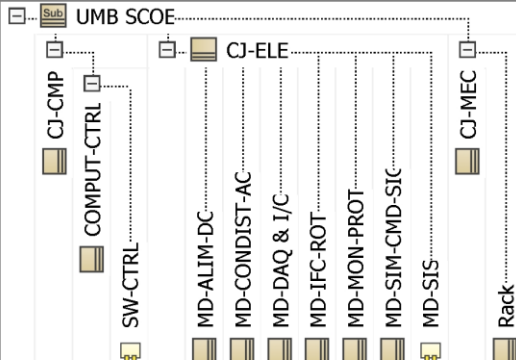



















Figura D.78 - Proposta de arquitetura física genérica do UMB SCOE (PBS).



Fonte: Produção do autor.

## D.5.2 Alocação de funções do UMB SCOPE

Figura D.79 - Alocação de funções para a arquitetura física.

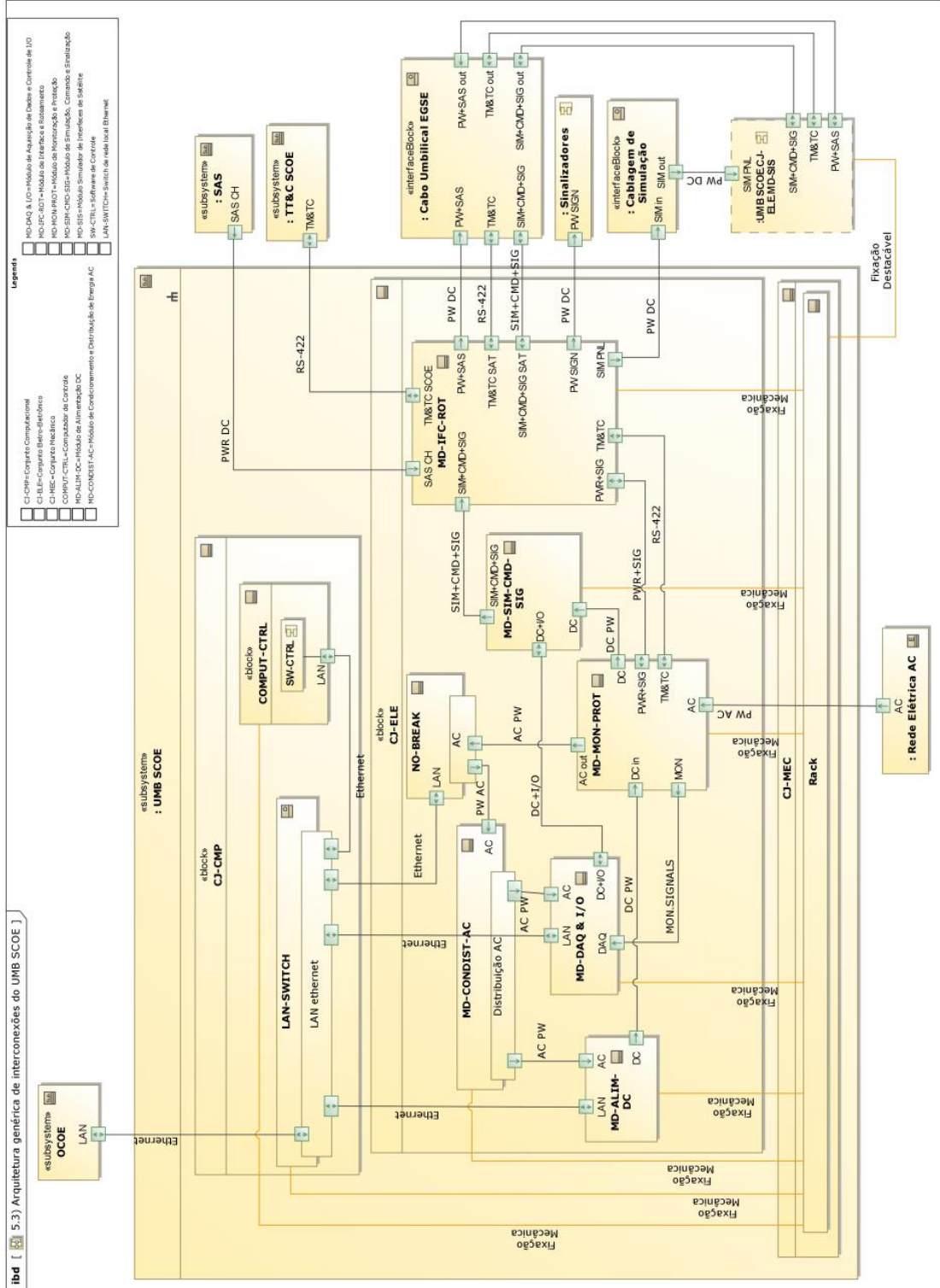
Legend		UMB SCOPE											
 Allocate													
4.4) Definição de Funções		CJ-CMP	COMPUT-CTRL	SW-CTRL	MD-ALIM-DC	MD-CONDIST-AC	MD-DAQ & I/C	MD-IFC-ROT	MD-MON-PROT	MD-SIM-CMD-SIC	MD-SIS	CJ-MEC	Rack
		1	5		1	1	3	2	2	2	1		1
	F1: Condicionar / Distribuir energia AC												
	F2: Prover Alimentação DC												
	F3: Monitorar Sinais												
	F4: Simular Interfaces do Satélite												
	F5: Prover Interface / Controle Local												
	F6: Processar Eventos / Automatizar Tarefas												
	F7: Prover Interface / Controle Remoto												
	F8: Proteger UMB SCOPE e Satélite												
	F9: Gerar / Simular Comandos / Sinalizações												
	F10: Interfacear / Rotear Sinais												
	F11: Ler/Armazenar Informações												
	F12: Disponibilizar Interfaces de Calibração												
	F13: Disponibilizar Facilidades e Proteções para Transpo												

Fonte: Produção do autor.



## D.5.4 Proposta de arquitetura física genérica de interconexões do UMB SCOE

Figura D.81 - Proposta de arquitetura genérica de interconexões do UMB SCOE.



Fonte: Produção do autor.