



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/04.11.00.17-TDI

MULTIMETODOLOGIA PARA A ESTRUTURAÇÃO DE NECESSIDADES DE STAKEHOLDERS NAS FASES INICIAIS DA ENGENHARIA DE SISTEMAS

Priscila Renata Silva Barros

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Geilson Loureiro, e Christopher Shneider Cerqueira, aprovada em 09 de abril de 2024.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/4B4U6UP>

INPE
São José dos Campos
2024

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
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 INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/04.11.00.17-TDI

MULTIMETODOLOGIA PARA A ESTRUTURAÇÃO DE NECESSIDADES DE STAKEHOLDERS NAS FASES INICIAIS DA ENGENHARIA DE SISTEMAS

Priscila Renata Silva Barros

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Geilson Loureiro, e Christopher Shneider Cerqueira, aprovada em 09 de abril de 2024.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/4B4U6UP>>

INPE
São José dos Campos
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barros, Priscila Renata Silva.

B278m Multimetodologia para a estruturação de necessidades de stakeholders nas fases iniciais da engenharia de sistemas / Priscila Renata Silva Barros. – São José dos Campos : INPE, 2024.
xxiv + 251 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2024/04.11.00.17-TDI)

Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2024.

Orientadores : Drs. Geilson Loureiro, e Christopher Shneider Cerqueira.

1. Engenharia de sistemas. 2. Métodos de estruturação de problemas. 3. Linguagem natural controlada. 4. Desenvolvimento ágil. 5. Sistemas espaciais. I.Título.

CDU 681.5:629.78



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

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



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DEFESA FINAL DE TESE DE PRISCILA RENATA SILVA BARROS BANCA Nº 060/2024, REGISTRO 134724/2018

No dia 09 de abril de 2024, às 14:00 horas, por videoconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Doutora em Engenharia e Tecnologia Espaciais / Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais. O trabalho não precisa de correções.

Novo Título: Multimetodologia para a estruturação de necessidades de *stakeholders* nas fases iniciais da Engenharia de Sistemas”.

Membros da Banca:

Dra. Maria de Fatima Mattiello Francisco – Presidente – INPE
Dr. Geilson Loureiro – Orientador – INPE
Dr. Christopher Shneider Cerqueira - Orientador - ITA
Dr. Fabiano Luis de Sousa – Membro Interno – INPE
Dra. Níssia Carvalho Rosa Bergiante – Membro Externo – UFF
Dra. Maria Cecília Pereira de Faria – Membro Externo – UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Fabiano Luís de Sousa, Tecnologista**, em 17/04/2024, às 08:33 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CHRISTOPHER SHNEIDER CERQUEIRA (E), Usuário Externo**, em 17/04/2024, às 08:44 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria cecilia pereira de faria (E), Usuário Externo**, em 17/04/2024, às 09:41 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria de Fatima Mattiello Francisco, Tecnologista**, em 17/04/2024, às 15:46 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Geilson Loureiro, Coordenador-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas**, em 18/04/2024, às 10:45 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Níssia carvalho rosa bergiante (E), Usuário Externo**, em 18/04/2024, às 11:25 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **11825948** e o código CRC **21C6DF52**.

"Deus conhece o fim desde o início".

Isaías 46:10

*A meus filhos **Manuela**, **bebê** e **Mariana**.*

AGRADECIMENTOS

A Deus toda glória, agradeço todo o tempo por me tornar capaz e pelos milagres. São Miguel Arcanjo e Nossa Senhora toda inspiração e proteção.

Aos meus filhos Manuela, bebê e Mariana, por estarem em meu coração sempre e por um dia compreenderem minhas abdicções para realizar este meu outro sonho. Aos meus pais, José Wever de Barros e Irene Silva Barros, que sempre me incentivaram aos estudos, os que mais torceram e rezaram para que tudo desse certo.

Alexandre Cardoso e meus irmãos Leila Marcia e Alci.

À toda minha família, amo vocês.

Quando iniciei o doutorado um professor me afirmou que eu não deveria prosseguir por ser mãe - “Mãe, o que é desistir? Não sei filha, somos mulheres.” - não desisti, pela graça de Deus ter feito presente outros verdadeiros maravilhosos professores que confiaram em mim, que eu faria o meu melhor, meu muito obrigada, ao Prof. Geilson Loureiro por me lembrar quem eu era e ao Prof. Christopher Cerqueira que me propiciou todos os meios para que eu conseguisse me dedicar, além de suas valiosas orientações. Que minhas filhas saibam que elas foram e são minha fortaleza.

A todos os professores por compartilharem seus conhecimentos, especialmente aos professores da banca por conduzirem a melhoria da tese através de suas correções e sugestões, Dra. Fatima Mattiello, Dr. Fabiano Luis de Sousa e Dr. Milton Chagas. Às professoras Dra. Níssia Bergiante e Dra. Maria Cecilia Pereira de Faria por aceitarem meu convite para avaliação mas também por terem sido grandes incentivadoras à conclusão do meu trabalho.

No decorrer do doutorado passamos por um momento histórico muito difícil à humanidade, uma pandemia que também será lembrada pelas lições sobre empatia, e aqui agradeço às minhas grandes amigas que foram minha rede de apoio sempre que precisei para a continuidade do doutorado nesta situação atípica, Débora Nogueira, Danielle Rochael, Patrícia Ferrão e minha afilhada Pollyanna.

Às amizades que fiz e fortaleci na pós-graduação Italo Rodrigues, Inaldo Albuquerque, Ana Claudia, Eduardo Burguer, Dubrazkha, Gabriel Coronel, Rosana Teixeira, Guilherme Silva, Rafaela Veloso e todos que foram importantes no momento que convivemos mas que não seria justo citar nominalmente para não esquecer alguém. Bem como a todos os colegas de trabalho que me auxiliaram na execução do caso prático desta tese, singularmente com carinho a Rebeca Camurça, Leonardo Falqueto,

Matheus Cogo, Jeanne Samara e Victoria Rodrigues.

Ao CONCEPTIO, ICEA, SIMUA e Constelação Catarina.

Grata à coordenação e secretaria ETE e INPE. À biblioteca do INPE, em nome de Simone Delducca e André Fernandes agradeço toda atenção com os alunos.

Agradecemos à CAPES pelo auxílio financeiro através do Programa de Demanda Social Processo Número: 88882.444449/2019-01.

RESUMO

O desenvolvimento de sistemas complexos é um desafio ao qual compreender bem as necessidades das pessoas e entidades que afetam ou serão afetadas por este sistema é fundamental para o sucesso de sua realização. Esta tese propõe uma composição de metodologias para auxiliar a eliciação das necessidades dos *stakeholders* nas fases iniciais da Engenharia de Sistemas, através da Estruturação de Problemas e a sistematização pela Linguagem Natural Controlada. O resultado obtido foi a expressão de um artefato, uma multimetodologia, e o desenvolvimento adicional de uma paleta de modelagem no software Capella, método Arcadia, para implementação do Conceito Operacional do sistema. A proposta multimetodológica foi aplicada em dois exemplos reais, um na delimitação dos cenários para detectar e evitar colisões no espaço aéreo não segregado na zona de tráfego de drones e outro na fase inicial de idealização de uma constelação de pequenos satélites brasileiros. Em ambas aplicações foram observadas a geração de conhecimento acerca do problema, impulsionando a engenharia do sistema. As conclusões são que, com o uso da multimetodologia as variações de entendimento do problema podem ser melhor compreendidas e explicitadas, minimizando os conflitos por elas gerados, e que a formalização de uma estrutura de linguagem em prol da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos proporcionou a oportunidade de revisitas ao projeto pelos interessados.

Palavras-chave: Engenharia de Sistemas. Métodos de Estruturação de Problemas. Linguagem Natural Controlada. Desenvolvimento Ágil. MBSE. Sistemas Espaciais.

MULTIMETHODOLOGY FOR ELICITING STAKEHOLDER NEEDS IN THE INITIAL PHASES OF SYSTEMS ENGINEERING

ABSTRACT

The development of complex systems is a challenge in which understanding the needs of the people and entities that affect or will be affected by this system is fundamental to its successful implementation. This thesis proposes a composition of methodologies to aid stakeholder needs elicitation in the initial phases of Systems Engineering through Problem Structuring and systematization using Controlled Natural Language. The result obtained was the expression of an artifact, a multi-methodology, and the additional development of a modeling palette in the Capella software, Arcadia method, to implement the system's Operating Concept. The multimethodological proposal was applied in two real examples, one in the delimitation of scenarios to detect and avoid collisions in non-segregated airspace in the drone traffic zone and the other in the initial phase of idealizing a constellation of small Brazilian satellites. In both applications, we observe the generation of knowledge about the problem, boosting the systems engineering. The conclusions are that, with the use of multimethodology, variations in understanding the problem can be better understood and explained, minimizing the conflicts they generate, and that the formalization of a language structure in favor of Model-Based Systems Engineering provided the opportunity for revisits to the project by those interested in the system.

Keywords: Systems Engineering. Problems Structuring Methods PSM. Controlled Natural Language. Agile Development. Space Systems.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Ciclos de relevância e rigor na <i>Design Science Research</i>	3
2.1 Necessidades dos <i>stakeholders</i>	6
2.2 Elementos chave da Engenharia de Sistemas.	8
2.3 Comparação de modelos de ciclos de vida.	9
2.4 Processo de Referência Engenharia Simultânea de Sistemas.	11
2.5 Processo de Referência: Definição do Problema - Análise da Missão.	11
2.6 Processo de Referência: Definição do Problema - Análise dos <i>Stakeholders</i> e ciclo de vida.	12
2.7 Processo de Referência: Definição do Problema - Definição da Arquitetura da Missão.	12
2.8 Processo de Referência: Definição do Sistema - Análise Funcional.	13
2.9 Processo de Referência: Definição do Sistema - Projeto da Arquitetura.	14
2.10 Processo de Referência: Definição do Sistema - Projeto Detalhado.	14
2.11 Impactos nos custos do ciclo de vida.	15
2.12 Relação entre os elementos MBSE.	16
2.13 Pontos de vista ARCADIA.	18
2.14 Método ARCADIA.	19
2.15 Extensibilidade do CAPELLA com CAPELLA STUDIO.	20
2.16 SSM.	32
2.17 Exemplo de figura-rica - problema de enchentes em Nova York.	35
2.18 Exemplo Systemigram - problema de detritos espaciais.	37
2.19 SODA.	38
2.20 Mapas SODA.	42
3.1 Produção Anual.	50
3.2 Produção científica nos países.	50
3.3 Temas.	51
3.4 Tópicos de tendência.	51
3.5 Produção Anual.	62
3.6 Produção científica nos países.	62
3.7 Temas.	63
3.8 Tópicos de tendência.	63
4.1 CONCEPTIO Systems Engineering Framework.	75
4.2 Multimetodologia proposta.	77

4.3	Paleta do <i>plugin ScenarioStories</i>	79
4.4	Processo para aplicação da multimetodologia.	80
5.1	Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 1a elicitação das necessidades.	82
5.2	Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 1b elicitação das necessidades.	83
5.3	Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 2 descrição das necessidades.	85
5.4	Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 3 modelagem do Conceito de Operação.	86
5.5	Cronograma de reuniões.	89
5.6	Dinâmicas de construção das figuras-ricas.	89
5.7	Caso de Uso 9 - Figura-rica do grupo A.	95
5.8	Caso de Uso 9 - Figura-rica do grupo B.	95
5.9	Cenário 1 do Caso de Uso 9 SIMUA - Plataforma de petróleo.	97
5.10	Cenário 6 do Caso de Uso 9 SIMUA - Comunicação.	97
5.11	Necessidades dos <i>stakeholders</i> no Caso de Uso 9 Cenário 1 do SIMUA.	98
5.12	OCB completo.	99
5.13	OCB do Caso de Uso 9.	100
5.14	OES do Caso de Uso 9.	101
6.1	Exemplo de aplicação Catarina: Etapa 1a elicitação das necessidades.	106
6.2	Exemplo de aplicação Catarina: Etapa 1b elicitação das necessidades.	108
6.3	Exemplo de aplicação Constelação Catarina: Etapa 2 descrição das necessidades.	109
6.4	Exemplo de aplicação Constelação Catarina: Etapa 3 modelagem do Conceito de Operação.	111
6.5	Constelação Catarina demandas da Agência Espacial Brasileira.	113
6.6	Constelação Catarina demandas do Consórcio Catarina.	114
6.7	Constelação Catarina demandas da Frente Parlamentar Mista para o Programa Espacial Brasileiro.	114
6.8	Constelação Catarina demandas da Agência Nacional de Águas.	115
6.9	Constelação Catarina demandas do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina - SENAC ISI.	116
6.10	Constelação Catarina demandas da Universidade Federal de Santa Catarina.	116
6.11	Constelação Catarina - Mapa SODA agregado.	117
6.12	Análise do mapa SODA - ramos.	118
6.13	Análise do mapa SODA - constructos principais.	119
6.14	Análise do mapa SODA - constructos meios.	120
6.15	Análise do mapa SODA - constructos caudas.	121
6.16	Cenário 1 Constelação Catarina - Inovação.	123

6.17	Cenário 2 Constelação Catarina - Educação.	123
A.1	Caso de Uso 1.	155
A.2	Utility services.	156
A.3	Delivery services.	157
A.4	Emergency services.	157
A.5	Urban mobility.	158
A.6	Leisure activities.	158
A.7	Large events.	159
A.8	Privacy violation.	159
A.9	Lost geolocation.	160
A.10	Caso de Uso 2.	161
A.11	Priority health services.	162
A.12	Priority public order maintenance service.	163
A.13	Priority rescue services.	164
A.14	Priority urban services.	165
A.15	Compromised priority access.	165
A.16	Caso de Uso 3.	166
A.17	Priority health services.	167
A.18	Priority public order maintenance services.	168
A.19	Priority rescue services.	169
A.20	Priority urban services.	170
A.21	Caso de Uso 4.	171
A.22	Cargo delivery from a logistic center to a distribution center.	172
A.23	Cargo delivery from a distribution center to a delivery hub.	172
A.24	Cargo loss.	173
A.25	Urgency.	173
A.26	Accidents.	174
A.27	Caso de Uso 5.	175
A.28	Observation.	176
A.29	Hands on operations.	176
A.30	Work accidents.	177
A.31	Transport in industrial areas.	177
A.32	Transport to hard-to-reach areas.	178
A.33	Urgent transport.	178
A.34	Caso de Uso 6.	179
A.35	Open airport.	180
A.36	Airport in restricted conditions.	181
A.37	Closed airport.	182
A.38	Urgencies / Emergencies.	183

A.39 Airport inspection.	184
A.40 Caso de Uso 7.	185
A.41 Restricted areas.	186
A.42 Dangerous areas.	186
A.43 Prohibited areas.	187
A.44 Temporary restrictions.	187
A.45 Exception authorization.	188
A.46 Caso de Uso 8.	189
A.47 Agricultural services.	190
A.48 Extractive industries services.	190
A.49 Public utility services.	191
A.50 Airport services.	191
A.51 Urban services.	192
A.52 Aerial instruction services.	192
A.53 Emergency services.	193
A.54 Caso de Uso 9.	194
A.55 Oil rig.	195
A.56 Rescue.	195
A.57 Coast.	196
A.58 Maritime patrol.	196
A.59 Bad weather.	197
A.60 Communication.	197
A.61 Caso de Uso 10.	198
A.62 Staff air transport.	199
A.63 Supply air transport.	199
A.64 Platform inspection by government agencies.	200
A.65 Accident situations.	200
A.66 Bad weather.	201
A.67 Communication.	201

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Métodos ou Metodologias desenvolvidas para lidar com situações problemáticas complexas.	24
3.1 Protocolo de pesquisa necessidades dos <i>stakeholders</i> + PSM.	49
3.2 Análise artigos elicitação de necessidades + PSM.	52
3.3 Protocolo de pesquisa necessidades dos <i>stakeholders</i> + SE.	61
3.4 Análise artigos elicitação de necessidades + SE.	64
5.1 Casos de uso e cenários SIMUA.	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEB	– Agência Espacial Brasileira
CC	– Consórcio Catarina
DCEA	– Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DG	– Grau de Domínio
EG	– Grau de Explosão
FPMPEB	– Frente Parlamentar Mista para o Programa Espacial Brasileiro
ICEA	– Instituto de Controle do Espaço Aéreo
IG	– Grau de Implosão
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISI SENAI SC	– Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina
ITA	– Instituto Tecnológico de Aeronáutica
UFSC	– Universidade Federal de Santa Catarina
BDD	– <i>Behavior-driven development</i> (Desenvolvimento orientado ao comportamento)
CNL	– <i>Controlled Natural Language</i> (Linguagem Natural Controlada)
DSR	– <i>Design Science Research</i> (Pesquisa Científica atrelada ao desenvolvimento de artefato)
ECSS	– <i>European Cooperation for Space Standardization</i> (Cooperação Europeia para a Normalização Espacial)
ESA	– <i>European Space Agency</i> (Agência Espacial Europeia)
INCOSE	– <i>International Council on Systems Engineering</i> (Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas)
ISO	– <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Padronização)
MBSE	– <i>Model Based Systems Engineering</i> (Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos)
NASA	– <i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço)
OCB	– <i>Operational Capabilities</i> (Capacidades Operacionais)
OES	– <i>Operational Entity Scenario</i> (Cenário de Entidade Operacional)
OPM	– <i>Object process methodology</i> (Metodologia Objeto-Processo)
PSM	– <i>Problems Structuring Methods</i> (Métodos de Estruturação de Problemas)
SE	– <i>Systems Engineering</i> (Engenharia de Sistemas)
SIMUA	– <i>Safe Integration of different Manned and Unmanned Aircraft in non-segregated airspace</i>

- (Integração Segura de diferentes Aeronaves Tripuladas e Não Tripuladas em espaço aéreo não segregado)
- SODA – *Strategic Options Development Analysis*
(Análise de Desenvolvimento de Opções Estratégicas)
- SSM – *Soft Systems Methodology*
(Metodologia de Sistemas Suaves)
- UTM – *Unmanned Aircraft System Traffic Management*
(Gestão de Tráfego de Veículos aéreos não-tripulados)

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contexto	1
1.2 Escopo	1
1.3 Motivação	2
1.4 Objetivos da tese	2
1.5 Metodologia e estrutura da tese	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 <i>Stakeholders</i>	5
2.2 Engenharia de Sistemas	7
2.2.1 Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos	16
2.2.1.1 ARCADIA e CAPELLA	17
2.2.1.2 CAPELLA STUDIO e KITALPHA	20
2.3 Pesquisa Operacional	21
2.3.1 Métodos de Estruturação de Problemas	22
2.3.1.1 <i>A Soft Systems Methodology</i> e as Figuras-ricas	32
2.3.1.2 <i>Strategic Options Development Analysis</i> e os Mapas Cognitivos	38
2.4 Desenvolvimento Ágil	43
2.4.1 Desenvolvimento Orientado ao Comportamento e histórias dos usuários	44
2.5 Linguagem Natural Controlada	45
3 ESTADO DA ARTE	47
4 MULTIMETODOLOGIA PROPOSTA	75
5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO I - SIMUA	81
5.1 Aplicação SIMUA	81
5.1.1 SIMUA: Etapa 1 - Elicitação das necessidades	81
5.1.2 SIMUA: Etapa 2 - Descrição das necessidades	84
5.1.3 SIMUA: Etapa 3 - Conceito de Operação	86
5.2 Resultado em SIMUA	87
5.2.1 SIMUA: Resultado Etapa 1 - Elicitação das necessidades	87
5.2.2 SIMUA: Resultado Etapa 2 - Descrição das necessidades	94

5.2.3	SIMUA: Resultado Etapa 3 - Conceito de Operação	98
5.3	Passos para aplicação em outros projetos	101
5.3.1	Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 1 - utilizando como PSM Figuras-Ricas para a Elicitação das necessidades	102
5.3.2	Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 2 - Descrição das necessidades	103
5.3.3	Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 3 - Conceito de Operação	103
6	EXEMPLO DE APLICAÇÃO II - CONSTELAÇÃO CATARINA	105
6.1	Aplicação Constelação Catarina	105
6.1.1	Constelação Catarina: Etapa 1 - Elicitação das necessidades	105
6.1.2	Constelação Catarina: Etapa 2 - Descrição das necessidades	109
6.1.3	Constelação Catarina: Etapa 3 - Conceito de Operação	110
6.2	Resultado em Constelação Catarina	112
6.2.1	Constelação Catarina: Resultado Etapa 1 - Elicitação das necessidades	112
6.2.2	Constelação Catarina: Resultado Etapa 2 - Descrição das necessidades	122
6.2.3	Constelação Catarina: Resultado Etapa 3 - Conceito de Operação . . .	124
6.3	Passos para aplicação em outros projetos	124
6.3.1	Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 1 - utilizando como PSM mapas SODA para a Elicitação das necessidades	124
6.3.2	Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 2 - Descrição das necessidades	125
6.3.3	Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 3 - Conceito de Operação	125
7	DISCUSSÕES	127
7.1	Multimetodologia proposta na engenharia de sistemas	128
7.2	Multimetodologia proposta na engenharia de sistemas baseada em modelos	129
7.3	A multimetodologia proposta e outros métodos de elicitação de necessidades	130
7.4	Relação da multimetodologia proposta com as Histórias dos usuários e Linguagem Natural Controlada	130
7.5	Contribuições da multimetodologia proposta para o estado da arte em elicitação de necessidades	131
7.6	Lições aprendidas com a aplicação da multimetodologia	133
7.7	Contribuições da tese	134
7.8	Limitações	135

8 CONCLUSÃO	137
8.1 Atingimento dos objetivos	137
8.2 Contribuições da tese	138
8.3 Relevância, utilidade, aplicabilidade, generalidade e originalidade da tese	138
8.4 Trabalhos futuros	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DE CENÁRIOS DO PROJETO SIMUA	155
A.1 Caso de uso 1: <i>Safe integration of intensive airspace services in metropolitan area</i>	155
A.1.1 <i>Rich-pictures</i>	155
A.1.2 <i>User-stories</i>	155
A.2 Caso de uso 2: <i>Safe integration of priority services into metropolitan area and close neighborhoods</i>	160
A.2.1 <i>Rich-pictures</i>	160
A.2.2 <i>User-stories</i>	161
A.3 Caso de uso 3: <i>Safe integration of priority services into metropolitan area and close neighborhoods</i>	166
A.3.1 <i>Rich-pictures</i>	166
A.3.2 <i>User-stories</i>	166
A.4 Caso de uso 4: <i>Safe integration of a logistic service of delivery with delivery hubs into neighborhoods</i>	170
A.4.1 <i>Rich-pictures</i>	170
A.4.2 <i>User-stories</i>	171
A.5 Caso de uso 5: <i>Safe integration of a logistic supply chain into industrial area</i>	174
A.5.1 <i>Rich-pictures</i>	174
A.5.2 <i>User-stories</i>	175
A.6 Caso de uso 6: <i>Safe integration of intensive airspace services in metropolitan area</i>	179
A.6.1 <i>Rich-pictures</i>	179
A.6.2 <i>User-stories</i>	179
A.7 Caso de uso 7: <i>Safe integration of no-fly-zones</i>	184
A.7.1 <i>Rich-pictures</i>	184
A.7.2 <i>User-stories</i>	185
A.8 Caso de uso 8: <i>Safe integration of hybrid (manned and unmanned) services</i>	188

A.8.1	<i>Rich-pictures</i>	188
A.8.2	<i>User-stories</i>	189
A.9	Caso de uso 9: <i>Safe integration of UTM services to maritime surveillance</i>	193
A.9.1	<i>Rich-pictures</i>	193
A.9.2	<i>User-stories</i>	194
A.10	Caso de uso 10: <i>Safe integration of UTM services to UAV delivery into oil platform</i>	197
A.10.1	<i>Rich-pictures</i>	198
A.10.2	<i>User-stories</i>	198
ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS		203
A.1	<i>Experiences with using ears for stakeholder requirements development of the safe integration of unmanned aircrafts in the airspace project</i>	203
A.2	Utilização de métodos de estruturação de problemas na definição da missão de sistemas: Uma tese em consolidação	219
A.3	Pesquisa operacional comportamental na engenharia de sistemas espaciais	230
A.4	<i>Identification and classification of stakeholders needs using Dialogue Mapping and AHP-sort</i>	236
A.5	Participação feminina no CubeDesign: uma competição latino-americana para desenvolvimento de nanossatélites	238
A.6	Modelo para seleção de portfólio de projetos de cubesats	242

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Sistemas complexos envolvem não somente suas partes, mas também todos as propriedades emergentes da interconexão entre seus subsistemas e a relação com as pessoas e ambiente em que se inserem. O *slogan* dos Sistemas Complexos, citando Aristóteles, é então que o todo é mais do que a soma de suas partes (SANMIGUEL, 2023), esta é a definição adotada neste trabalho.

No desenvolvimento de sistemas complexos, é imprescindível que os interessados, os que afetam e/ou serão afetados, denominados *stakeholders*, sejam ouvidos e compreendidos a fim de fazer emergir uma visão abrangente do contexto em que o sistema está inserido, os objetivos, incertezas e interesses na premência deste.

A imagem aludida das necessidades deve ser revisitada ao longo da engenharia do sistema, iterativamente, em cada fase do ciclo de vida do sistema, para validar se continua a corresponder às expectativas de seu propósito. Com o tempo, novas percepções, princípios e valores podem modificar o entendimento inicial. Desta forma é benéfico um meio para asseverar que a descrição das narrativas, cenários e eventos estejam consistentes às mudanças de contexto, assim como manter uma documentação rastreável para o acompanhamento dessas mudanças, gerenciamento da informação.

A elicitación das necessidades assim exige a habilidade de arguir os *stakeholders* e de compreender bem toda informação proveniente deles e de documentos pre-existentes, mas também a definição de uma forma de documentar cada narrativa de maneira flexível e acessível mantendo a rastreabilidade e endosso.

Hipótese de pesquisa:

Os Métodos de Estruturação de Problemas podem auxiliar a identificar e formalizar as necessidades dos *stakeholders* no início do processo de Engenharia de Sistemas?

1.2 Escopo

O escopo da tese está delimitado à fase inicial da Engenharia de Sistemas, na definição do problema, especificamente na elicitación das necessidades dos *stakeholders*.

Tratar-se-á da Engenharia de Sistemas complexos, em especial a Engenharia de Sistemas Espaciais com possível expansão para sistemas complexos em geral, em outros domínios.

1.3 Motivação

Inicialmente foi identificada empiricamente na experiência profissional da autora desta tese na Engenharia de Sistemas uma aparente lacuna teórica a respeito das metodologias utilizadas para apoio às fases iniciais da Engenharia de Sistemas Espaciais. Apesar de haver indícios de serem utilizados Métodos de Estruturação de Problemas nas principais agências espaciais, na pesquisa bibliográfica preliminar realizada na iniciativa desta tese, através dos *sites* das agências NASA e ESA, suas bases de documentos e normas, não foram encontrados trabalhos aprofundando quais são e como são abordados. Partindo-se então para uma pesquisa aprofundada nas bases *Web of Science* e *Scopus* incluindo outras áreas.

A motivação inicial desta tese se deu no ambiente de pesquisa na área espacial e logo após notou-se que abrangia o contexto da engenharia de sistemas complexos geral em diferentes domínios além do espacial.

A Engenharia de Sistemas constitui-se inicialmente por uma fase de Definição do Problema conforme descrito em Loureiro (1999), NASA (2016), INCOSE (2023b), SEBOK (2023). Ao explorar as atividades desta fase fora percebido grandes semelhanças com os Métodos de Estruturação de Problemas descritos em Rosenhead (1989), Mingers e Rosenhead (2004), visto que ambos buscam um entendimento amplo do problema antes de se partir para decisões e definições. A observância destas semelhanças ascenderam o *insight* de que os métodos de Estruturação poderia ser utilizado em auxílio à fase de definição do problema na Engenharia de Sistemas.

1.4 Objetivos da tese

O objetivo desta tese é a concepção de uma multimetodologia que auxilie, na fase inicial da Engenharia de Sistemas, a elicitación das necessidades dos *stakeholders*.

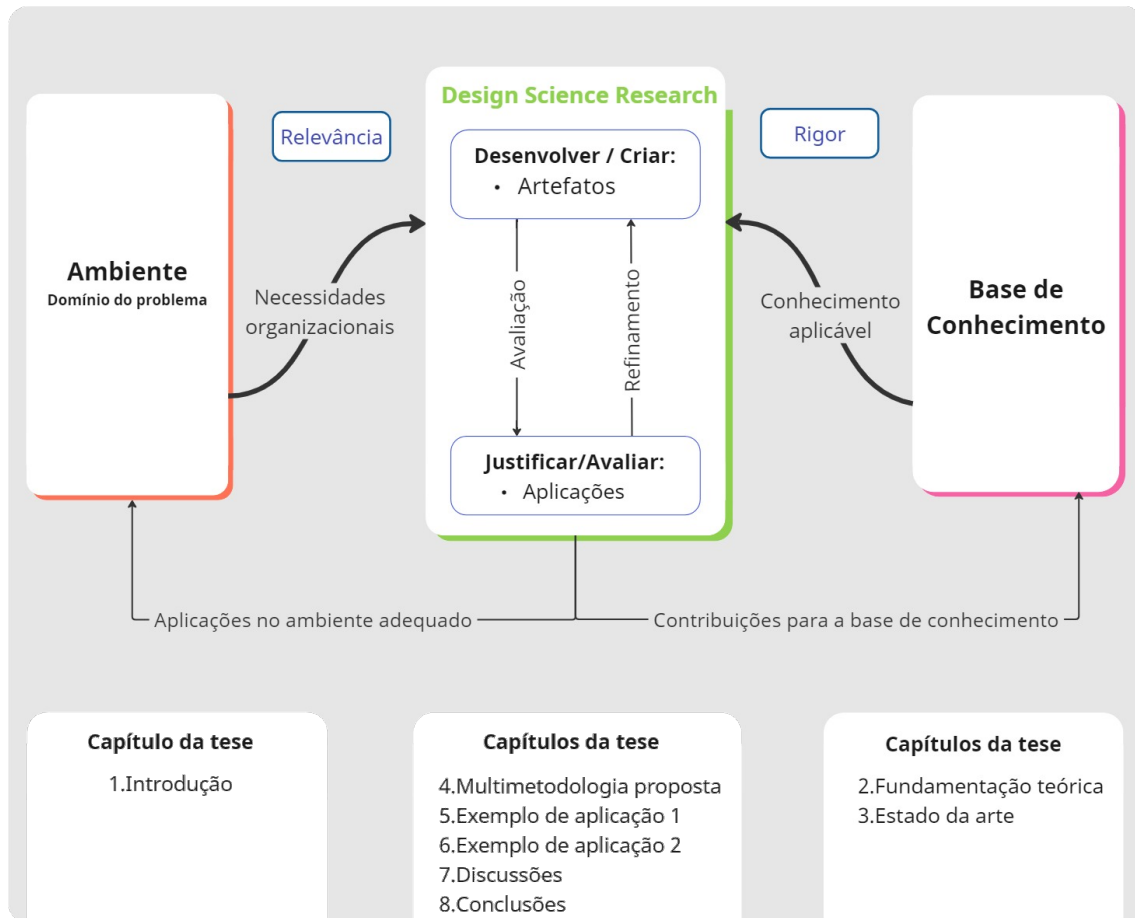
Objetivos secundários são:

- i) Incentivar o uso de Métodos de Estruturação de Problemas às práticas de Engenharia de sistemas;
- ii) Relacionar a captura das narrativas com a formalização da análise da situação atual;
- iii) Apresentar exemplos de aplicação da multimetodologia proposta.

1.5 Metodologia e estrutura da tese

Paradigma de pesquisa: Foi adotada a abordagem *Design Science Research (DSR)* (DRESCH et al., 2015) apresentada na Figura 1.1 para estruturar e predefinir esta pesquisa.

Figura 1.1 - Ciclos de relevância e rigor na *Design Science Research*.



Fonte: Adaptada de Dresch et al. (2015).

O DSR é uma abordagem que busca criar e avaliar soluções inovadoras para problemas complexos por meio da construção de artefatos. No contexto do DSR, o Ciclo da Relevância e o Ciclo do Rigor desempenham um papel fundamental orientando o processo de pesquisa.

O Ciclo da Relevância, no DSR, se concentra na identificação de um problema de pesquisa relevante - necessidades organizacionais, e na definição de um objetivo claro para a pesquisa (Capítulo 1) visando que o resultado da pesquisa seja útil e tenha impacto prático - aplicações no ambiente adequado (Capítulo 5 e 6) .

O Ciclo do Rigor, no DSR, se concentra na criação, desenvolvimento e avaliação do artefato proposto para resolver o problema identificado. Nesta fase, os pesquisadores aplicam rigor metodológico (Capítulo 2 e 3) - conhecimento aplicável, na criação (Capítulo 4) e avaliação do artefato - contribuições para a base de conhecimento (Capítulos 7 e 8).

Contribuição Prática: Esta pesquisa irá gerar como artefato uma multimetodologia que possa ser aplicada no mundo real para melhorar o processo de desenvolvimento de sistemas complexos. Portanto, ela está voltada para uma contribuição aplicável.

Os capítulos desta tese estão organizados da seguinte maneira:

- Este Capítulo 1 apresentou o contexto, escopo, motivação, objetivos e estrutura deste trabalho;
- O Capítulo 2 apresenta uma revisão conceitual como base teórica para a tese;
- No Capítulo 3 é feita uma pesquisa bibliográfica para encontrar o estado da arte que norteia a tese;
- No Capítulo 4 é realizada a proposta da multimetodologia, artefato;
- No Capítulo 5 é abordado um exemplo de aplicação da multimetodologia proposta no projeto SIMUA, e são apresentados os resultados;
- No Capítulo 6 é abordado um outro exemplo de aplicação, o projeto Constelação Catarina, utilizando um método distinto na primeira etapa da multimetodologia, são apresentados os resultados;
- As discussões pertinentes encontram-se no Capítulo 7;
- No Capítulo 8 temos as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos que alicerçam esta tese. São fundamentados os conhecimentos necessários iniciando com uma prévia definição acerca dos *stakeholders*, para a compreensão da elicitação das necessidades dos *stakeholders* no contexto da Engenharia de Sistemas e da Pesquisa Operacional, ambas compreendidas dentro do Pensamento Sistêmico. No âmbito da Engenharia de Sistemas também são abordadas a modelagem de sistemas MBSE *Model-Based Systems Engineering*; e na Pesquisa Operacional a *Soft Operational Research*. Por fim também são apresentada a abordagem ágil de desenvolvimento de sistemas *Agile development* e a Linguagem natural controlada.

2.1 *Stakeholders*

Existem diversas definições para *stakeholders*, no entanto Miles (2017) discorre que o termo por vezes é contestado e para a construção de uma visão abrangente apresentou uma extensa revisão no âmbito da classificação da Teoria dos *stakeholders* apresentando uma avaliação teórica e empírica das definições.

Para este trabalho, a partir das definições expostas em Mitchell et al. (1997), Bryson (2004) e McGrath e Whitty (2017), será utilizada a seguinte definição para *stakeholders*:

Stakeholders são indivíduos ou grupos que têm interesse e/ou são afetados pelas atividades e resultados de um projeto, sistema ou organização.

A Pesquisa Operacional e a Engenharia de Sistemas reconhecem a importância dos *stakeholders* ao conceberem que a identificação e gestão de *stakeholders* são componentes críticos em ambos os campos, especialmente na estruturação de problemas, pois influenciam significativamente tanto a formulação quanto a implementação de soluções.

Na Pesquisa Operacional, Gregory et al. (2020) discorrem sobre a identificação e envolvimento das partes interessadas em intervenções de estruturação de problemas. Wang et al. (2015) apresentam um método sistêmico para identificação e análise de *stakeholders* utilizando *Soft Systems Methodology*. Ackermann e Eden (2011) apresentam teórica e empiricamente a gestão estratégica de *stakeholders*.

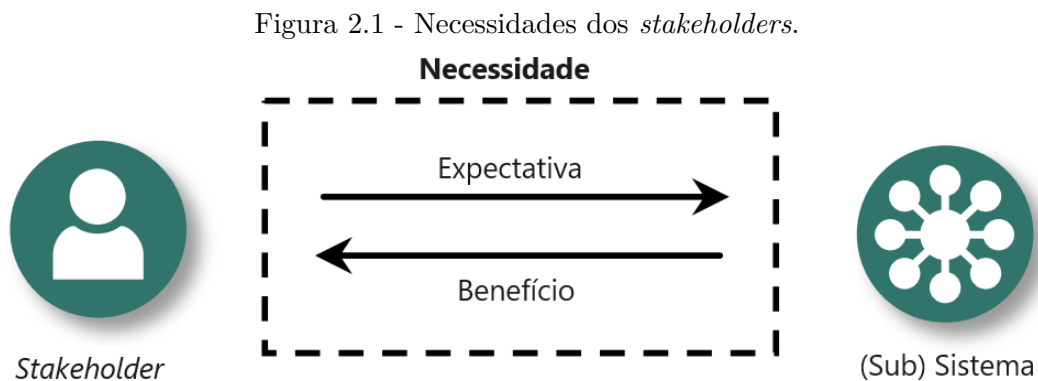
Na Engenharia de Sistemas, o [SEBOK \(2023\)](#) alerta que as partes interessadas de um sistema de interesse podem variar ao longo do ciclo de vida. Assim, para obter um conjunto completo de necessidades, é importante considerar todas as fases do modelo de ciclo de vida ao identificar as partes interessadas ou classes de partes interessadas. [Hujainah et al. \(2018\)](#) apresentam uma revisão sistemática sobre qualificação e priorização de *stakeholders*.

Stakeholders têm interesses variados e podem desempenhar múltiplos papéis num projeto. Os interesses das partes interessadas podem variar desde a satisfação com os resultados do projeto até o nível de influência que eles têm no projeto. Os interesses das partes interessadas são importantes a considerar para a implementação bem-sucedida do projeto e para alcançar um desenvolvimento moral, ético e sustentável. Compreender como as partes interessadas avaliam e priorizam os resultados do projeto é crucial para a tomada de decisões informadas.

Neste trabalho são abordadas as necessidades dos *stakeholders*. Na revisão de literatura de [Kubin et al. \(2023\)](#), a seguinte definição foi sintetizada, propondo uma definição para *Stakeholder Needs* na Engenharia de Sistemas:

As necessidades das partes interessadas são um tipo de elemento no sistema de objetivos. É uma expectativa técnica ou comercial muitas vezes abstrata em relação a um (sub)sistema, independente da solução técnica e não vinculativa para a realização.

Uma necessidade das partes interessadas representa uma expectativa de uma parte interessada em relação a um (sub)sistema que resulta num benefício para a parte interessada (Figura 2.1) .



Fonte: Traduzida de [Kubin et al. \(2023\)](#).

Ressalta-se que a compreensão e a gestão das necessidades relacionadas aos interesses dos *stakeholders* são essenciais para o sucesso de projetos na Engenharia de Sistemas. Portanto, a definição dos *stakeholders* e a consideração de suas perspectivas nas fases iniciais do ciclo de vida do sistema são elementos cruciais para a formulação e implementação de soluções eficazes. Com base nas definições apresentadas, este trabalho vem em encontro à importância dos *stakeholders* e a complexidade de suas interações, contribuindo para uma estruturação robusta de necessidades nas fases iniciais da Engenharia de Sistemas.

2.2 Engenharia de Sistemas

A Engenharia de Sistemas é uma vertente do pensamento sistêmico que se concentra na concepção, desenvolvimento e gerenciamento de sistemas complexos. Ela se destaca por integrar princípios e práticas de diversas disciplinas para criar sistemas que atendam a metas e requisitos específicos. Além disso, a Engenharia de Sistemas enfatiza a consideração de todo o ciclo de vida de um sistema, desde a concepção até o descarte.

Um sistema pode ser a solução para um ou mais problemas. Isto é, quando temos um conjunto de necessidades, de um grupo de pessoas interessadas, este pode gerar o impulso de desenvolvimento de um sistema.

A disciplina que integra as especialidades em um trabalho para emergir propriedades do todo na ideação de um sistema é a Engenharia de Sistemas.

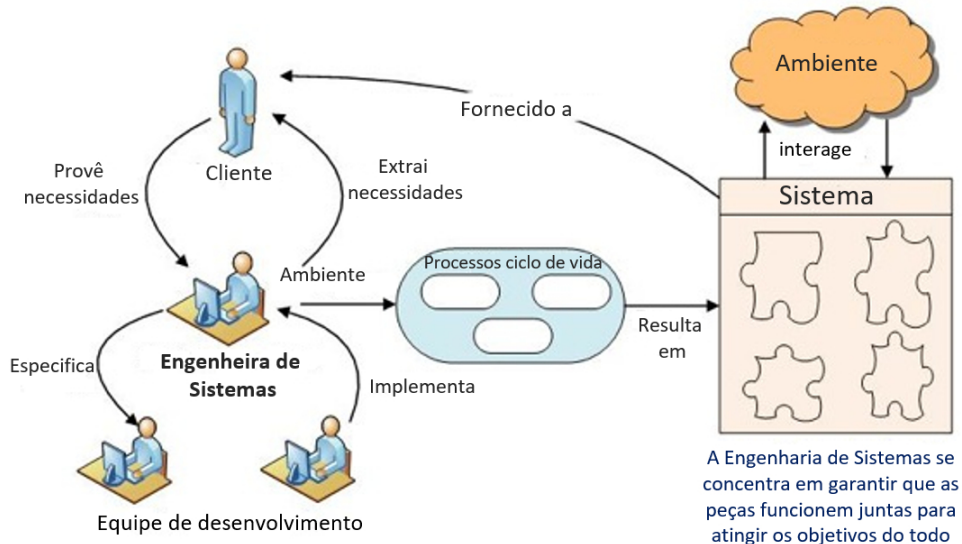
O *International Council on Systems Engineering - INCOSE (2023b)* define: A Engenharia de Sistemas (*Systems Engineering*) é uma abordagem transdisciplinar e integrativa para permitir a realização, uso e descarte bem sucedidos de ‘*engineered systems*’, usando princípios e conceitos de sistemas e métodos científicos, tecnológicos e de gerenciamento.

E complementa explicando os termos ‘*engineering*’ e ‘*engineered*’ como: “a ação de trabalhar habilmente para realizar algo”. ‘*Engineered systems*’ podem ser compostos por qualquer uma ou todas as pessoas, produtos, serviços, informações, processos e elementos naturais.

Esta atual definição do INCOSE incorpora a abordagem transdisciplinar que inclui contribuições e participação de comunidades de *stakeholders* técnicos e não técnicos

em uma forma sistêmica de enfrentar um desafio. A transdisciplinaridade enfatiza os benefícios de trazer pessoas que realmente vivem e respiram os problemas que devem ser resolvidos - em outras palavras, garantir que as principais partes interessadas “entrem” no processo de Engenharia de Sistemas (SILLITTO et al., 2018).

Figura 2.2 - Elementos chave da Engenharia de Sistemas.



Fonte: Traduzida de SEBOK (2023).

A Figura 2.2 apresenta elementos chaves da Engenharia de Sistemas:

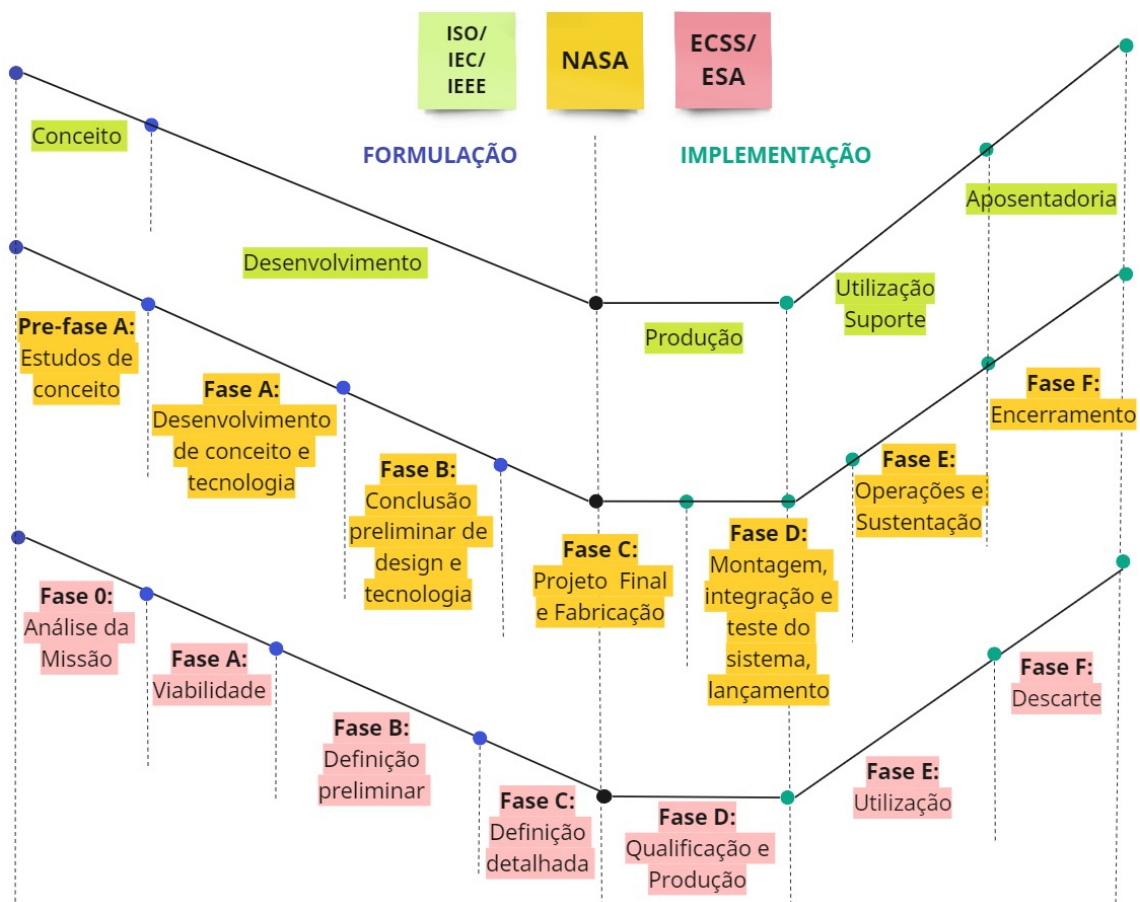
- Sistema: combinação interativa de elementos para atingir um ou mais objetivos;
- Ambiente: diz respeito ao contexto em que se insere o sistema, o ambiente natural e pode incluir outros sistemas e usuários. O sistema interage com seu ambiente. Os elementos do sistema que compõem o sistema podem incluir *hardware*, *software*, pessoas, informações, técnicas, instalações, serviços e outros elementos de suporte;
- Engenheiro de sistemas: é uma pessoa ou função que apoia a transdisciplinaridade. O Engenheiro de sistemas muitas vezes tem como função extrair e traduzir as necessidades do cliente em requisitos e especificações que podem ser realizadas pela equipe de desenvolvimento do sistema.

- Processos de ciclo de vida do sistema: começam no início do projeto conceitual e continuam na fabricação, implantação, uso e descarte.

Para ajudar a concretizar sistemas bem-sucedidos o Engenheiro de sistemas deve apoiar o conjunto de processos de ciclo de vida, analisar, especificar, projetar e verificar o sistema para garantir que suas características funcionais, de interface, de desempenho, físicas e outras características de qualidade e custo sejam equilibrados para atender às necessidades das partes interessadas do sistema.

Os engenheiros de sistemas ajudam a garantir que os elementos do sistema se encaixem para atingir os objetivos do todo e, em última análise, satisfazer as necessidades dos clientes e outras partes interessadas que irão adquirir e usar o sistema.

Figura 2.3 - Comparação de modelos de ciclos de vida.



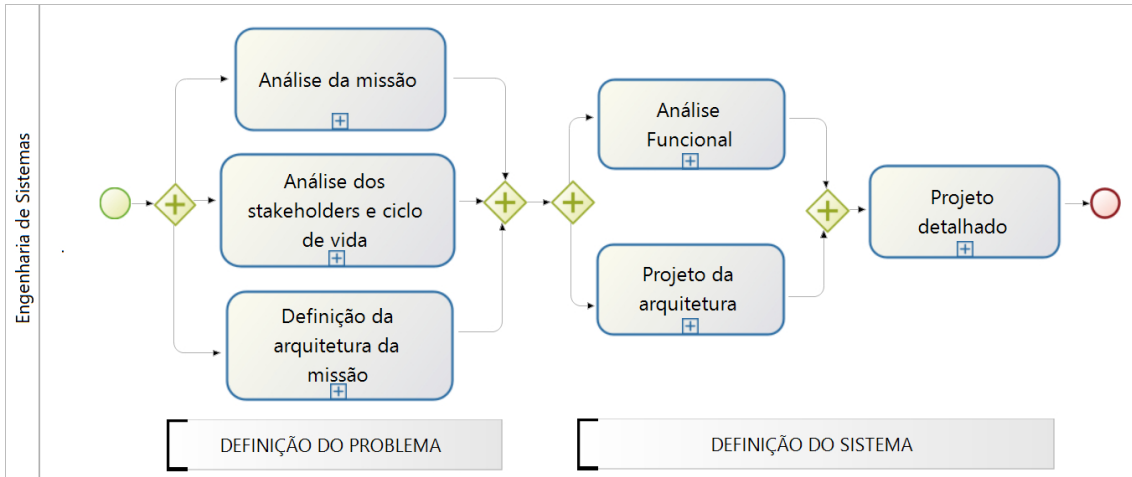
Fonte: Produção da autora.

A Figura 2.3 apresenta um paralelo entre alguns processos de ciclo de vida padrões - o primeiro, para emprego geral, das normas - [ISO IEC IEEE \(2018\)](#), por sua relevância em especial área de sistemas de informação que foram expandidas à outras áreas por sua generalidade, e o segundo e terceiro das principais agências da área espacial, a Agência Espacial Americana - [NASA \(2016\)](#) e da Agência Espacial Europeia - [ECSS ESA \(2009\)](#).

Os ciclos de vida foram ilustrados em formato V para demonstrar um dos mais usuais tipos de desenvolvimento da Engenharia de Sistemas o modelo Vee. Normalmente, o lado “esquerdo” do Vee é chamado de definição do sistema e os lados “inferior” e “direito” do Vee são chamados de realização do sistema. No modelo Vee, o tempo e a maturidade do sistema procedem conceitualmente da esquerda para a direita (descendo pelo lado esquerdo do Vee e subindo pelo lado direito do Vee). No entanto, todos os processos do ciclo de vida do sistema são executados simultânea e iterativamente em cada nível da hierarquia do sistema e todos os processos do ciclo de vida do sistema são aplicados recursivamente em cada nível da hierarquia do sistema ([INCOSE, 2023a](#)).

A Engenharia de Sistemas pode ter um processo genérico ou adaptado ao tipo de produto e aos recursos disponíveis. A Figura 2.4 representa um processo de Engenharia de Sistemas já estabelecido, o processo de [Loureiro \(2021\)](#), com suas etapas, evidenciando as duas fases principais, a Definição do Problema e a Definição do Sistema. Esta figura foi detalhada em mais um nível para uma visão geral da Definição do Problema e Definição do Sistema.

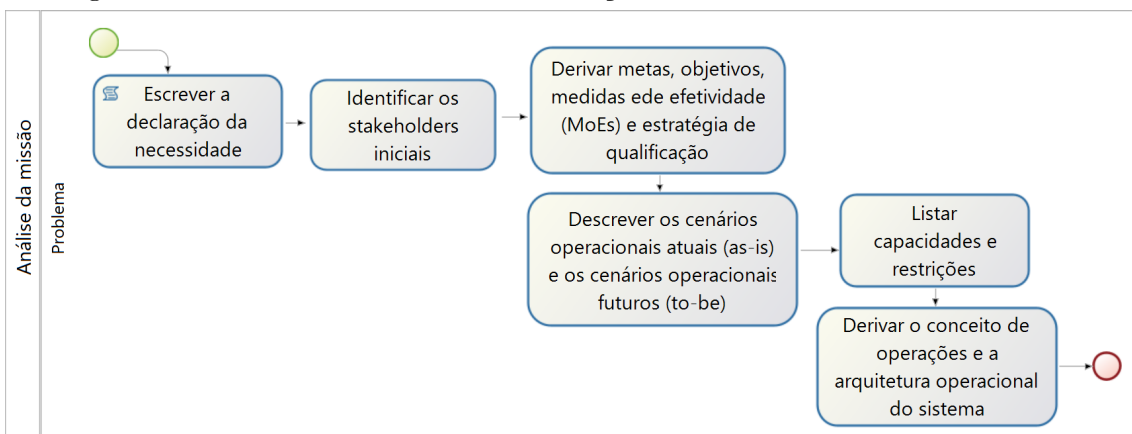
Figura 2.4 - Processo de Referência Engenharia Simultânea de Sistemas.



Fonte: Produção da autora.

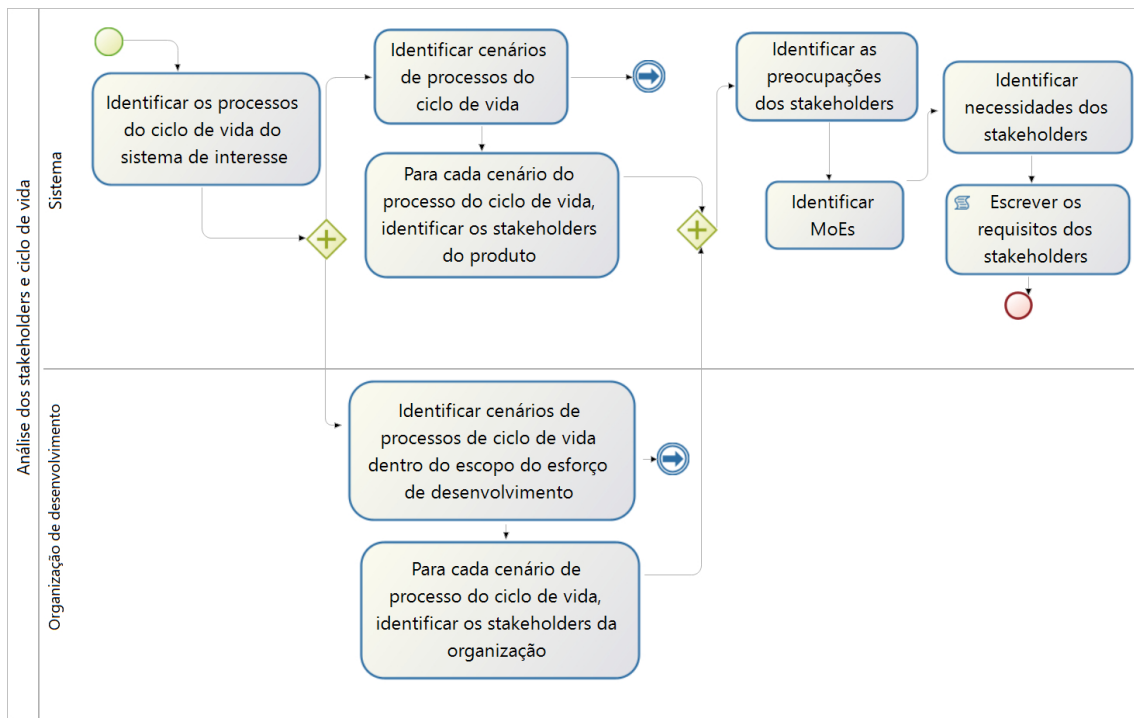
A Definição do Problema, ou Domínio do Problema (Figuras 2.5, 2.6 e 2.7) compreende os desafios, as necessidades e as oportunidades que impulsionam a concepção e a implementação do sistema. Sua compreensão envolve identificar as partes interessadas, definir os objetivos, estabelecer restrições e delinear as relações causais, definindo os contornos do que precisará ser solucionado pelo sistema.

Figura 2.5 - Processo de Referência: Definição do Problema - Análise da Missão.



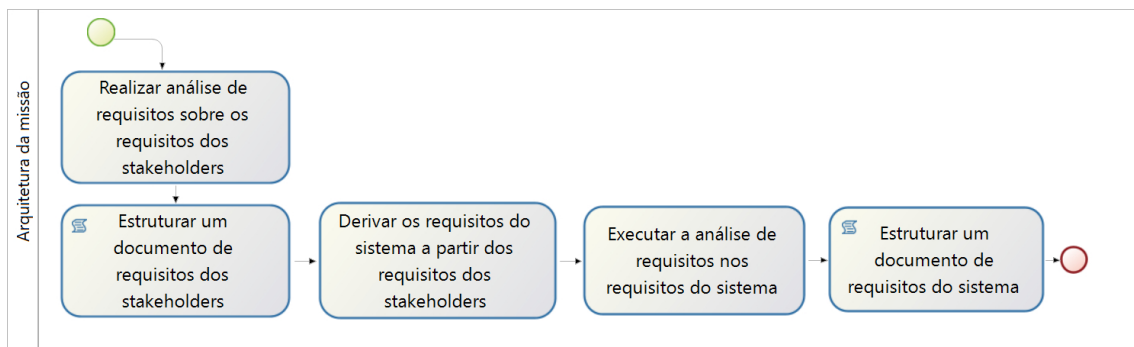
Fonte: Produção da autora.

Figura 2.6 - Processo de Referência: Definição do Problema - Análise dos *Stakeholders* e ciclo de vida.



Fonte: Produção da autora.

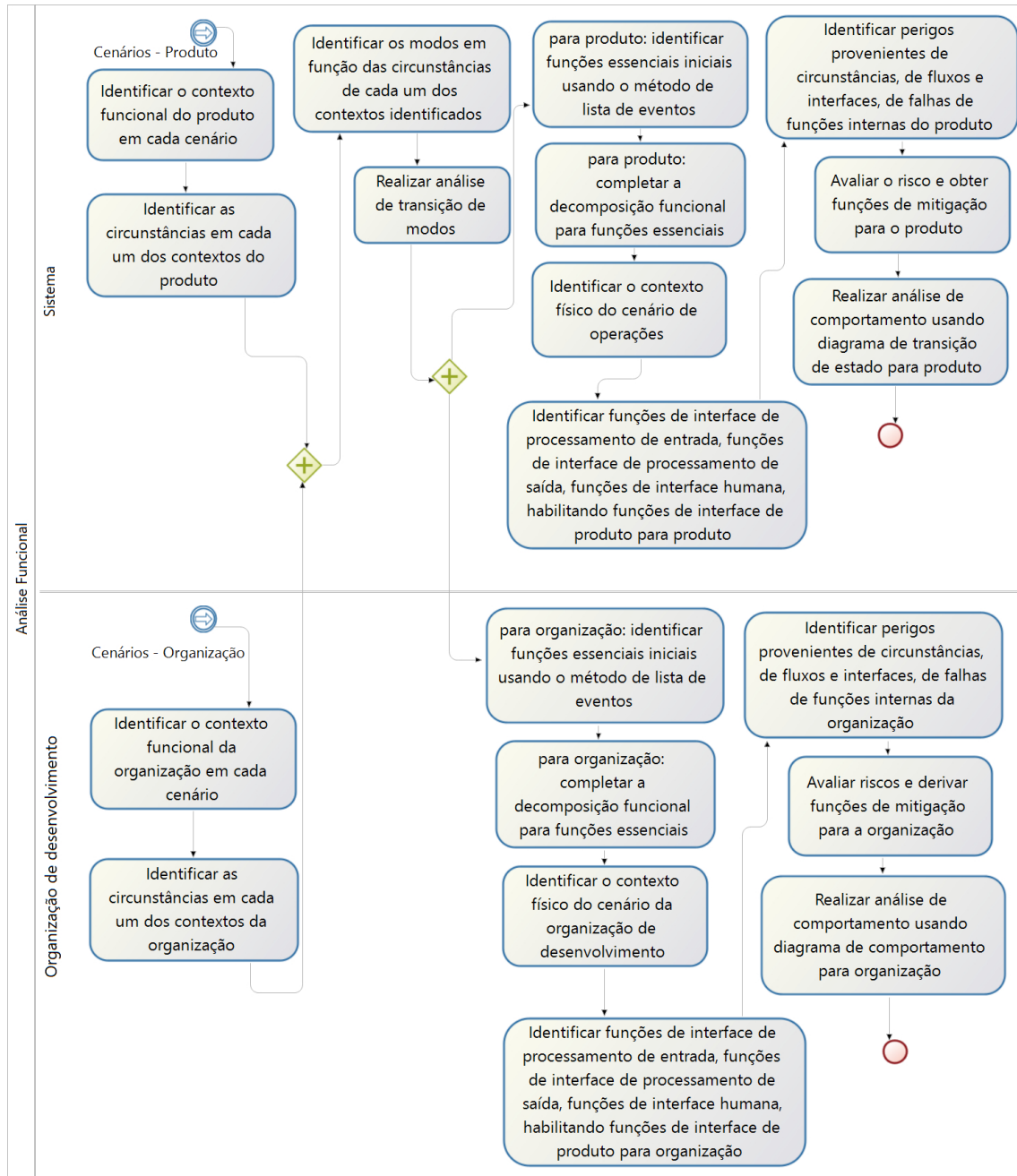
Figura 2.7 - Processo de Referência: Definição do Problema - Definição da Arquitetura da Missão.



Fonte: Produção da autora.

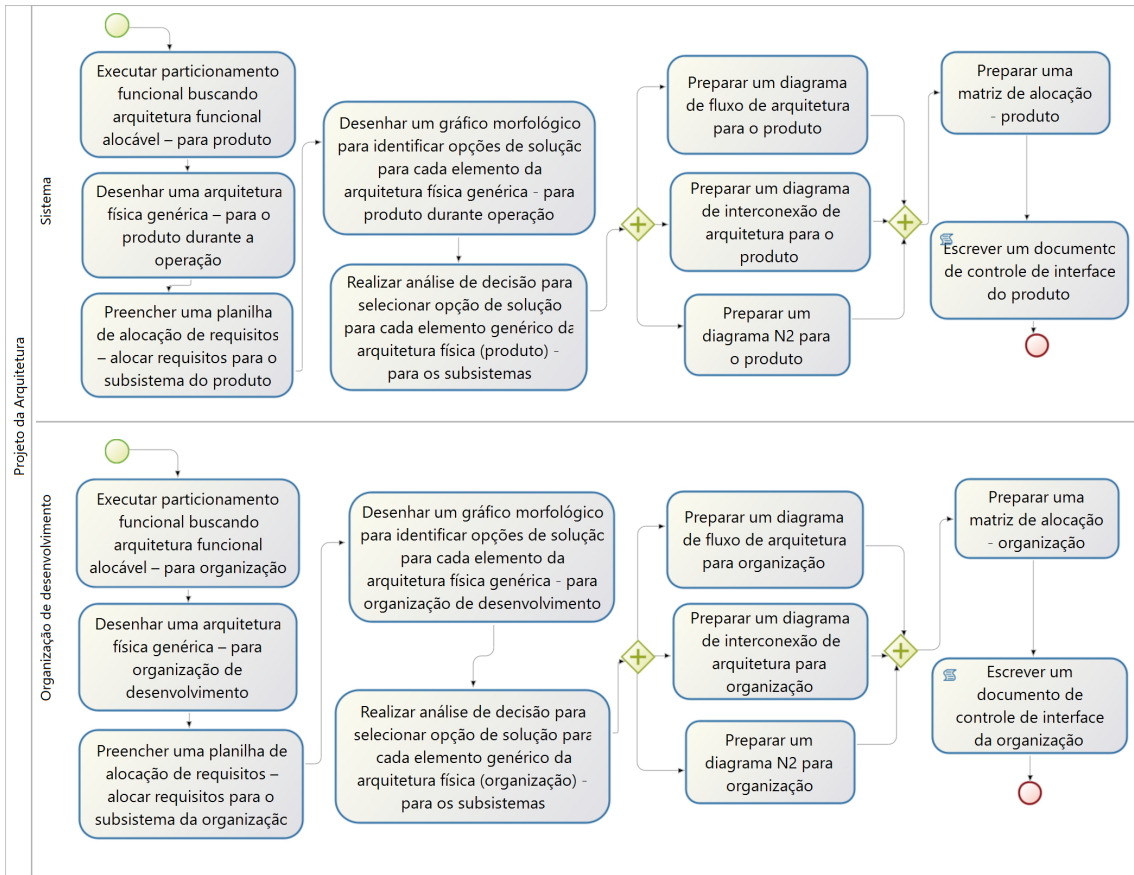
A Definição do Sistema, ou Domínio do Sistema (Figuras 2.8, 2.9, 2.10), foca na descrição e modelagem do sistema que será projetado e implementado para resolver os desafios delineados no Domínio do Problema. Ele inclui a arquitetura, especificações de componentes, interfaces, interações e comportamentos do sistema.

Figura 2.8 - Processo de Referência: Definição do Sistema - Análise Funcional.



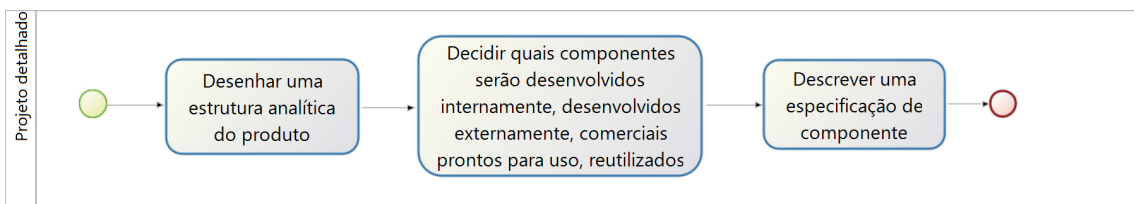
Fonte: Produção da autora.

Figura 2.9 - Processo de Referência: Definição do Sistema - Projeto da Arquitetura.



Fonte: Produção da autora.

Figura 2.10 - Processo de Referência: Definição do Sistema - Projeto Detalhado.

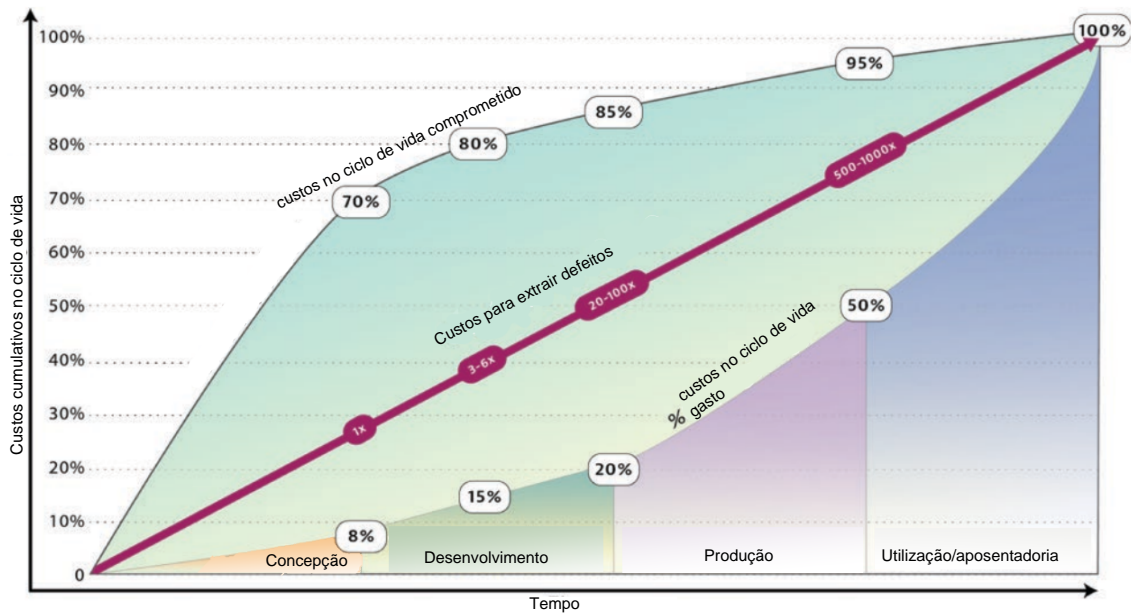


Fonte: Produção da autora.

O entendimento profundo do Domínio do Problema é essencial para informar as decisões de projeto no Domínio da Solução.

A importância da atenção às fases iniciais na Engenharia de Sistemas pode ser observada na Figura (2.11) apresentada pela NASA, que é um exemplo de como esses custos são determinados pelo primeiros conceitos e desenvolvimentos. Os números variam de projeto para projeto, mas a forma geral do curvas e a mensagem que elas enviam serão semelhantes.

Figura 2.11 - Impactos nos custos do ciclo de vida.



Fonte: INCOSE (2023a).

Observar que o custo para alterar o projeto aumenta quanto tardar no ciclo de vida, salientando a valia do dispêndio de esforços nas definições iniciais, posto isto, esta tese em acordo com o processo de Engenharia de Sistemas detalhado neste Capítulo, focará na fase de definição do problema.

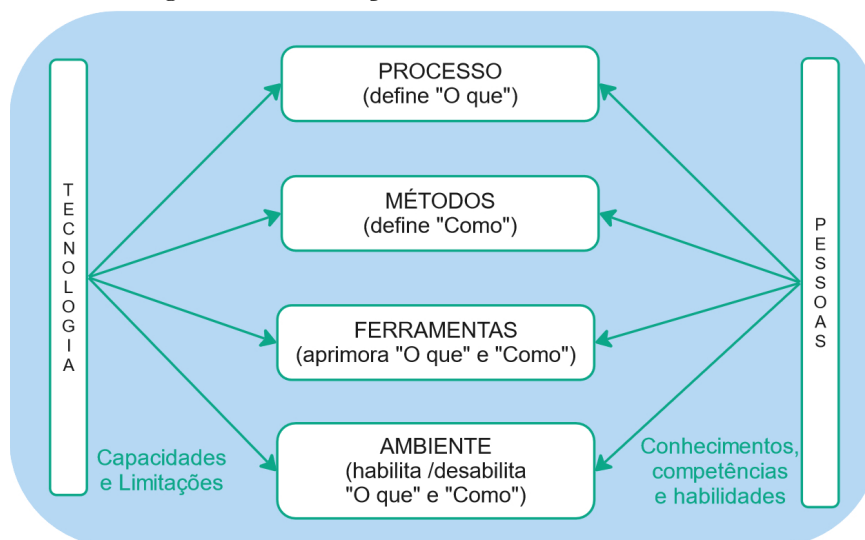
2.2.1 Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos

A Engenharia de Sistemas depende principalmente de métodos centrados em documentos para o desenvolvimento do sistema, já a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) é uma abordagem que envolve a criação e a utilização de modelos digitais para representar o sistema e seus componentes (ASSEF; GEIGER, 2023).

O MBSE permite uma melhor integração e coordenação entre diferentes disciplinas de engenharia, melhora a compreensão do sistema e permite a detecção precoce de problemas de projeto. Ele também suporta simulação, verificação e validação do sistema (ZHANG et al., 2022).

A Figura 2.12 ilustra a interdependência entre os componentes principais de um sistema de engenharia baseado em modelos: Processo, Métodos, Ferramentas e Ambiente. O Processo define “O que” deve ser feito, os Métodos definem “Como” fazer, as Ferramentas aprimoram ambos, e o Ambiente habilita ou desabilita as atividades. A Tecnologia, com suas capacidades e limitações, influencia todos esses componentes, enquanto as Pessoas, com seus conhecimentos, competências e habilidades, executam e aplicam os processos e métodos, utilizando as ferramentas dentro das condições ambientais estabelecidas. A interação harmoniosa entre esses elementos é essencial para o sucesso do MBSE, em um contexto “baseado em modelos (*model-based*)” ou “orientado por modelos (*model-driven*)” (ESTEFAN et al., 2007).

Figura 2.12 - Relação entre os elementos MBSE.



Fonte: Traduzida de Estefan et al. (2007).

A NASA ao definir Engenharia de Sistemas (NASA, 2016) cita que “A Engenharia de Sistemas busca um projeto seguro e equilibrado diante de interesses divergentes e restrições múltiplas, às vezes conflitantes.”. Neste processo de entendimento dos interesses para sua harmonia requerem um processo de escuta e gerenciamento da informação. A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) é uma abordagem avançada e abrangente para o desenvolvimento de sistemas complexos que se baseia na criação e uso de modelos para representar todos os aspectos de um sistema. Esta abordagem oferece um conjunto de técnicas e ferramentas que auxiliam na análise, projeto, implementação e validação de sistemas, melhorando a eficiência e a qualidade do processo de engenharia de sistemas.

Vantagens esperadas ao utilizar MBSE:

- Compreensão melhorada: A modelagem abstrata simplifica a compreensão do sistema, tornando-o mais acessível a todos os interessados no sistema;
- Redução de erros: A detecção precoce de problemas e inconsistências nos modelos reduz a probabilidade de erros no sistema final;
- Reutilização: A capacidade de reutilizar modelos economiza tempo e recursos em projetos subsequentes;
- Colaboração facilitada: A modelagem oferece uma linguagem comum para colaboração entre equipes multidisciplinares;
- Documentação automatizada: Documentação detalhada e atualizada pode ser gerada automaticamente a partir dos modelos.

OMG (2023) consolidou um levantamento atual de alguns dos principais processos e métodos de Engenharia de Sistemas Baseados em Modelos (MBSE) usados na indústria atualmente, Li et al. (2022) realizaram uma análise bibliométrica dos MBSE.

No Capítulo 2.2.1.1 é apresentada uma das metodologias MBSE, o ARCADIA e a ferramenta CAPELLA. Esta foi escolhida para este trabalho por ser uma ferramenta livre acesso e com código aberto que possibilita a criação de *plugins* que são interesse para esta tese.

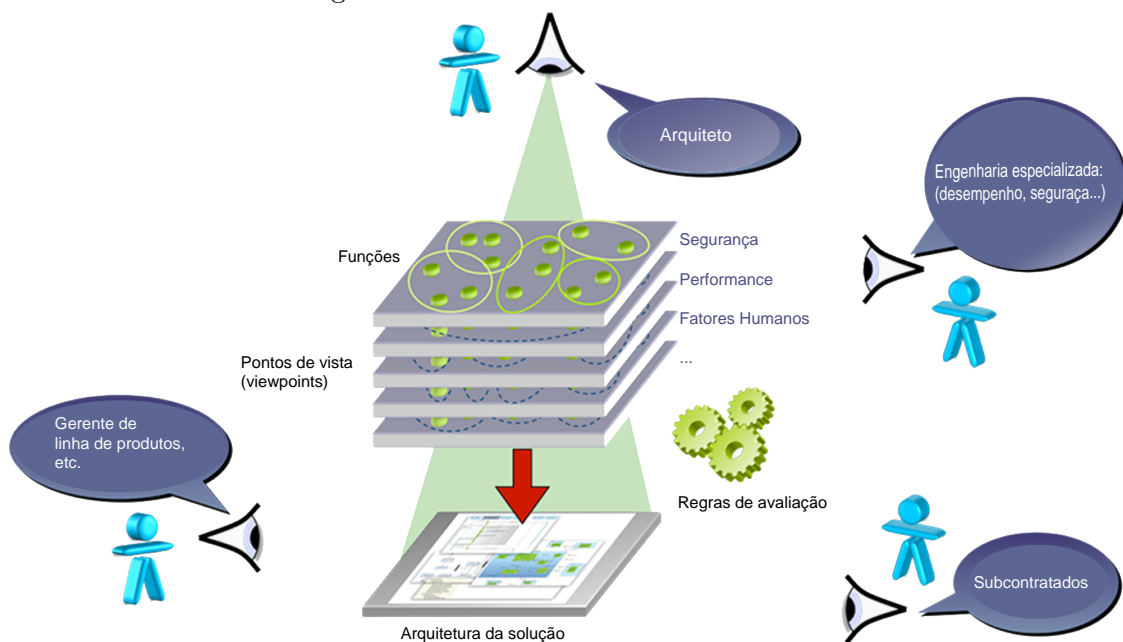
2.2.1.1 ARCADIA e CAPELLA

O ARCADIA (*ArchiMate-Based Conceptual Architecture Design and Integrated Assessment*) é um *framework* de engenharia de sistemas baseado em modelos que se

concentra em auxiliar organizações e profissionais de engenharia a projetar, analisar e validar arquiteturas de sistemas complexos (ROQUES, 2016).

A integração de perspectivas multidisciplinares é promovida pelo ARCADIA através da colaboração entre equipes multidisciplinares, incluindo engenheiros de sistemas, engenheiros de *software*, especialistas em diferentes domínios e outros *stakeholders* (Figura 2.13), permitindo a criação de arquiteturas mais abrangentes e robustas.

Figura 2.13 - Pontos de vista ARCADIA.

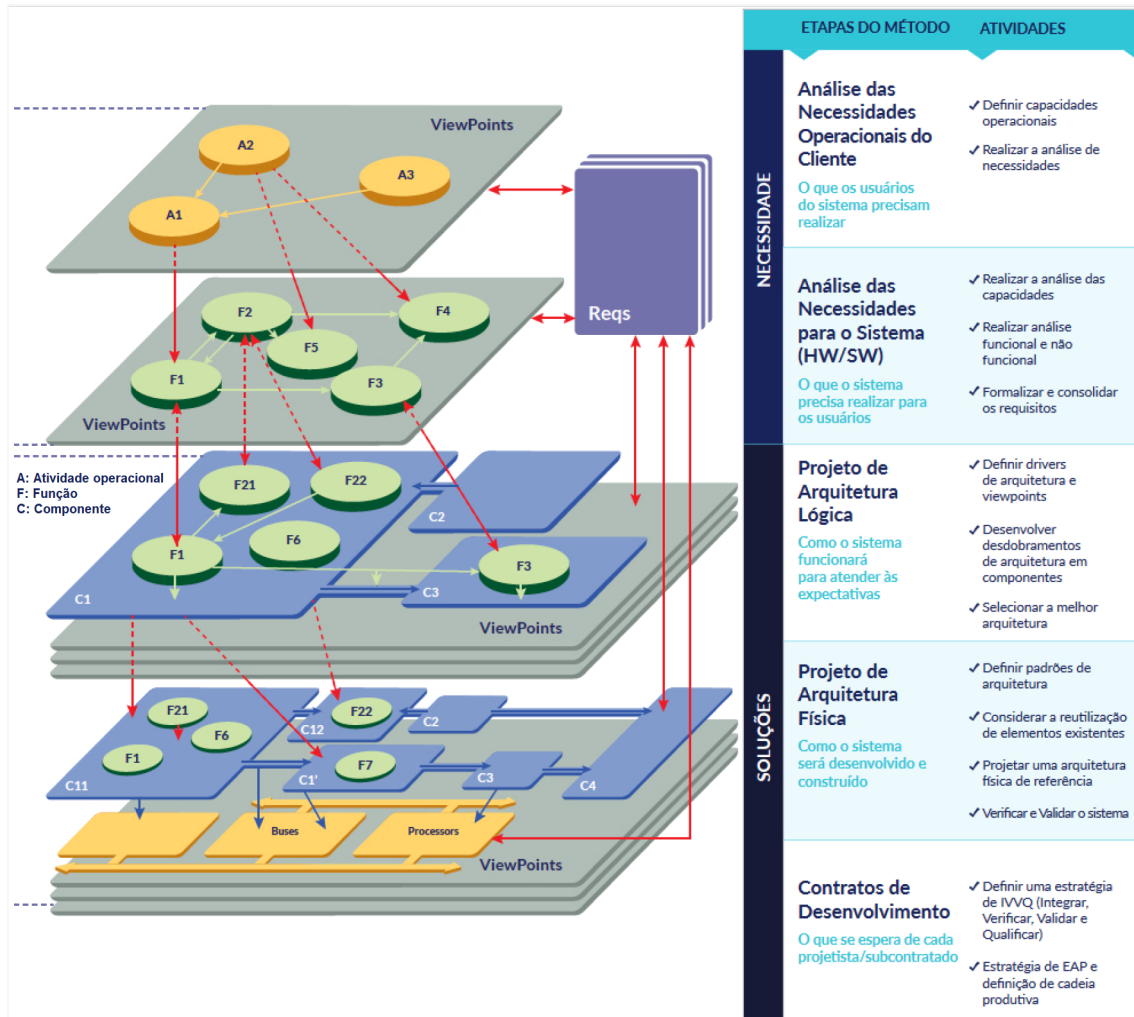


Fonte: Traduzida de Eclipse (2023a).

O método ARCADIA foca, primeiro, em compreender as necessidades do cliente e em seguida, projetar uma arquitetura da solução. Esses dois focos são então reduzidos em cinco perspectivas de engenharia (Figura 2.14):

- Definição do Problema: Análise da Necessidade Operacional do cliente;
- Formalização dos Requisitos do Sistema: Análise das Necessidades do Sistema;
- Desenvolvimento da arquitetura do sistema: Arquitetura Lógica;
- Definição da arquitetura de solução: Arquitetura Física;
- Definição de uma Estratégia de construção: Contratos de Desenvolvimento e IVVQ (integração, verificação, validação e qualificação)

Figura 2.14 - Método ARCADIA.



Fonte: Adaptada de Eclipse (2023b).

O ARCADIA fornece uma notação comum para representar aspectos da arquitetura de sistemas, considerando todo o ciclo de vida do sistema, a fim de que as decisões de arquitetura sejam tomadas com uma visão de longo prazo. Trata-se de uma linguagem digital e formal para possibilitar a visualização de arquiteturas de produtos e sistemas e garantir rastreabilidade e consistência. Isso facilita a montagem e reduz inconsistências, permitindo a identificação antecipada de quaisquer incompatibilidades entre os componentes (ECLIPSE, 2023a).

Uma ferramenta de *software* MBSE digitaliza os modelos e, assim, suporta integração em encadeamentos digitais e automações, tal como a Eclipse CAPELLA,

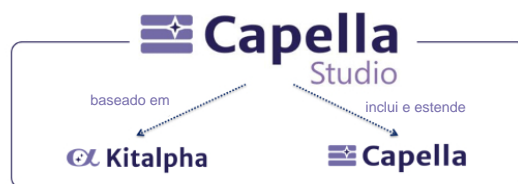
desenvolvida pela Thales Group, que implementa o ARCADIA, inspirada nos conceitos SysML (BONNET et al., 2016).

CAPELLA é uma ferramenta amplamente reconhecida e adotada na indústria de engenharia de sistemas, especialmente em setores como aeroespacial, defesa, transporte e automação ainda que sua implementação bem-sucedida requeira um investimento em treinamento e adaptação organizacional, especialmente para equipes que estão migrando de abordagens tradicionais para MBSE (ECLIPSE, 2023a).

2.2.1.2 CAPELLA STUDIO e KITALPHA

O CAPELLA STUDIO e o KITALPHA são duas ferramentas relacionadas que fazem parte do ecossistema CAPELLA. Eles desempenham funções específicas dentro desse ecossistema, ampliando a capacidade de modelagem, personalização e extensibilidade oferecidas pelo CAPELLA.

Figura 2.15 - Extensibilidade do CAPELLA com CAPELLA STUDIO.



Fonte: Traduzida de Eclipse (2023c).

CAPELLA STUDIO é o IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) para desenvolver *viewpoints* e *add-ons* para CAPELLA. Permite criar complementos CAPELLA de forma padrão utilizando Java e *Eclipse Modeling Framework* (EMF). Uma estrutura de arquitetura agrega *viewpoints* e cada um deles descreve pelo menos uma preocupação do sistema para as partes interessadas envolvidas (ECLIPSE, 2023c).

KITALPHA estende a definição de *viewpoints* para considerá-lo também como uma extensão de engenharia que vem com seus próprios metamodelos, representações (diagramas, tabelas, interfaces de usuário), regras (validação, análise, transformação), serviços e ferramentas para abordar uma especialidade de engenharia, para atender

às necessidades específicas de suas organizações (ECLIPSE, 2023c).

O conjunto de todos os pontos de vista fornece uma solução para a descrição completa de um sistema.

O CAPELLA STUDIO e o KITALPHA estão interconectados para fornecer uma experiência completa de modelagem e personalização.

Para esta tese fora escolhido utilizar o software CAPELLA, assim como o CAPELLA STUDIO e KITALPHA para a criação de um *plugin* auxiliar à modelagem MBSE no CAPELLA Arcadia. A preferência ao CAPELLA deu-se estritamente por ser uma ferramenta livre acesso e com código aberto que possibilita a criação de *plugins* que são interesse a este trabalho.

2.3 Pesquisa Operacional

A Pesquisa Operacional é outra vertente do pensamento sistêmico que se concentra na resolução de problemas complexos.

O termo Pesquisa Operacional, remete às origens da área, cujo interesse primário era a gestão eficiente de operações (tipicamente de logística militar). No entanto, o avanço metodológico e computacional, aliado a constantes demandas de outras áreas, a Pesquisa Operacional se modernizou e ampliou seu campo de atuação. Do ponto de vista prático, a Pesquisa Operacional demanda um esforço de equipe, em geral multidisciplinar, exigindo uma estreita cooperação entre líderes (tomadores de decisão), analistas e pessoas que serão afetadas pela ação de gestão. Sendo assim, PO demanda uma interação natural entre as áreas de administração, engenharias, computação e matemática (SOBRAPO, 2023).

Duas principais abordagens da Pesquisa Operacional (PO) podem ser denominadas Pesquisa Operacional tradicional ou (*POHard*) e Pesquisa Operacional alternativa ou (*POSoft*).

A Pesquisa Operacional *POHard* se concentra na resolução de problemas quantitativos e bem-estruturados. Essa abordagem utiliza técnicas matemáticas e modelos precisos. Por outro lado, a Pesquisa Operacional *POSoft* lida com subjetividades, com problemas nos quais os dados podem ser imprecisos, incompletos ou difíceis de quantificar, reconhecendo a importância de fatores qualitativos, como preferências humanas, valores e contexto social (ACKOFF, 1979; VIDAL, 2006; PETROPOU-

LOS et al., 2024).

A *POSoft* é uma abordagem específica dentro da Pesquisa Operacional que lida com problemas complexos de maneira qualitativa e subjetiva, frequentemente utilizando Métodos de Estruturação de Problemas (PSM) como parte de seu processo. (MINGERS, 2011)

Embora a *POHard* e a *POSoft* sejam abordagens distintas, elas não são mutuamente exclusivas. Na prática problemas complexos exigem uma combinação de técnicas qualitativas e quantitativas para serem adequadamente compreendidos e resolvidos. A complementaridade entre essas abordagens permite uma abordagem mais abrangente e holística para a Pesquisa Operacional. Além disso, a escolha entre as abordagens e metodologias dependem da natureza do problema em questão e das informações disponíveis. Em alguns casos, a modelagem quantitativa é apropriada, enquanto em outros, a consideração de aspectos subjetivos e qualitativos é fundamental.

No domínio da engenharia espacial e ciências espaciais (FLIEGE et al., 2012) apresenta algumas aplicações de Pesquisa Operacional.

Esta tese discorre sobre a *POSoft*, com os Métodos de Estruturação de Problemas.

2.3.1 Métodos de Estruturação de Problemas

Os Métodos ou Metodologias de Estruturação de Problemas (*Problems Structuring Methods - PSM*), são conjuntos de técnicas usadas para estruturar e compreender situações problemáticas complexas antes de se avançar na modelagem e na análise. Esses métodos visam tornar os problemas mais claros, identificar suas causas, envolver partes interessadas e criar uma visão compartilhada dos desafios em questão. Eles oferecem transparência e permitem que as pessoas afetadas pelo problema se envolvam ativamente no processo.

Os métodos de estruturação de problemas foram desenvolvidos a partir da Pesquisa Operacional de forma prática em meados da década de 1960 e só foram teorizados e sistematizados em fases posteriores como inferem Mingers e Rosenhead (2004).

Somente no final da década de 1980 é que os PSMs foram reconhecidos como um campo da Pesquisa Operacional, quando tem-se então a introdução do termo “mé-

todos de estruturação de problemas” em 1989 com a publicação do livro “Análise Racional para um Mundo Problemático” de Rosenhead (1989), que apresentou os PSMs mais importantes na época: essencialmente *Soft systems methodology*, *Strategic options development and analysis*, *Strategic choice approach*, *Robustness analysis*, e *Drama theory* e posteriormente Mingers e Rosenhead (2001) atualizaram as principais abordagens.

Os métodos de estruturação de problemas contribuíram para o campo da pesquisa operacional, fornecendo ferramentas analíticas apropriadas para lidar com problemas complexos. Esses métodos expandiram a disciplina de pesquisa operacional e mudaram seu foco e a aceitação da realidade social subjetiva (KOGETSIDIS, 2024).

São indicadas quando se tem situações que necessitam de estruturação, e que envolvem complexidade, múltiplos atores ou partes interessadas com diferentes perspectivas e objetivos conflitantes, alto grau de incerteza, intangíveis e dados qualitativos e quantitativos. Incerteza significativa é esperada e tolerada assim como a falta de dados quantitativos confiáveis. Têm como objetivo a exploração, o aprendizado e o comprometimento em vez da otimização (DYSON et al., 2021).

É enriquecedor conhecer métodos que possam auxiliar a estruturar os problemas, neste intento recomenda-se os trabalhos de Smith e Shaw (2019) que revisaram as características dos PSMs, Georgiou e Heck (2017) que apresentam uma revisão sistemática sobre os métodos de estruturação de problemas, GomesJunior e Schramm (2022) que elaboraram um compêndio recente sobre os PSM e o livro atual de Franco e Rouwette (2022).

Existe um extenso repertório de métodos disponíveis e ainda é comum combinar vários PSMs, parte de um dos métodos ou juntamente com métodos mais tradicionais numa única intervenção, conhecido como multimetodologia. Portanto, a gama de escolha metodológica é mais ampla ainda do que uma lista de métodos poderia sugerir Mingers e Rosenhead (2004). Entretanto como incentivo ao interesse na utilização de PSMs este trabalho apresenta um compilado de PSMs, contendo os métodos em ordem alfabética, a indicação de uma referência principal para estudo aprofundado e uma descrição, quando, por que e como usar (Tabela 2.1) elaborada a partir de França e Belderrain (2022) e inteligência artificial (Copilot e Gemini) ¹.

¹Prompt de pesquisa: Sobre o [nome do método] do autor [principal referência] descreva os pontos mais importantes incluindo onde, por que, como usar e diferenças entre este e outros PSMs?

Tabela 2.1 - Métodos ou Metodologias desenvolvidas para lidar com situações problemáticas complexas.

Metodo(logia) Principal referência	Descrição
<p>Análise de Robustez (<i>Robustness Analysis</i>) Rosenhead (1980)</p>	<p>Análise de Robustez está focada na flexibilidade sob incerteza. O desempenho do sistema é avaliado em configurações futuras do sistema.</p> <p>Onde é usado: Utilizado principalmente em planejamento estratégico, análise de políticas, e projetos de engenharia que envolvem incertezas significativas.</p> <p>Por que usar: Para garantir que o sistema possa manter seu desempenho sob diferentes cenários e condições futuras incertas, aumentando a resiliência e a capacidade de adaptação.</p> <p>Como usar: Definir os objetivos do sistema e os parâmetros críticos. Desenvolver uma série de cenários futuros possíveis. Avaliar o desempenho do sistema em cada cenário, identificando vulnerabilidades e potencial de melhoria. Implementar ajustes no sistema para melhorar a robustez.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Foca na flexibilidade e resiliência sob incerteza, enquanto métodos como o Planejamento de Cenários exploram futuros prováveis e desejáveis sem necessariamente se concentrar em flexibilidade operacional.</p>

(Continua)

Tabela 2.1 - Continuação.

Metodo(logia)	Descrição
<p>CSH (<i>Critical Systems Heuristics</i>) Ulrich (1995)</p>	<p>A abordagem da Heurística de sistemas críticos concentra-se no emprego crítico de julgamentos de limites.</p> <p>Onde é usado: Em análise de políticas públicas, planejamento urbano, e outras áreas que envolvem sistemas complexos com impacto social significativo.</p> <p>Por que usar: Para assegurar que as fronteiras do sistema sejam definidas de maneira inclusiva e justa, considerando diferentes perspectivas e interesses.</p> <p>Como usar: Questões Críticas: Formular e responder a 12 questões críticas divididas em quatro categorias (Fonte de Motivação, Controle, Expertise, e Legitimidade). Refletir sobre as respostas para identificar potenciais vieses e exclusões. Redefinir as fronteiras do sistema com base nas respostas e reflexões.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Enfatiza a justiça e inclusão nas definições de sistema, ao contrário de abordagens técnicas como a Dinâmica de Sistemas, que se concentra em relações causais e simulações.</p>
<p>Drama teoria (<i>Drama Theory</i>) Howard et al. (1993)</p>	<p>Drama teoria baseia-se na Análise de Hiperjogo e Metajogo; é um método de análise da cooperação com múltiplos atores.</p> <p>Onde é usado: Em contextos de negociação, resolução de conflitos, e análise de cooperação entre múltiplos atores.</p> <p>Por que usar: Para entender e influenciar a dinâmica de cooperação e conflito entre diferentes partes interessadas, ajudando a resolver impasses e melhorar a cooperação.</p> <p>Como usar: Identificar os atores envolvidos e suas preferências. Usar a análise de hiperjogo e metajogo para modelar possíveis interações e desfechos. Desenvolver estratégias para influenciar os atores e promover a cooperação.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Concentra-se na dinâmica de interação entre atores, ao contrário de métodos que analisam apenas fatores internos do sistema, como a Análise de Robustez.</p>

(Continua)

Tabela 2.1 - Continuação.

Metodo(logia)	Descrição
<p>Dinâmica de Sistemas (<i>System Dynamics</i>) Sterman (2001)</p>	<p>Dinâmica de Sistemas é uma forma de modelar um aspecto do mundo real por meio de análise de relacionamento causal.</p> <p>Onde é usado: Em planejamento estratégico, análise de políticas públicas, e gestão de projetos complexos.</p> <p>Por que usar: Para entender como os elementos de um sistema interagem ao longo do tempo e como mudanças em um componente podem afetar o todo.</p> <p>Como usar: Desenvolver diagramas de causalidade e fluxos para representar o sistema. Usar software de simulação para testar diferentes cenários e políticas. Analisar os resultados das simulações para identificar pontos de alavancagem e otimizar o desempenho do sistema.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Utiliza modelos de simulação baseados em <i>feedbacks</i> e estoques, enquanto métodos como a Análise de Robustez podem focar mais em avaliações qualitativas.</p>
<p>DPSIR (<i>Drivers, Pressures, State, Impact, and Response</i>) Bell (2012)</p>	<p>A estrutura de motivadores, pressões, estado, impacto e resposta é um modelo para avaliar, medir e fornecer um guia para a gestão do ambiente.</p> <p>Onde é usado: Na gestão ambiental, sustentabilidade, e avaliação de impactos ecológicos.</p> <p>Por que usar: Para fornecer uma estrutura compreensível e sistemática para avaliar e gerenciar os impactos ambientais.</p> <p>Como usar: <i>Drivers:</i> Identificar os motivadores que levam a mudanças ambientais. <i>Pressures:</i> Determinar as pressões causadas pelos motivadores. <i>State:</i> Avaliar o estado atual do ambiente. <i>Impact:</i> Medir os impactos dessas pressões no ambiente. <i>Response:</i> Desenvolver respostas e estratégias de mitigação.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Estrutura especificamente focada em questões ambientais, enquanto métodos como SWOT são mais generalistas e aplicáveis a diversas áreas.</p>

(Continua)

Tabela 2.1 - Continuação.

Metodo(logia)	Descrição
<p>Mapeamento Cognitivo (<i>Cognitive Mapping</i>) Eden (1992)</p>	<p>Mapeamento Cognitivo é uma expressão representativa das percepções e conhecimentos de um indivíduo; é expresso em formato de rede.</p> <p>Onde é usado: Em planejamento estratégico, análise organizacional, e resolução de problemas complexos.</p> <p>Por que usar: Para capturar e analisar as percepções e conhecimentos dos indivíduos sobre uma situação problemática, facilitando a comunicação e o entendimento mútuo.</p> <p>Como usar: Realizar entrevistas para extrair as percepções dos indivíduos. Criar mapas cognitivos que representem essas percepções em formato de rede. Analisar os mapas para identificar padrões, relações e pontos de consenso ou conflito.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Foca em percepções individuais e conhecimento tácito, ao contrário de métodos quantitativos e baseados em dados objetivos como a Dinâmica de Sistemas.</p>
<p>Planejamento de Cenários (<i>Scenario Planning</i>) Schoemaker (1995)</p>	<p>Planejamento de Cenários diz respeito a cenários futuros prováveis e desejáveis para orientar estratégias de longo prazo.</p> <p>Onde é usado: Em planejamento estratégico de longo prazo, especialmente em setores com alta incerteza.</p> <p>Por que usar: Para preparar organizações para futuros incertos e desenvolver estratégias robustas e adaptáveis.</p> <p>Como usar: Identificar as principais forças motrizes e incertezas. Criar uma série de cenários futuros prováveis e desejáveis. Analisar cada cenário para identificar oportunidades e ameaças. Desenvolver estratégias que sejam robustas em múltiplos cenários.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Centra-se na criação de cenários futuros, enquanto métodos como SSM focam na melhoria de situações presentes.</p>

(Continua)

Tabela 2.1 - Continuação.

Metodo(logia)	Descrição
<p>SAST (<i>Strategic Assumptions Surfacing and Testing</i>) Mitroff e Emshoff (1979)</p>	<p>Apresentação e teste de suposições estratégicas, busca gerar políticas robustas para uma determinada questão por meio do mapeamento e avaliação dos vieses dos gestores.</p> <p>Onde é usado: Em desenvolvimento de políticas, planejamento estratégico, e análise de gestão.</p> <p>Por que usar: Para identificar, explicitar e testar suposições estratégicas subjacentes, revelando vieses e preconceitos que podem afetar a tomada de decisão.</p> <p>Como usar: Identificar as principais suposições estratégicas. Testar essas suposições contra dados e evidências. Refletir sobre os resultados dos testes e ajustar as suposições conforme necessário.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Foca na avaliação e teste de suposições, diferentemente de métodos como SWOT, que se concentram na análise de fatores internos e externos.</p>
<p>SCA (<i>Strategic Choice Approach</i>) Friend e Hickling (2012)</p>	<p>Abordagem de Escolha Estratégica é uma abordagem de planejamento centrada no gerenciamento de incertezas em situações estratégicas.</p> <p>Onde é usado: Em planejamento estratégico e tomada de decisão em ambientes incertos e complexos.</p> <p>Por que usar: Para gerenciar incertezas e tomar decisões estratégicas eficazes em situações dinâmicas.</p> <p>Como usar: Estruturar o problema em etapas claras (Formulação, Comparação, Avaliação e Implementação). Envolver todas as partes interessadas no processo. Revisar e ajustar as decisões conforme novas informações se tornam disponíveis.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Concentra-se na gestão iterativa de incertezas, ao contrário de métodos que podem ser mais lineares ou prescritivos.</p>

(Continua)

Tabela 2.1 - Continuação.

Metodo(logia)	Descrição
<p>SODA (<i>Strategic Options and Development Analysis</i>) Ackermann e Eden (2020)</p>	<p>Opções Estratégicas e Análise de Desenvolvimento é um método que usa um mapeamento cognitivo bipolar como um dispositivo de modelagem para extrair e registrar visões individuais de uma situação problemática.</p> <p>Onde é usado: Em análise organizacional, planejamento estratégico, e desenvolvimento de políticas.</p> <p>Por que usar: Para extrair e registrar as visões individuais dos participantes sobre uma situação problemática, promovendo uma compreensão compartilhada.</p> <p>Como usar: Realizar entrevistas detalhadas para capturar as percepções individuais. Criar mapas cognitivos bipolares que representem essas percepções. Facilitar discussões baseadas nos mapas para desenvolver estratégias e soluções.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Enfatiza a captura e integração de visões individuais. Compartilha a utilização de mapeamento cognitivo mas com foco no desenvolvimento de opções estratégica</p>
<p>SSM (<i>Soft Systems Methodology</i>) Checkland (1999)</p>	<p>Metodologia de sistemas suaves é um método geral útil para identificar situações que podem ser melhoradas.</p> <p>Onde é usado: Em análise de sistemas complexos e resolução de problemas em diversas áreas, incluindo negócios, saúde, e setor público.</p> <p>Por que usar: Para identificar e implementar melhorias em situações problemáticas complexas onde há múltiplas percepções e interesses.</p> <p>Como usar: Investigar a situação problemática através de entrevistas e observações. Desenvolver modelos conceituais que representem as diferentes visões do sistema. Comparar os modelos conceituais com a realidade atual. Identificar mudanças desejáveis e viáveis e implementá-las.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Foca em processos iterativos de aprendizado e ação, diferentemente de métodos que podem ser mais estruturados e lineares.</p>

(Continua)

Tabela 2.1 - Continuação.

Metodo(logia)	Descrição
<p>SWOT (<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats</i>) Kotler (1994)</p>	<p>Pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças são usados para avaliar rapidamente a posição competitiva de uma empresa e desenvolver um planejamento estratégico.</p> <p>Onde é usado: Em planejamento estratégico de empresas e análise competitiva.</p> <p>Por que usar: Para avaliar rapidamente a posição competitiva de uma organização e desenvolver estratégias com base em fatores internos e externos.</p> <p>Como usar: Análise Interna: Identificar forças e fraquezas internas. Análise Externa: Identificar oportunidades e ameaças externas. Desenvolver estratégias que alavanquem as forças, mitiguem as fraquezas, aproveitem as oportunidades e protejam contra ameaças.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Simples e direto, ideal para avaliações rápidas, ao contrário de métodos mais complexos e detalhados como a Análise de Robustez.</p>
<p>VFT (<i>Value Focused Thinking</i>) Keeney (1996)</p>	<p>O Pensamento Focado em Valor é uma abordagem que afirma que toda decisão deve se concentrar na identificação dos objetivos fundamentais das partes interessadas envolvidas. Estes objetivos orientarão os decisores na identificação de melhores alternativas e melhores situações de decisão.</p> <p>Onde é usado: Em processos de tomada de decisão onde a identificação de objetivos é central.</p> <p>Por que usar: Para garantir que as decisões se alinhem com os valores e objetivos fundamentais das partes interessadas.</p> <p>Como usar: Identificar os valores e objetivos fundamentais das partes interessadas. Desenvolver alternativas que atendam aos valores identificados. Avaliar as alternativas com base nos valores. Selecionar a melhor alternativa com base na avaliação de valores.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Foco na identificação de valores e objetivos fundamentais para orientar a tomada de decisão.</p>

(Continua)

Tabela 2.1 - Conclusão.

Metodo(logia)	Descrição
VSM (<i>Viable Systems Model</i>) Beer (1984)	<p>O Modelo de Sistemas Viáveis especifica cinco sistemas que devem existir dentro de uma organização.</p> <p>Onde é usado: Em gestão organizacional, <i>design</i> de sistemas, e análise de viabilidade empresarial.</p> <p>Por que usar: Para garantir que uma organização ou sistema tenha os componentes necessários para ser viável e sustentável a longo prazo.</p> <p>Como usar: Analisar a organização usando os cinco sistemas essenciais (Operações, Coordenação, Controle, Inteligência, e Política). Estruturar ou reestruturar a organização para que todos os sistemas essenciais estejam presentes e funcionando adequadamente. Implementar mudanças organizacionais baseadas no diagnóstico e modelo.</p> <p>Diferenças com outros PSMs: Foco em viabilidade organizacional e a interconexão dos sistemas essenciais, ao contrário de métodos que podem focar mais em aspectos externos ou estratégicos.</p>

Fonte: Produção da autora.

Nesta lista foi adicionado aos habituais PSMs, o método VFT (*Value Focused Thinking*) apresentado por Keeney (1996) e recentemente descrita em um processo unificando as diferentes abordagens por Vieira et al. (2024). Françoze et al. (2019) analisou o desenvolvimento e aplicações de VFT apontando alguns autores que combinam análise documental com entrevistas/validação por meio de *stakeholders*.

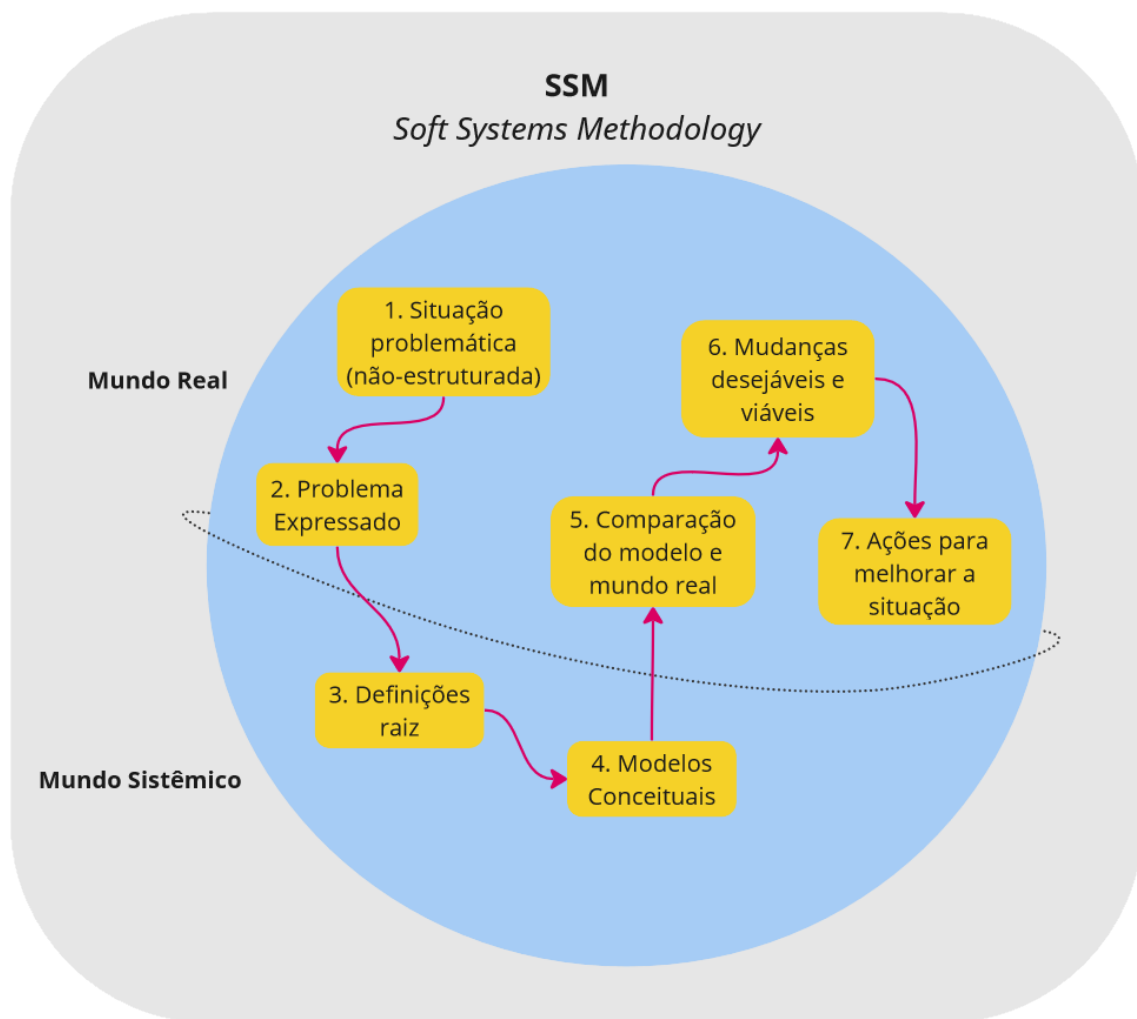
Dois dos Métodos de Estruturação de Problemas (Tabela 2.1) foram escolhidos por sua propícia aplicação nos exemplos de estudo da tese o *Soft Systems Methodology* (SSM) e o *Strategic Options Development and Analysis* (SODA):

- no exemplo de aplicação I (Capítulo 5) foram utilizadas uma das ferramentas do SSM, as figuras-ricas, escolhida pela característica de propiciar a integração do grupo de desenvolvedores com o grupo de *stakeholders*.
- no exemplo de aplicação II (Capítulo 6.1) foram utilizados Mapas SODA, escolhidos pela característica da representação visual para organizar as informações já existentes na documentação e análise.

Os métodos de Estruturação de Problemas SSM e SODA serão mais detalhados nas Seções 2.3.1.1 e 2.3.1.2. Salienta-se que os demais métodos são tão úteis quanto estes, cabendo um estudo particular para seleção caso-a-caso em outras aplicações reais.

2.3.1.1 A *Soft Systems Methodology* e as Figuras-ricas

Figura 2.16 - SSM.



Fonte: Adaptada de Checkland e Poulter (2020).

Soft Systems são aqueles sistemas que não são de caráter puramente técnico nem social. A principal filosofia da abordagem *Soft Systems Methodology* (SSM) é que, ao tratar os dois juntos, melhores sistemas podem ser desenvolvidos.

Em Checkland (2000) encontra-se uma retrospectiva histórica da criação do método e variações ao longo do tempo por seu desenvolvedor.

A metodologia pode ser apresentada, em sua mais habitual versão, o pensamento em sete etapas (Figura 2.16), compreendidas dentro de um mundo real e um mundo sistêmico, onde a percepção advinda é a de que seria possível fazer um paralelo com a Engenharia de Sistemas assim:

- 1. Temos uma situação problemática, não-estruturada.

Esta situação que gerou o impulso inicial de desenvolvimento de um sistema, que neste ponto ainda não se sabe qual será;

- 2. O problema é expressado.

Os interessados no sistema expressam seus desejos e necessidades, assim como o contexto. Nota-se aqui uma semelhança ao *AS-IS* (cenários operacionais atuais apresentado na Figura 2.5), isto é, a situação atual na Engenharia de Sistemas. Sendo aqui nesta etapa a sugestão desenvolvida mais profundamente nesta tese, de utilizar ferramentas dos Métodos de Estruturação de Problemas que auxiliem a captura de informações com clareza. As ferramentas utilizadas podem ser qualquer que o facilitador se sinta confortável no uso para que a atividade de elicitação seja frutífera, tais como, desde um *brainstorming* a um mapa cognitivo, figuras-ricas (como proposto por Checkland (2000), *dialogue mapping*, entre outros.

- 3. Definições raiz.

É formalizada uma definição que expressa as informações percebidas do mundo real para uma transcrição no aqui denominado mundo sistêmico. Pode-se utilizar o mnemônico *CATWOE* (*Customer, Actor, Transformation, Worldview, Owner and Environment*) para listar os Clientes, Atores, Transformações, Visão do mundo, Donos e Ambiente do problema, e com tal, descrever as definições raiz, que contribuiriam ao *TO-BE* (cenários operacionais futuros apresentado na Figura 2.5), isto é, a situação desejada na Engenharia de Sistemas. As transformações aqui encontradas ditam qual seria a nova situação desejada resultante da construção do sistema.

- 4. São construídos modelos conceituais

Podem ser usados nesta etapa quaisquer diagramas que facilitem o entendimento do sistema, podendo ser usados *systemigrams* (diagramas de sistemas), diagramas de casos de uso e diagramas de sequência. Esta fase corresponderia ao CONOPS (Conceito de operações) da Engenharia de Sistemas.

- 5. Comparação do modelo com o mundo real.

Aqui é realizada uma comparação entre o problema expressado (item 2) e os modelos conceituais (item 4).

- 6. Mudanças sistematicamente desejáveis e culturalmente viáveis.

São contempladas as transformações a serem atendidas pelo sistema.

- 7. Ações para melhorar a situação problemática.

Construção dos Sistemas de atividades humanas (HAS) e Supersistemas (integração dos HAS).

Deste ponto poderiam ser gerados os requisitos que serão base para a próxima etapa da Engenharia de Sistemas, finalizando a Definição do Problema e iniciando a Definição do Sistema.

Figuras-ricas

Uma das ferramentas citadas na etapa 2 da SSM é a criação de figuras-ricas (*rich-pictures*).

Figuras-ricas são representações gráficas que capturam visualmente a essência de um problema complexo e a compreensão subjacente das partes interessadas. Essas figuras, tais como a do exemplo na Figura 2.17, são frequentemente desenhadas à mão, de maneira livre - importante não terem uma estrutura definida, e são altamente esquemáticas, incorporando símbolos, ícones, palavras-chave e anotações para transmitir informações de maneira concisa e intuitiva (ARMSON, 2012). Sua criação colaborativa é uma etapa importante no processo de resolução de problemas em situações que envolvem questões subjetivas e multifacetadas.

Figura 2.17 - Exemplo de figura-rica - problema de enchentes em Nova York.



Fonte: The Open University (2023).

Os três componentes mais importantes de uma figura-rica são: Estruturas, Processos e Preocupações. Estruturas refere-se a aspectos do contexto de trabalho (organização hierárquica de uma empresa, localidades geográficas, equipamentos físicos, *stakeholders*, ...); Processos refere-se às transformações, podendo fazer parte os fluxos de material, energia e informação; e as Preocupações (*issues/concerns*) abrangem cada uma das pessoas capturadas na imagem rica, que irá ter suas próprias preocupações (MONK; HOWARD, 1998).

O uso de figuras-ricas beneficia:

- i) Uma compreensão compartilhada entre as partes interessadas sobre o problema em questão, permitindo que diferentes perspectivas sejam representadas de forma visual;
- ii) Identificação de problemas subjacentes e oportunidades de melhoria, destacando as relações complexas e os desafios que podem não ser evidentes apenas em descrições textuais;
- iii) A discussão e a colaboração entre os membros da equipe e as partes interessadas envolvidas na resolução do problema;

iv) A modelagem subsequente do sistema, permitindo que os modeladores entendam o contexto mais amplo em que o sistema opera.

Embora façam parte do SSM, Berg et al. (2019) afirmam que as figuras-ricas também podem ser usadas de forma independente como uma fonte rica para identificar o conhecimento que já está disponível.

Bell e Morse (2013) explora o uso diversificado de imagens, especificamente figuras-ricas, em processos de grupo e explica como elas podem ser aplicadas e compreendidas em vários contextos, permitindo que os grupos explorem seus sentimentos subconscientes, ocultos e entendimentos conflitantes, tornando-as uma ferramenta valiosa para trabalhos em grupo, a resolução de problemas e a revisão de questões.

Berg (2014) apresentaram na tese de doutorado um comparativo entre figuras-ricas e algumas outras técnicas de elicitación de conhecimento.

Systemigrams

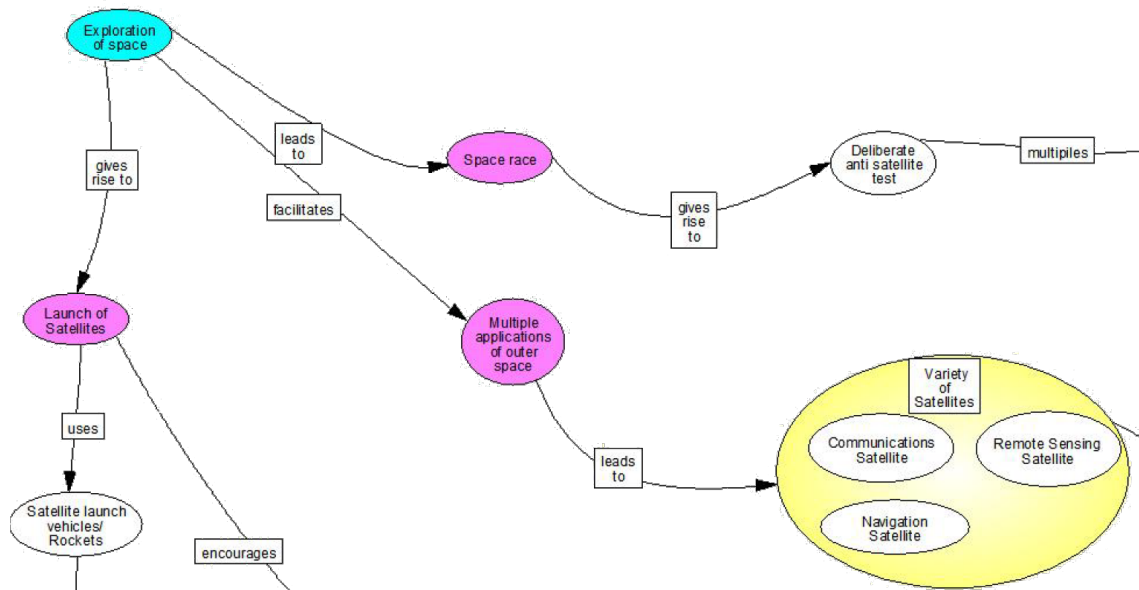
Outra variação do SSM é o *Boardman Soft Systems Methodology (BSSM)*, que introduziu *systemigrams* (diagramas sistêmicos) (CLOUTIER et al., 2014). Eles são aqui apresentados por sua utilização na multimetodologia proposta nesta tese.

Os *systemigrams* são poderosas ferramentas para contar histórias (*storytelling aids*) sobre os sistemas e são úteis para fornecer uma base comum para discussões em grupo, podendo tornar sistemas complexos compreensíveis.

A Figura 2.18 apresenta como exemplo um recorte de um *systemigram* completo. A confecção de um *systemigram* é dada à (STEVENS, 2019):

- O primeiro conceito é o essencial, representa o propósito do sistema, deve estar no canto superior esquerdo;
- A estrutura do *systemigram* é um arranjo de partes (nós) e relacionamentos (links) que representam estruturas e processos. Idealmente devem haver de 15 a 25 nós e não deve ocorrer repetição de nós;
- Recomenda-se não haver cruzamento das ligações;
- Deve manter uma preocupação estética para ajudar a leitura das frases no diagrama.

Figura 2.18 - Exemplo Systemigram - problema de detritos espaciais.

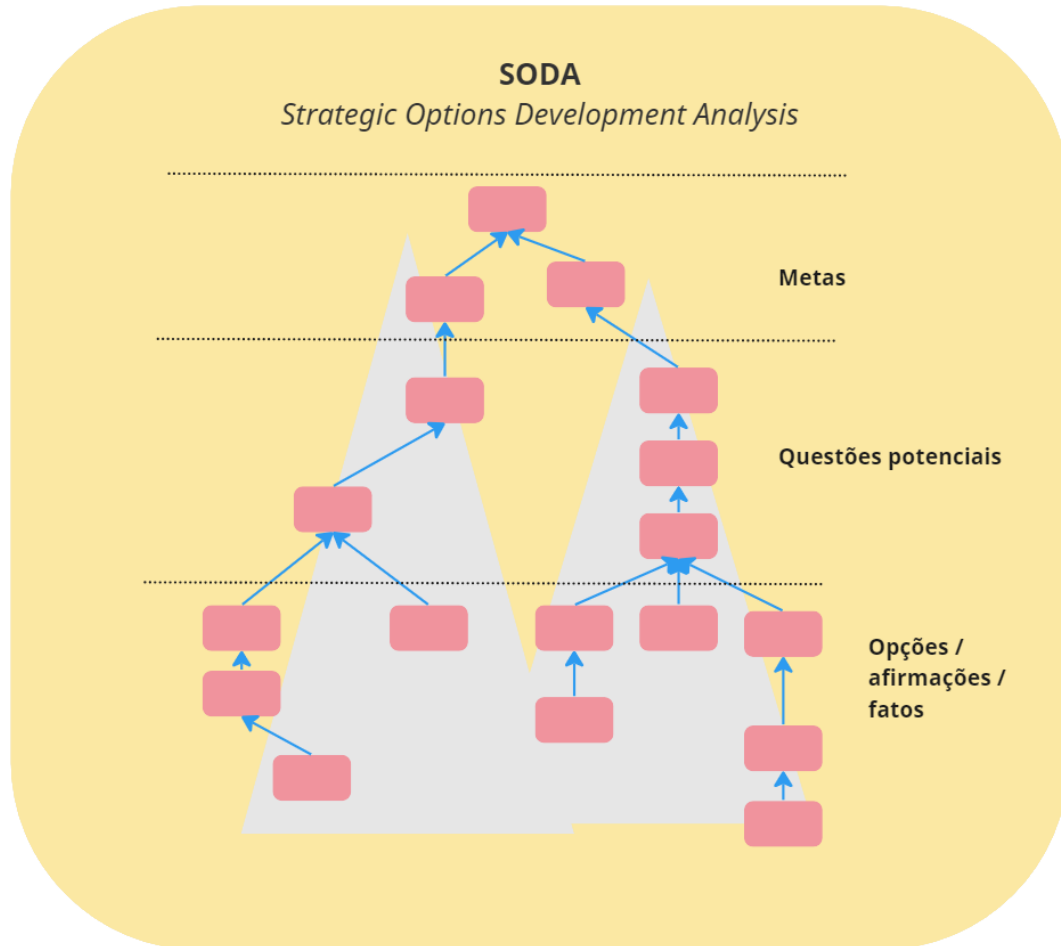


Fonte: Verma et al. (2023).

Ao longo do tempo novas formas de implementar o SSM foram sendo desenvolvidas. Dentre estas uma que a autora sugere fortemente seu uso, quando convir, é a reconfiguração do SSM proposta por Georgiou (2015) que detalhou as etapas em passos bem definidos auxiliando sua aplicação e a versão em que Georgiou (2012) utilizou o SODA auxiliar a aplicação do SSM.

2.3.1.2 *Strategic Options Development Analysis* e os Mapas Cognitivos

Figura 2.19 - SODA.



Fonte: Adaptada de Ackermann e Eden (2020).

A SODA - *Strategic Options Development Analysis* é um Método de Estruturação de Problemas amparada em entrevistas e mapeamento cognitivo para capturar visões individuais de um problema. Os mapas são usados para facilitar a negociação sobre sistemas de valores / objetivos, questões-chaves estratégicas e portfólios de opções, explicam seus desenvolvedores [Eden e Ackermann \(2001\)](#).

As principais características dos mapas cognitivos incluem: Hierarquia de Conceitos, isto é, como os conceitos estão organizados e Conexões, como as informações estão relacionadas, como uma ideia leva a outra.

Os mapas cognitivos não são simplesmente diagramas de “palavras e setas”, ou diagramas de influência ou mapas mentais. Os mapas cognitivos são representações gráficas que buscam capturar a estrutura do conhecimento e o processamento de informações dentro da mente de um indivíduo ou grupo. (EDEN, 2004)

Podemos ter um Mapa SODA (Figura 2.20) em três passos:

Passo 1) Preparação dos Mapas SODA;

Passo 2) Construção do mapa agregado / congregado;

Passo 3) Análise do mapa.

Passo 1) Preparação dos Mapas SODA

O início da metodologia dá-se pela realização de entrevistas e construção dos mapas cognitivos individuais ou em grupo.

Collins et al. (2022) relembram a existência de duas formas de realizar a elicitação do mapa SODA, que seriam desenvolvendo um mapa de grupo a partir de uma coleção de mapas individuais ou, alternativamente, um grupo de participantes e um facilitador desenvolvem um mapa de grupo comum simultaneamente. A escolha entre um ou outro é feita dependendo do contexto da situação problemática, do estilo de organização, da cultura do grupo ou das restrições de tempo.

Os mapas são construídos com uma pergunta inicial sobre o tema de interesse ou problema identificado. Este será o tema central do mapa SODA, uma ideia abstrata e genérica que representa o que você deseja analisar ou compreender. Este será o primeiro conceito que deve ser escrito em uma folha ou utilizando-se um *software* de apoio para anotar novos conceitos para construção do mapa.

A partir deste primeiro conceito realiza-se a seguinte pergunta aos entrevistados “Como?” referindo-se a “como aquele conceito poderia ser realizado?”. Cada resposta gerará um novo conceito que deve ser escrito abaixo do conceito ao qual se fez o questionamento, interligando-o com uma seta e em todos deve-se realizar a mesma pergunta.

Da mesma forma para cada conceito deve-se perguntar “Por quê?” referindo-se a “por que este conceito deve ser atingido?”. Cada resposta gerará um novo conceito que deve ser escrito acima do conceito ao qual se fez o questionamento, interligando-o com uma seta e em todos deve-se realizar a mesma pergunta.

Com isso são gerados os conceitos e são encadeados hierarquicamente, com as setas direcionadas de baixo para cima.

A cada um dos conceitos recomenda-se adicionar o polo oposto psicológico para confirmar qual seria a situação não desejada pelo entrevistado. Polos opostos lógicos são mutuamente exclusivos e exaustivos, enquanto polos opostos psicológicos são conceitos bipolares que representam diferentes abstrações de uma mesma característica. (KELLY, 1991)

A Teoria dos Constructos Pessoais de Kelly (1991) propõe que cada indivíduo interpreta o mundo através de um sistema único de constructos, conceitos bipolares que servem como instrumentos cognitivos para categorizar e organizar as informações. Essa teoria encontra uma aplicação prática nos Mapas SODA, através de unidades de conhecimento que podem ser conectadas e relacionadas entre si.

Em suma, constructos, na psicologia, são conceitos abstratos e bipolares que cada indivíduo utiliza para interpretar e compreender o mundo ao seu redor. São como filtros mentais que moldam a forma como percebemos, categorizamos e organizamos as informações. Os constructos psicológicos servem como base para a construção de mapas SODA. Os mapas SODA representam visualmente a estrutura dos constructos de um indivíduo ou grupo. Ao analisarmos os mapas SODA, podemos identificar constructos centrais, explorar relações entre constructos e entender como o conhecimento é organizado na mente. Essa representação visual facilita a compreensão das diferentes perspectivas e a identificação de oportunidades para aprimorar a tomada de decisões estratégicas.

Assim temos os mapas SODA.

Passo 2) Construção do mapa agregado / congregado

O mapa agregado é a união de todos os mapas (de cada entrevistado) em um só mapa. Para conseguir uni-los sugere-se a listagem de todos constructos em uma tabela para facilitar a identificação de constructos semelhantes. Estes são agrupados em um único chamado de constructos abrangente, e são reestabelecidas todas as ligações, gerando assim um só mapa com todos os constructos. ²

Após a validação pelos entrevistados, com as devidas correções e concordância, este é chamado mapa congregado.

²Este passo não precisa ser realizado caso a dinâmica não tenha sido entrevistas individuais e tenhamos apenas um mapa SODA grupal.

Passo 3) Análise do mapa

Inicia-se finalmente a fase de análise deste mapa SODA congregado.

Existem diferentes análises possíveis dos mapas, especificamente:

- Análise de *clusters* detalhada por Eden (2004) e ilustrada na Figura 2.19, trata-se da busca de uma proximidade entre os constructos. Pela observação do mapa geral será possível reconhecer grupos de assuntos semelhantes, aos quais identifica-se como *clusters*.
- Análise de constructos-chaves (GEORGIU, 2009).

Outra análise é a identificação de constructos - cabeças, caudas, implosões, explosões e dominantes:

Cabeças - São os constructos mais acima no mapa, estão relacionados às metas que se deseja alcançar.

Caudas/Raízes - São os constructos da base do mapa SODA, relacionados às opções.

Implosões - São os constructos do mapa SODA onde várias informações convergem ou se encontram. Isso pode indicar pontos de implosão, onde várias influências ou eventos diferentes levam a um ponto comum.

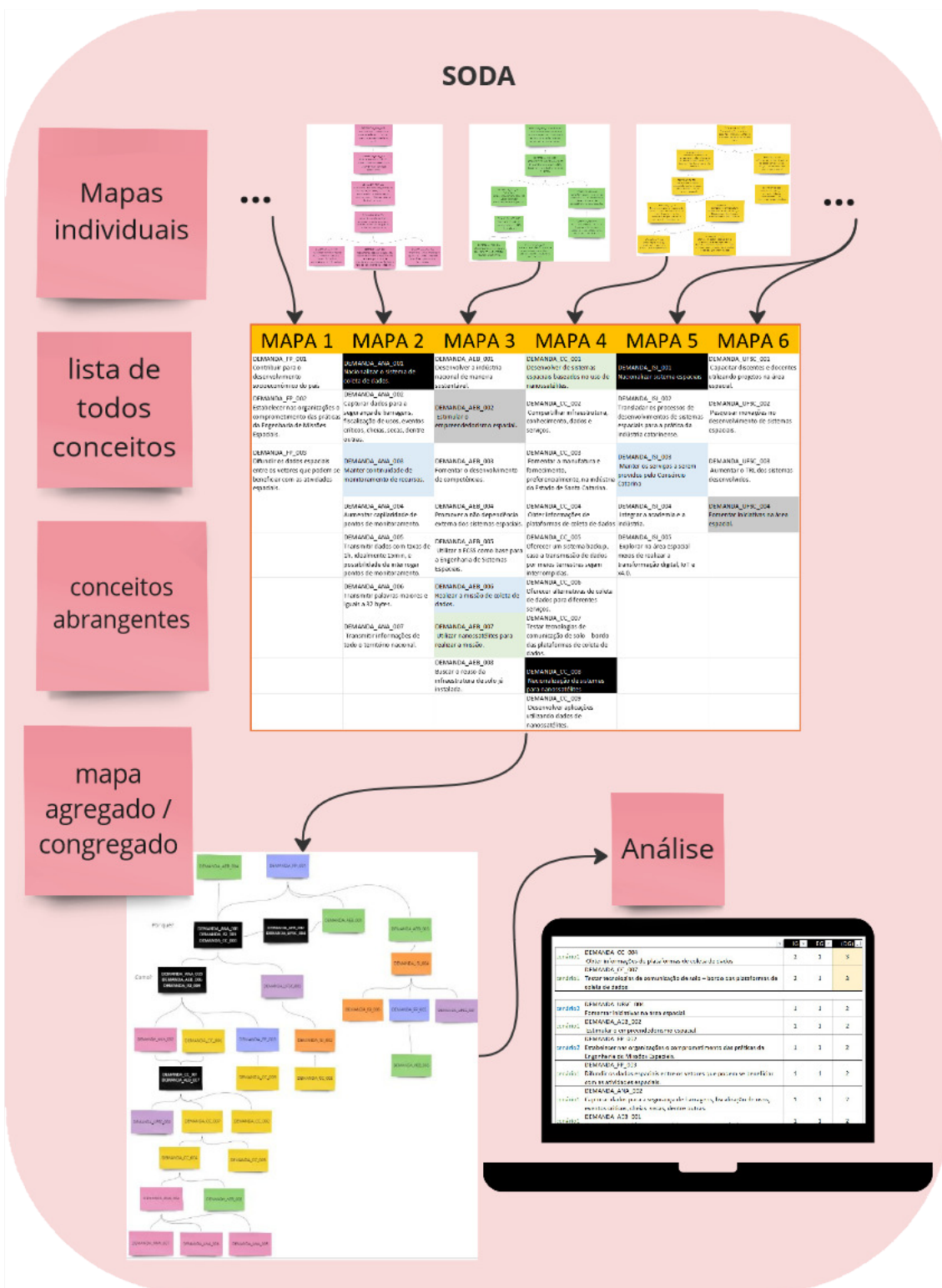
Explosões - São os constructos do mapa SODA em que um único constructo ou elemento leva a múltiplas ramificações ou informações subsequentes. Isso pode indicar pontos de explosão, onde um constructo gera uma série de efeitos ou informações adicionais.

Elementos Dominantes - São os constructos do mapa SODA que são centralmente importantes para a compreensão geral do problema. Possuem uma soma maior de implosões e explosões.

Integrar as descobertas das etapas anteriores e considerar como os constructos destacados se relacionam no contexto geral do mapa SODA pode ajudar a identificar padrões, relações de causa e efeito, pontos de intervenção relevantes e avaliações de opções estratégicas para orientar a tomada de decisões e planejamentos futuros.

Para conhecer mais sobre aplicações SODA na última década, recomenda-se o trabalho de Abuabara e Paucar-Caceres (2021).

Figura 2.20 - Mapas SODA.



Fonte: Adaptado de Barros (2012).

2.4 Desenvolvimento Ágil

O Desenvolvimento Ágil é uma abordagem de desenvolvimento de *software* que tem se expandido para outras áreas e se destaca por sua flexibilidade, colaboração e capacidade de resposta às mudanças. Surgindo como uma alternativa aos métodos tradicionais, o desenvolvimento ágil valoriza os indivíduos e interações. Essa abordagem evoluiu ao longo do tempo e se consolidou em 2001, com a criação do Manifesto Ágil.

O Manifesto Ágil é discutido no contexto da engenharia de sistemas por Darrin e Devereux (2017), que defendem que é importante promover agilidade nos desenvolvimentos.

Princípios por trás do Manifesto Ágil (AGILEMANIFESTO, 2001):

- A maior prioridade é satisfazer o cliente através da entrega antecipada e contínua de *software* valioso.
- Aceitar mudanças nos requisitos, mesmo no final do desenvolvimento. Os processos ágeis aproveitam as mudanças para obter vantagem competitiva do cliente.
- Entregas de *software* funcional com frequência, com preferência ao prazo mais curto.
- Os empresários e os desenvolvedores devem trabalhar juntos diariamente durante todo o projeto.
- Projetos construídos em torno de indivíduos motivados. Dê-lhes o ambiente e o apoio de que precisam e confie neles para realizar o trabalho.
- O método mais eficiente e eficaz de transmitir informações para e dentro de uma equipe de desenvolvimento é uma conversa cara a cara.
- *Software* funcional é a principal medida de progresso.
- Processos ágeis promovem o desenvolvimento sustentável. Os patrocinadores, desenvolvedores e usuários devem ser capazes de manter um ritmo constante indefinidamente.
- A atenção contínua à excelência técnica e ao bom projeto aumenta a agilidade.
- A simplicidade é essencial.
- As melhores arquiteturas, requisitos e *designs* emergem de equipes auto-organizadas.
- Em intervalos regulares, a equipe reflete sobre como se tornar mais eficaz e, em seguida, refina e ajusta seu comportamento de acordo.

Desses princípios se destaca o interesse nesta tese a comunicação estreita com os

stakeholders, participação próxima de todos os envolvidos, a possibilidade de revisita e a flexibilização do processo de desenvolvimento através da permissão de mudanças nos requisitos.

2.4.1 Desenvolvimento Orientado ao Comportamento e histórias dos usuários

Entre as abordagens ágeis, as histórias dos usuários no Desenvolvimento Orientado ao Comportamento (*Behavior-Driven Development* - BDD) é uma abordagem que se concentra na colaboração entre desenvolvedores, testadores e especialistas em domínio, para entender e especificar o comportamento desejado de um sistema.

As *User Stories* fornecem descrições usando um título, uma narrativa e um conjunto de cenários que atendem aos critérios de aceitação na Engenharia de Sistemas (SILVA; FITZGERALD, 2021).

- **Título** Um título conciso que contextualize a história do usuário.
- **Narrativa:** “Como [tipo de usuário], eu quero [ação] para [benefício].”

Essas histórias são normalmente registradas em cartões ou em ferramentas de gerenciamento de projetos e são acompanhadas de critérios de aceitação que definem quando a história foi implementada com sucesso.

- **Conjunto de cenários (critérios de aceitação):**

Cada cenário tem um título e três itens principais:

<Dado> para fornecer pré-condições;

<Quando> para descrever um evento desencadeante;

<Então> para apresentar resultados que podem ser verificados para garantir que o sistema está funcionando conforme planejado.

Cada uma dessas cláusulas pode incluir uma declaração “E” para fornecer vários contextos, eventos e / ou resultados.

Tais cenários são baseados em comportamentos específicos e mensuráveis do sistema. Isso ajuda a garantir a definição e satisfação aos requisitos do usuário para funcionamento conforme o esperado.

A abordagem colaborativa da *User-Stories BDD* promove uma comunicação eficaz entre as partes interessadas e a equipe de desenvolvimento, melhorando a compreensão mútua e a entrega de valor ao cliente.

Para exemplos em diversas áreas recomenda-se o artigo de [Amna e Poels \(2022\)](#) que apresenta um mapeamento sistemático da literatura sobre histórias de usuários.

Engenharia de Sistemas Ágil

A Engenharia de Sistemas Ágil é uma abordagem que combina os princípios da Engenharia de Sistemas com os valores e práticas ágeis, isto é, ela adota os valores e princípios do Manifesto Ágil para a Engenharia de Sistemas.

[Douglass \(2015\)](#) explora como métodos ágeis podem ser aplicados na engenharia de sistemas, enfatizando o uso de análise funcional baseada em modelos e arquitetura de sistemas.

A Engenharia de Sistemas Ágil visa aprimorar a maneira como os sistemas complexos são desenvolvidos, integrando flexibilidade, colaboração e resposta rápida às mudanças nos processos de Engenharia de Sistemas. Essa abordagem ágil tem ganhado destaque à medida que organizações buscam maneiras mais eficazes de lidar com a crescente complexidade dos sistemas e as demandas em constante evolução dos clientes.

[Haberfellner e Weck \(2005\)](#) e [Dove \(2014\)](#) distinguem entre agilidade no processo de engenharia de sistemas e agilidade no próprio sistema resultante, fornecendo exemplos de vários setores.

2.5 Linguagem Natural Controlada

Um último conceito que será útil à esta tese é a Linguagem Natural Controlada (LNC), cujo interesse está intrinsecamente ligado aos termos padronizados, o uso de termos clichês (*boilerplates*).

A LNC refere-se a uma variedade de técnicas que são projetadas para restringir a linguagem natural, tornando-a mais previsível e menos ambígua. Essas restrições

podem ser alcançadas de várias maneiras, incluindo a limitação do vocabulário, a simplificação da gramática e a padronização de termos e estruturas linguísticas. Isto se torna útil para a utilização ou interpretação por sistemas de informação, como os *softwares* de modelagem, e nesta tese se aplicaria a modelagem de sistemas.

Os termos predefinidos representam um recurso que define a Linguagem Natural Controlada, uma linguagem que foi criada para ser facilmente compreendida por humanos e máquinas (WYNER et al., 2009).

A Linguagem Natural Controlada torna mais acessíveis a análise de textos e extração de informações.

Nos últimos anos é cada vez mais evidente o uso de tecnologias de inteligência artificial, que utilizam a linguagem natural. Aproveitar seu uso para a modelagem pode trazer benefícios futuros na automatização das descrições das necessidades e subsequente definição em requisitos.

Neste trabalho será proposta na multimetodologia o uso da Linguagem Natural Controlada para a formalização das descrições das necessidades.

Neste capítulo sintetizamos a fundamentação teórica dos temas necessários à tese.

3 ESTADO DA ARTE

Com o conhecimento dos conceitos de interesse para a elaboração de uma resposta à hipótese de pesquisa de origem deste trabalho, neste capítulo é apresentada uma pesquisa do estado da arte do tema principal da tese para sua fundamentação.

A tese está delimitada à fase inicial da Engenharia de Sistemas com foco na identificação das necessidades das partes interessadas.

Foram pesquisadas algumas referências tradicionais na área espacial e também realizada uma pesquisa bibliográfica mais abrangente em domínio diversos.

Métodos PSM utilizados para identificação de necessidades na Engenharia de Sistemas na área espacial

O SEBOK (2023) discorre sobre a definição das necessidades dos *stakeholders* com a seguinte sequência:

- i) Identificar as partes interessadas, salientando que deve-se pensar em todos os possíveis *stakeholders* ao longo do ciclo de vida;
- ii) Identificar as necessidades das partes interessadas;
- iii) Identificar os Requisitos das Partes Interessadas;
- iv) Coletar as Necessidades e Requisitos das Partes Interessadas;
- v) Da captura das necessidades das partes interessadas à definição dos requisitos das partes interessadas e
- vi) Classificação dos Requisitos das Partes Interessadas.

E sugere algumas maneiras de coletar as necessidades e requisitos dos *stakeholders*:

- Reuniões estruturadas de chuva de ideias (*brainstorming*);
- Entrevistas e questionários;
- Revisão de documentação técnica, operacional e/ou estratégica;
- Simulações e visualizações;
- Prototipagem;
- Modelagem;
- *Feedback* dos processos de verificação e validação;
- Revisão dos resultados do processo de análise do sistema;
- Desdobramento da função de qualidade (*Quality function deployment- QFD*);

- Diagramas de caso de uso;
- Diagramas de atividades;
- Diagramas de blocos de fluxo funcional (*Functional flow block diagrams - FFBD*)

A NASA (2016) define como etapa inicial, o processo de definição das expectativas das partes interessadas, descrevendo-a com as seguintes atividades de processo:

- Identificar as partes interessadas;
- Entender as expectativas das partes interessadas;
- Identificar necessidades, objetivos e metas (*NGO - Needs, Goals, Objectives*);
- Estabelecer Conceito de Operações (ConOps) e Estratégias de Apoio;
- Definir as expectativas das partes interessadas em declarações aceitáveis;
- Analisar as declarações de expectativas para medidas de eficácia;
- Validar se as declarações de expectativas definidas refletem a rastreabilidade bidirecional;
- Obter os compromissos das partes interessadas com o conjunto validado de expectativas;
- Linha de base – Expectativas das partes interessadas;
- Capturar produtos de trabalho.

As necessidades são definidas na resposta à pergunta “Que problema estamos tentando resolver?”; as Metas abordam o que o cliente deseja que o sistema faça; e os Objetivos ampliam as metas e fornecem um meio para documentar expectativas específicas.

A NASA destaca que é extremamente importante envolver as partes interessadas em todas as fases de um projeto. Esse envolvimento deve ser construído como um ciclo de *feedback* autocorretivo que aumentará significativamente as chances de sucesso da missão. Envolver as partes interessadas em um projeto gera confiança no produto final e serve como validação e aceitação junto ao público-alvo.

São sugeridas para a identificação das necessidades, dentre outros meios não citados:

- Entrevistas/ discussões;
- Pesquisas;
- Grupos de *marketing*;
- *Emails*;
- Declaração de Trabalho (*Statement of Work - SOW*);
- Conjunto inicial de requisitos do cliente.

Pesquisa: necessidades dos *stakeholders* + PSM

Para encontrarmos artigos sobre Elicitação de necessidades de *stakeholders* que utilizem métodos de Estruturação de problemas, foi realizada uma revisão de escopo (*Scoping review*) com o protocolo de pesquisa da Tabela 3.1

Tabela 3.1 - Protocolo de pesquisa necessidades dos *stakeholders* + PSM.

Parâmetros de pesquisa	
Bases de dados	<i>Web of Science e Scopus</i>
Termos de busca	<i>"elicit*"OR "captur*"OR "identif*"OR "collect*"OR "gather*" AND "stakeholder*" AND "need*" "Problem* Structuring"</i>
Campos de busca	título, resumo, palavras-chave
Período	últimos dez anos (2013-2023)
Idiomas	inglês, espanhol, português
Tipos de documentos	artigos em revistas ou periódicos; exceto livros
Critérios de inclusão	área engenharia;
Critérios de exclusão	data de publicação, idioma, áreas de interesse e acesso

Fonte: Produção da autora.

Na base de dados **Scopus**: 27 documentos;

Na base de dados **Web of Science**: 26 documentos;

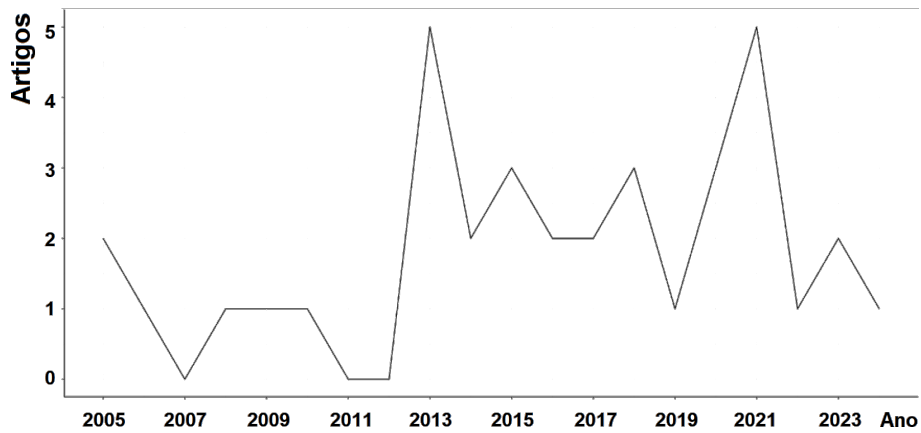
Excluindo:

Semelhantes: 37 documentos;

Critério de exclusão - data de publicação, idioma, áreas de interesse: 26 documentos.

Com o auxílio computacional (*Biblioshinyweb*) foram possíveis algumas análises:

Figura 3.1 - Produção Anual.

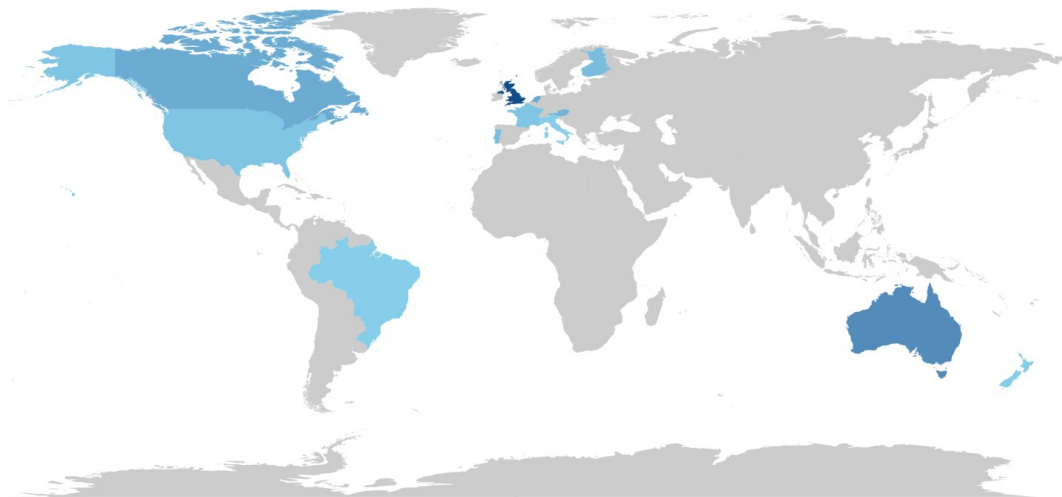


Fonte: Produção da autora.

A Figura 3.1 indica um crescimento nas produções com o tema pesquisado com a *string* de busca que abrange variantes de - Elicitação de necessidades de *stakeholders* + Estruturação de Problemas.

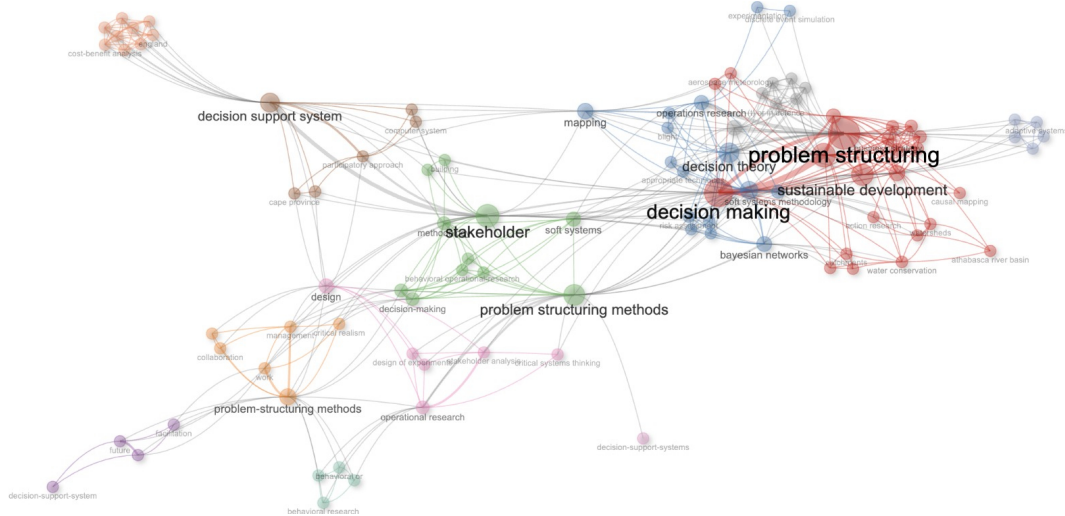
A Figura 3.2 exibe os países de publicações com o tema - legenda: azul mais escuro indica maior produção e azul mais claro a existência porém em menor quantidade.

Figura 3.2 - Produção científica nos países.



Fonte: Produção da autora.

Figura 3.3 - Temas.

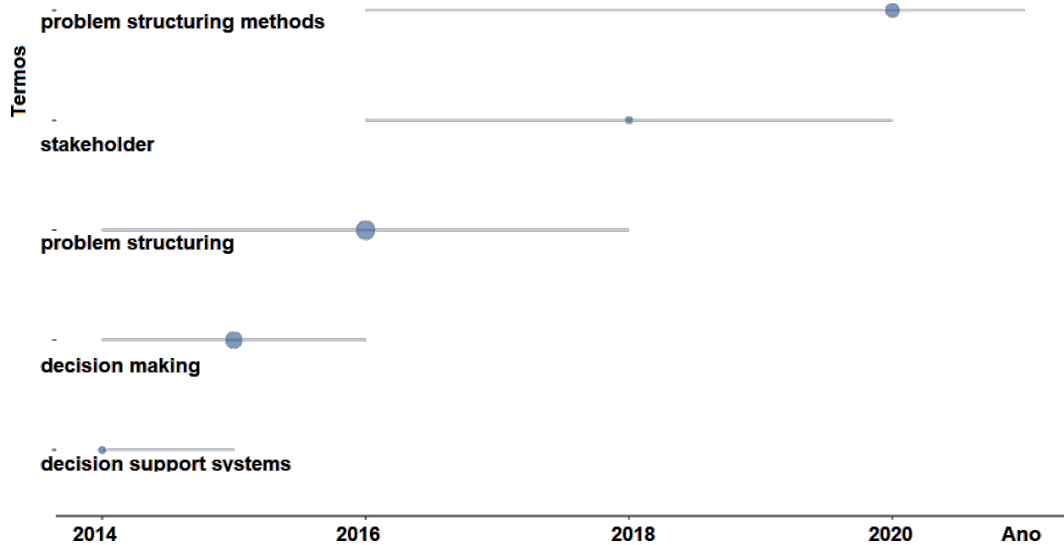


Fonte: Produção da autora.

A Figura 3.3 apresenta a relação entre os temas ajudando a observar se abrange o interesse ou se alguma nova palavra poderia ser incluída na *string* de busca.

Na Figura 3.4 podemos observa-se quais temas relacionados tem aumentado o interesse ao longo dos anos. O tamanho do circulo indica a frequência dos termos. Nota-se uma sequência mais recente em Métodos de Estruturação de Problemas.

Figura 3.4 - Tópicos de tendência.



Fonte: Produção da autora.

Para estudo, selecionando os artigos com acesso disponível para leitura restaram: **23 documentos** finais.

Para auxiliar o encontro das informações desejadas para o estado da arte em elicitação das necessidades dos *stakeholders* foram elaboradas 4 perguntas para a leitura dos artigos:

- 1) Como é feita a abordagem aos *stakeholders*?
- 2) Utiliza algum método de Estruturação de Problemas? Qual?
- 3) Faz alguma composição de métodos?
- 4) Foi encontrada alguma limitação na elicitação?

Destes documentos os seguintes artigos tem algo a contribuir para o estudo do estado da arte (Tabela 3.2):

Tabela 3.2 - Análise artigos elicitação de necessidades + PSM.

Artigo	Descrição
Elsawah et al. (2023)	<p>O artigo se concentra nas competências essenciais para a prática de modelagem participativa.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) A modelagem participativa envolve reunir partes interessadas utilizando métodos conhecidos para aprender, compartilhar, organizar e integrar o conhecimento sobre um problema complexo. 2) O artigo cita alguns métodos mas não é o foco. 3) O conceito de multimetodologia não é explicitamente discutido. 4) As limitações no processo de elicitação incluem falta de conhecimento e definições vagas de competências, necessidade de habilidades de modelagem, a necessidade de mais treinamento em habilidades sociais e de facilitação, e habilidades em diferentes domínios.

(Continua)

Tabela 3.2 - Continuação.

Artigo	Descrição
Bekius e Gomes (2023)	<p>O artigo apresenta uma estrutura para intervenções baseadas na teoria dos jogos com partes interessadas para problemas do mundo real.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) A teoria participativa dos jogos envolve a construção e análise de modelos com as partes interessadas guiadas por um facilitador para examinar as interações estratégicas dentro de problemas do mundo real. 2) O artigo menciona o uso de métodos de estruturação de problemas, mas não especifica um método específico. 3) O <i>framework</i> incorpora elementos de modelagem participativa e pesquisa operacional (sem especificar quais) para envolver as partes interessadas e resolver problemas do mundo real. 4) Não menciona limitações na elicitação.
French (2022)	<p>O artigo discute como coletar informações de pessoas com problemas para construir modelos que mostrem seus pensamentos e incertezas, usando ideias e números, elicitação <i>soft</i> para <i>hard</i>.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são abordadas por meio de discussões e <i>workshops</i> para entender suas perspectivas e coletar informações para os modelos. 2) Os métodos de estruturação do problema são usados para organizar o problema e facilitar as discussões com as partes interessadas. O método específico usado não é mencionado. Há citação do SSM e <i>Systems Design</i>. 3) É comum usar ferramentas e métodos diferentes para analisar o problema de vários ângulos, o que nos ajuda a entendê-lo melhor. 4) O artigo sugere que, embora os vieses na elicitação quantitativa sejam bem compreendidos e evitados, menos atenção tem sido dada aos vieses na modelagem qualitativa.

(Continua)

Tabela 3.2 - Continuação.

Artigo	Descrição
Scrieci et al. (2021)	<p>O artigo apresenta uma multimetodologia com abordagem de soluções baseadas na natureza.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são engajadas por meio do uso de mapas cognitivos <i>fuzzy</i> como um método de estruturação de problemas para obter sua percepção de risco e compreensão do problema. 2) Mapas cognitivos <i>fuzzy</i>. 3) O artigo combina mapas cognitivos difusos, modelagem hidráulica e redes de crenças bayesiana. 4) Não foram mencionadas limitações.
Harper et al. (2021)	<p>O artigo se concentra na questão da confiança em estudos de modelagem e simulação para aplicativos de gerenciamento de operações do mundo real. Ele argumenta que a confiança nos resultados de um modelo de simulação depende não apenas da execução técnica, mas também de fatores intangíveis, como relacionamentos interpessoais. Os autores propõem um modelo formativo de confiança que considera a interação entre o modelo, o modelador e as partes interessadas ao longo das etapas de um estudo de simulação.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são abordadas por meio de abordagens participativas, que envolvem comunicação, compreensão e colaboração com as partes interessadas durante todo o estudo de modelagem e simulação. 2) Não menciona PSM específico. 3) Sugere que a combinação de simulação com métodos qualitativos pode influenciar a confiança ou seus componentes. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.2 - Continuação.

Artigo	Descrição
Fouché e Brent (2020)	<p>O artigo se concentra no desenvolvimento de uma abordagem de planejamento participativo para a sustentabilidade energética local usando <i>POSoft</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são abordadas por meio de uma abordagem de planejamento participativo chamada EDAS (<i>Explore, Design and Act for Sustainability</i>), que envolve os <i>stakeholders</i> em <i>workshops</i> e governança colaborativa. 2) Não especifica qual PSM é utilizado. 3) A abordagem EDAS combina elementos de <i>POSoft</i>, planejamento participativo e governança colaborativa. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Gregory et al. (2020)	<p>O artigo discute como identificar e envolver pessoas diferentes em projetos que precisam resolver problemas complexos, usando uma estrutura especial para ajudar a pensar criticamente sobre esse processo.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Planejando reuniões com o investigador principal do projeto e a equipe mais ampla do projeto; Identificação das Partes Interessadas: Revisão da Literatura; Identificação das partes interessadas: entrevistas e reuniões de grupo; Identificação das partes interessadas: crítica de limites; Envolvimento das partes interessadas: pesquisa pré-<i>workshop</i>; Envolvimento das partes interessadas: o <i>workshop</i>; Envolvimento das partes interessadas: avaliação do <i>workshop</i>. 2) Menciona PSM mas sem citar qual. 3) O artigo sugere o uso de uma mistura de métodos, mas não especifica quais são combinados. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.2 - Continuação.

Artigo	Descrição
Bernardo et al. (2018)	<p>O artigo apresenta uma abordagem de estruturação de problemas para avaliar o desempenho energético de edifícios escolares. O objetivo é desenvolver uma árvore de critérios para um modelo de classificação multicritério que possa ser usado por entidades de gestão para avaliar o desempenho energético geral dos edifícios escolares. A abordagem ajuda a identificar os principais problemas e a necessidade de políticas adequadas para melhoria.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O estudo envolve pessoas que são importantes na comunidade escolar, como professores e alunos, para entender suas opiniões sobre o uso de energia e ajudar a melhorar o sistema de classificação energética. 2) Metodologia de Sistemas Suaves (SSM) e Pensamento Focado no Valor (VFT) . 3) Sim, SSM e VFT. 4) Algumas pessoas envolvidas no estudo tiveram dificuldade em entender o processo e os termos usados, o que às vezes gerava confusão e discussões fora do tópico.
Ferreira et al. (2018)	<p>O artigo discute um método para priorizar a reforma de propriedades abandonadas ou mal conservadas, que prejudicam o valor e a segurança do bairro, com contribuições de especialistas em planejamento urbano de Lisboa .</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Especialistas com visões diferentes sobre a questão da praga, como arquitetos urbanos e planejadores urbanos, foram reunidos para compartilhar conhecimento e alcançar um entendimento comum. 2) Mapeamento cognitivo. 3) O estudo combinou o mapeamento cognitivo com uma técnica de tomada de decisão chamada MACBETH. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.2 - Continuação.

Artigo	Descrição
<p>Freeman e Yearworth (2017)</p>	<p>O artigo se concentra na mitigação das mudanças climáticas nas cidades usando métodos de estruturação de problemas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são engajadas por meio da “problematização” para reconhecer o problema e seu papel nele, e do “interesse” para ganhar seu interesse e negociar o envolvimento. 2) É apresentada uma lista de PSMs. 3) Uma multimetodologia foi proposta a STEEP - Pensamento Sistêmico para Planejamento Energético Eficiente. 4) O estudo encontrou problemas no engajamento das partes interessadas devido à falta de clareza sobre quem é o dono do problema e às dificuldades em gerar interesse entre elas.
<p>White (2016)</p>	<p>O artigo discute a necessidade de incorporar <i>insights</i> comportamentais na Pesquisa Operacional (OR) e destaca a contribuição complementar da perspectiva comportamental para a OR.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são categorizadas em grupos como proprietários de problemas, usuários ou partes interessadas e facilitadores, com ênfase no reconhecimento da diversidade de suas opiniões, preferências e interesses. 2) O artigo implica o uso de Métodos de Estruturação de Problemas (PSMs) ao discutir a avaliação de PSMs e processos decisórios no nível organizacional. 3) Sugere a necessidade de uma estrutura que possa abordar fenômenos comportamentais em OR, o que pode envolver a combinação de diferentes abordagens. 4) Reconhece a complexidade de capturar toda a gama de comportamentos das partes interessadas e sugere que o trabalho prático nessa área tem sido limitado, indicando possíveis limitações.

(Continua)

Tabela 3.2 - Continuação.

Artigo	Descrição
Wang et al. (2015)	<p>O artigo apresenta uma metodologia sistêmica para identificar e analisar partes interessadas em uma organização em diferentes níveis. A metodologia começa com objetivos de alto nível e os divide em atividades-chave, identificando os <i>stakeholders</i> para cada atividade. As funções e os relacionamentos de todos os grupos de <i>stakeholders</i> podem ser vistos no final.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Pessoas ou grupos importantes para uma organização são identificados observando cada pequena tarefa necessária para alcançar as metas principais da organização. 2) SSM. 3) Não menciona combinação de métodos. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Pietscha et al. (2015)	<p>O artigo discute o desenvolvimento de modelos para o sistema de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento do Exército Australiano, para orientar o desenvolvimento de conceitos futuros e melhorar a eficácia</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas, incluindo usuários de ISR do Exército e gerentes, foram engajadas por meio de <i>workshops</i>. 2) SSM. 3) SSM com <i>workshops</i> facilitados e sessões de <i>feedback</i>. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Caruzzo et al. (2015)	<p>O artigo explora como a previsão do tempo é usada no Programa Espacial do Brasil para lançamentos de foguetes, identificando a necessidade de melhores processos técnicos e de um sistema de apoio à decisão que considere a incerteza nas previsões meteorológicas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas foram entrevistadas para entender suas opiniões sobre a meteorologia aeroespacial. 2) SODA. 3) Não foi utilizada multimetodologia. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.2 - Continuação.

Artigo	Descrição
Ackermann et al. (2014)	<p>O artigo discute um método para ajudar os gerentes a entender e gerenciar riscos em projetos, envolvendo muitas pessoas diferentes e observando como os riscos estão conectados</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são reunidas em <i>workshops</i> para compartilhar opiniões sobre os riscos e seu conhecimento é usado para criar um mapa mostrando como os riscos estão vinculados. 2) Mapeamento causal. 3) A abordagem combina a estruturação de problemas com sistemas de apoio de grupo. 4) Os mapas podem ser cansativos, e as pessoas que não estão envolvidas nos <i>workshops</i> podem achar difícil entender o quadro completo dos riscos; Elas geralmente preferem listas simples; Nem todas as principais partes interessadas sempre podem participar dos <i>workshops</i> devido a vagas limitadas ou conflitos de agendamento, o que pode afetar os resultados; Alguns participantes sentiram que não havia tempo suficiente durante os <i>workshops</i> para identificar todos os riscos possíveis; Após os <i>workshops</i>, nem todos os participantes se envolveram com atividades de acompanhamento.
Gregory et al. (2013)	<p>O artigo discute o aprimoramento de ferramentas para gerenciar ambientes marinhos, que são sistemas complexos envolvendo elementos naturais, projetados e sociais, usando o modelo DPSIR para estruturar problemas e tomar decisões.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas estão envolvidas na identificação de <i>drivers</i> de gerenciamento de ecossistemas, no desenvolvimento de indicadores, na análise de riscos, na criação de estratégias de gerenciamento e no monitoramento e avaliação da eficácia dessas estratégias. 2) DPSIR (<i>Drivers-Pressures-State Changes-Impacts-Responses</i>). 3) O artigo sugere o uso do DPSIR em combinação com a modelagem de rede causal para abordar as críticas e aumentar a eficácia do modelo. 4) Os desafios incluem garantir que as partes interessadas possam contribuir de forma significativa, gerenciar diferentes conhecimentos e reivindicações de valor e o potencial de as perspectivas locais serem limitadas geograficamente, temporalmente e politicamente.

(Continua)

Tabela 3.2 - Conclusão.

Artigo	Descrição
Girard (2013)	<p>O método categoriza as práticas das partes interessadas para o desenvolvimento sustentável em contextos organizacionais.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são abordadas coletando dados sobre suas práticas por meio de entrevistas semi dirigidas, que são então usadas para categorizá-las usando grades de repertório, com foco no que as partes interessadas realmente fazem, em vez de categorias predefinidas. 2) Grade de repertório. 3) O método combina a coleta de dados qualitativos de entrevistas com a análise quantitativa de grades de repertório para categorizar as práticas das partes interessadas,. 4) O método exige que as partes interessadas estejam dispostas e capazes de refletir e se expressar, o que pode não ser possível se elas estiverem em conflito extremo ou tiverem interesses conflitantes.
Khadka et al. (2013)	<p>O artigo discute como a tomada de decisões na silvicultura envolve o público e as partes interessadas para identificar um problema que pode ser resolvido em conjunto.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são envolvidas diretamente em <i>workshops</i>. 2) Sugere vários métodos PSM: Mapeamento cognitivo, Conferência de decisão, Teoria do drama, Modelagem facilitada, Negociação de grupo, Análise de robustez, SODA, SSM, SCA, Dinâmica de sistemas, VSM e uma figura apresenta eles relacionando-os a outros métodos menos formais. 3) Diferentes PSMs e técnicas relacionadas são combinadas, como <i>brainstorming</i>, modelagem de sistema estático, modelagem de sistema dinâmico e dramatizações. 4) Algumas limitações encontradas incluem garantir a compreensão das partes interessadas, produzir um entendimento comum e gerenciar a tensão entre os processos tradicionais conduzidos por especialistas e as negociações com as partes interessadas.

Fonte: Produção da autora.

O estudo do estado da arte com termos ligados à eliciação de necessidades de *stakeholders* com uso de Métodos de Estruturação de problemas em domínio geral apresentou artigos com sugestões de alguns métodos PSM, modelagem participativa

e principalmente SSM e também outros como SODA, análise de robustez, DPSIR, mapeamento causal, mapas cognitivos *fuzzy* e VFT.

Pesquisa necessidades dos *stakeholders* + SE

Para encontrarmos artigos sobre Elicitação de necessidades de *stakeholders* na Engenharia de Sistemas, foi realizada uma revisão de escopo (*Scoping review*) com o protocolo de pesquisa da Tabela 3.3

Tabela 3.3 - Protocolo de pesquisa necessidades dos *stakeholders* + SE.

Parâmetros de pesquisa	
Bases de dados	<i>Web of Science</i> e <i>Scopus</i>
Termos de busca	" <i>elicit*</i> "OR " <i>captur*</i> "OR " <i>identif*</i> "OR " <i>collect*</i> "OR " <i>gather*</i> " AND " <i>stakeholder*</i> " AND " <i>need*</i> " AND " <i>System* Engineer*</i> "
Campos de busca	título, resumo, palavras-chave
Período	últimos dez anos (2013-2023)
Idiomas	inglês, espanhol, português
Tipos de documentos	artigos em revistas ou periódicos; exceto livros
Crítérios de inclusão	área engenharia
Crítérios de exclusão	data de publicação, idioma, áreas de interesse e acesso

Fonte: Produção da autora.

Na base de dados **Scopus**: 365 documentos;

Na base de dados **Web of Science**: 144 documentos;

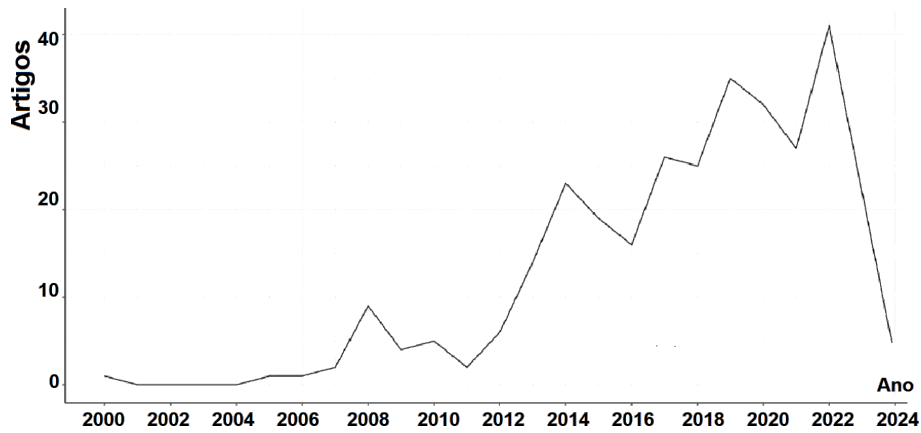
Excluindo:

Semelhantes: 369 documentos;

Crítério de exclusão - data de publicação, idioma, áreas de interesse : 270 documentos.

Com o auxílio computacional (*Biblioshinyweb*) foram possíveis algumas análises:

Figura 3.5 - Produção Anual.

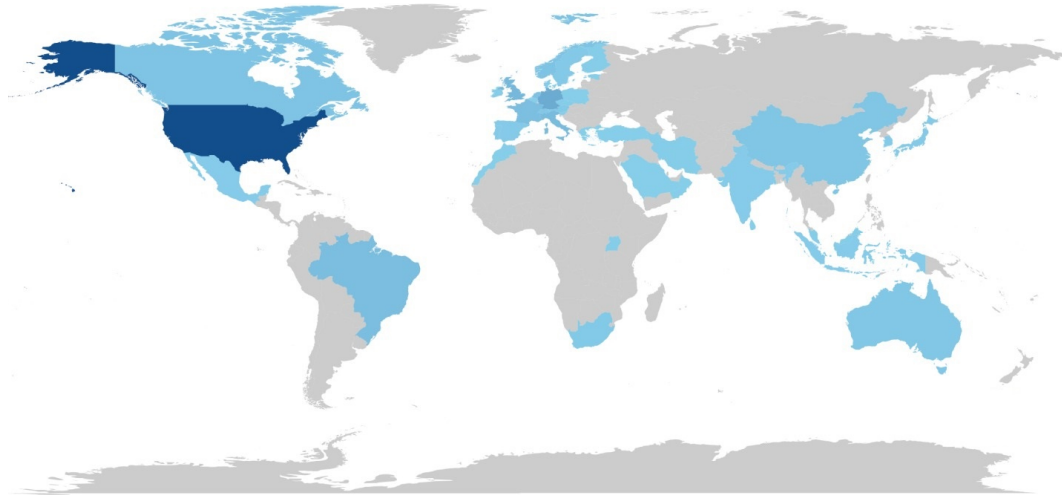


Fonte: Produção da autora.

A Figura 3.5 indica um crescimento nas produções com o tema pesquisado com a *string* de busca que abrange variantes de - Elicitação de necessidades de *stakeholders* + Engenharia de Sistemas.

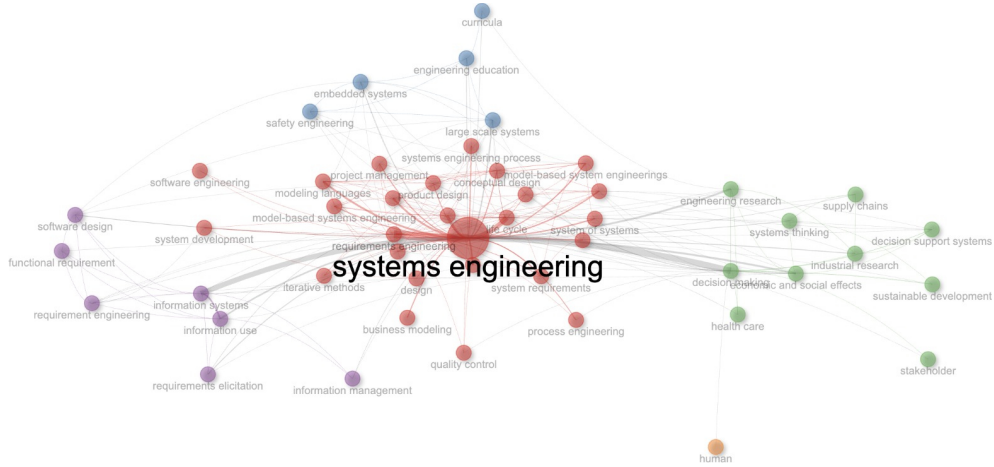
A Figura 3.6 exibe os países de publicações com o tema - azul mais escuro indica maior produção e azul mais claro a existência porém em menor quantidade.

Figura 3.6 - Produção científica nos países.



Fonte: Produção da autora.

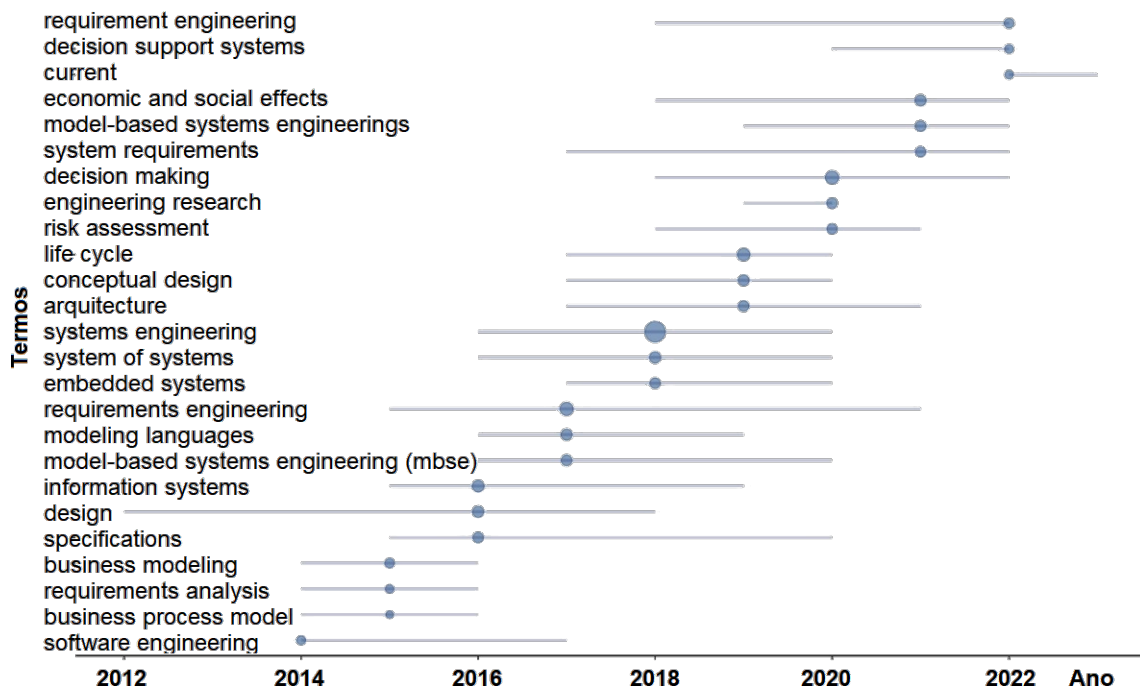
Figura 3.7 - Temas.



Fonte: Produção da autora.

A Figura 3.7 apresenta a relação entre os temas ajudando a observar se abrange o interesse ou se alguma nova palavra poderia ser incluída na *string* de busca.

Figura 3.8 - Tópicos de tendência.



Fonte: Produção da autora.

Na Figura 3.8 observa-se quais temas relacionados tem aumentado o interesse ao longo dos anos. O tamanho do círculo indica a frequência dos termos. Nota-se a presença crescente dos termos referentes a MBSE e *decision*.

Para estudo, foi adicionado mais um critério de seleção pela aderência ao interesse nesta tese. Foram selecionados apenas os artigos no **domínio aeroespacial**, inserindo um novo filtro e selecionando os artigos com acesso disponível para leitura restaram: **32 documentos** finais.

Para auxiliar o encontro das informações desejadas para o estado da arte em elicitação das necessidades dos *stakeholders* foram elaboradas 4 perguntas para a leitura dos artigos:

- 1) Como é feita a abordagem aos *stakeholders*?
- 2) Utiliza algum método de Estruturação de Problemas? Qual?
- 3) Faz alguma composição de métodos?
- 4) Foi encontrada alguma limitação na elicitação?

Tabela 3.4 - Análise artigos elicitação de necessidades + SE.

Artigo	Descrição
Yeazitzis et al. (2023)	<p>O artigo discute vieses que podem surgir durante o processo de elicitação de partes interessadas na arquitetura de sistemas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Utiliza o Processo de necessidades e requisitos das partes interessadas do SEBoK. A identificação das necessidades e requisitos das partes interessadas envolve a elicitação das necessidades das partes interessadas na forma de conceito de Operação (ConOps) ou Plano Estratégico de Negócios, seguido pela transformação das necessidades em um conjunto formal de requisitos dos <i>stakeholders</i>. 2) Não menciona PSM mas fala dos vieses. 3) Não utiliza multimetodologia. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Continuação.

Artigo	Descrição
Fung et al. (2023)	<p>O artigo discute o projeto de uma estação espacial para reciclar detritos espaciais.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Utiliza uma abordagem MBSE para identificar as expectativas das partes interessadas, desenvolver os requisitos do sistema e extrair os princípios de <i>design</i>. 2) Não menciona PSM. 3) O artigo combina Casa da qualidade com uma matriz de decisão para avaliar e selecionar a melhor geometria do módulo para a estação. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Plazanet e Navas (2023)	<p>O artigo fala sobre Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos como facilitadora da agilidade.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são abordadas mostrando regularmente um valor “de ponta a ponta”. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Kubin et al. (2023)	<p>O artigo realiza uma revisão sistemática para examinar como as necessidades das partes interessadas são descritas na literatura.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Destaca que as necessidades devem estar relacionadas a um problema, não à solução. Diferencia necessidades de <i>stakeholders</i> de requisitos de <i>stakeholders</i> e de sistema. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Continuação.

Artigo	Descrição
Kannan et al. (2022)	<p>O artigo apresenta uma abordagem formal para identificar inconsistências nas necessidades das partes interessadas no contexto da engenharia de sistemas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas em SE são abordadas por meio de suas declarações de preferências, que representam a ordenação de necessidades, desejos e gostos em relação aos aspectos do sistema. Essas preferências são normalmente obtidas em um nível superior e depois traduzidas em declarações de necessidades, requisitos do sistema e posteriormente decompostas em requisitos de nível de subsistema e componente. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Reida et al. (2022)	<p>O artigo apresenta a Estrutura Ambiente-Vulnerabilidade-Tecnologia de Decisão (EVDT), que é um processo para desenvolver sistemas multidisciplinares e interativos de apoio à decisão para uma variedade de soluções sustentáveis.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas estão envolvidas na definição do sistema, na compreensão do contexto do sistema, na identificação dos objetivos do sistema e no desenvolvimento de funções e formulários do sistema. Cita que a abordagem exata para identificar e engajar as partes interessadas pode variar. 2) Menciona o SSM em um dos exemplos estudado. 3) A estrutura EVDT combina vários métodos e abordagens, incluindo arquitetura de sistemas, análise de partes interessadas, GIS, planejamento colaborativo, observação remota, análise econômica, modelagem de sistemas complexos e aprendizado de máquina. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Continuação.

Artigo	Descrição
Carrière et al. (2022)	<p>As missões espaciais análogas foram usadas como uma ferramenta educacional para crianças em uma escola primária, integrando várias disciplinas e experimentos práticos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas foram convidadas para a <i>Design Reviews</i>, onde as crianças apresentaram sua missão e receberam <i>feedback</i>. Os <i>stakeholders</i> incluíram membros da <i>Space Innovation</i>, do <i>EPFL Space Center</i>, da <i>SpaceYourService</i> e da administração escolar. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Salado (2021)	<p>O artigo aborda as disparidades no uso de conceitos fundamentais de engenharia de sistemas na engenharia de requisitos, como as necessidades dos <i>stakeholders</i> e os requisitos do sistema, o que pode levar à formulação inadequada dos requisitos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As necessidades dos <i>stakeholder</i> são obtidas das partes interessadas e devem estar alinhadas com suas preferências. As preferências (e, portanto, o valor) representam o propósito de existência do sistema. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Zheng et al. (2021)	<p>O artigo apresenta um estudo de caso sobre o desenvolvimento de uma ontologia de aplicação para processos de montagem de aeronaves, com o objetivo de capturar e reutilizar o conhecimento especializado de forma consistente.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Uma pesquisa foi conduzida para reunir histórias de usuários e requisitos das partes interessadas antes do desenvolvimento da ontologia. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Continuação.

Artigo	Descrição
Ballard et al. (2020)	<p>O artigo se concentra na transformação de requisitos baseados em texto em requisitos baseados em modelos e vice-versa no contexto das metodologias de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O artigo fala de requisitos e não de necessidades, mas tem relevância para a tese pois cita a Linguagem natural controlada na elicitação dos requisitos. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Menshenin e Crawley (2019)	<p>O artigo apresenta uma estrutura conceitual baseada em modelos que visa abordar questões de segurança em sistemas de transporte suborbital e turismo espacial.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O <i>framework</i> proposto inclui a elicitação das necessidades dos <i>stakeholders</i>. O processo é modelado em <i>Object-Process Methodology</i> (OPM). 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Mullina et al. (2018)	<p>O artigo discute um curso de Engenharia de Sistemas usando lançamentos de balões estratosféricos para ensinar os alunos por meio de projetos práticos, onde eles vivenciam todas as etapas do projeto em dois meses.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Utiliza <i>Object-Process Methodology</i> (OPM) para descrever o Conceito de Operações (CONOPS) para os projetos. 2) Não menciona PSMs. 3) Integra a abordagem CDIO (Conceber, Projetar, Implementar, Operar) aos princípios de engenharia de sistemas, permitindo que os alunos aprendam ativamente durante o ciclo de vida do sistema. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Continuação.

Artigo	Descrição
Watz et al. (2018)	<p>O artigo explora como integrar a sustentabilidade ao <i>design</i> do produto usando o pensamento sistêmico, particularmente nos estágios iniciais em que os requisitos são definidos, para orientar a inovação de forma sustentável</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As necessidades e requisitos das partes interessadas são considerados no início do processo de <i>design</i>, e seus resultados gerais desejados são traduzidos em funções e atributos por meio de desenvolvimento e refinamento sistemático. 2) Dinâmica de Sistema - diagramas de <i>loop</i> causal 3) Não menciona multimetodologias. 4) Menciona o desafio de desenvolver requisitos sólidos na fase inicial do projeto devido à alta incerteza.
Aleina et al. (2018)	<p>O artigo apresenta uma metodologia para criar e atualizar roteiros de tecnologia, com foco na simplificação do planejamento futuro de sistemas de transporte espacial de reentrada, e é uma colaboração entre o Politecnico di Torino e a Agência Espacial Europeia</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são identificadas e analisadas para entender suas necessidades, estratégias e características, o que é crucial para o desenvolvimento do Cenário da Missão de Referência e dos roteiros de tecnologia. 2) O processo começa com uma Análise das Partes interessadas para definir as restrições básicas para o roteiro final, como TRL final, orçamento, cronograma e marcos. Graças a esta análise e em combinação com ela, é então possível iniciar uma Análise da Missão de alto nível, definindo através da Análise Objetiva do Estudo de Pesquisa todas as soluções de <i>design</i> capazes de atender às necessidades das partes interessadas. 3) A engenharia de sistemas e a análise de decisão são combinadas para apoiar a definição do roteiro, com o objetivo de reduzir os dados exigidos das partes interessadas e otimizar os resultados. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Continuação.

Artigo	Descrição
Corpino e Nichele (2016)	<p>A pesquisa apresenta um método para identificar e abordar as diferenças entre o que os projetistas de sistemas espaciais acham que os usuários precisam e o que os usuários realmente desejam, concentrando-se nas propriedades do ciclo de vida no início do processo de <i>design</i>.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas são engajadas por meio de entrevistas e sessões colaborativas para avaliar os atributos do sistema e garantir que suas necessidades sejam refletidas com precisão no <i>design</i>. 2) O método usado é o <i>Quality Function Deployment</i> (QFD), que ajuda a traduzir as necessidades das partes interessadas em requisitos de <i>design</i>, priorizando as propriedades do ciclo de vida. 3) Não menciona multimetodologias. 4) O método pode não capturar totalmente a correlação entre atributos não aninhados na mesma definição de propriedade, e é necessário melhorar a forma como as pontuações de penalidade são distribuídas.
Salado e Nilchiani (2016)	<p>O artigo discute como criar melhores soluções em engenharia de sistemas reunindo efetivamente os requisitos do que as pessoas precisam, usando uma nova maneira de organizar esses requisitos que evita os desnecessários.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As necessidades das partes interessadas são traduzidas em definições claras para definir os limites para soluções aceitáveis, mas o documento não detalha uma abordagem específica para as partes interessadas. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Continuação.

Artigo	Descrição
Kaslow et al. (2015)	<p>A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) é uma prática que beneficia as missões do CubeSat ao criar um modelo de sistema que integra outros modelos e simulações de engenharia.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O esforço se concentrou em incorporar as partes interessadas e suas necessidades, objetivos e medidas de eficácia ao modelo. 2) Não menciona PSMs. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Dubos et al. (2016)	<p>O artigo discute os desafios nos estágios iniciais de projeto do <i>Europa Flight System</i>, como manter a consistência nos relatórios de projeto, gerenciar mudanças no projeto e aproveitar pontos em comum em vários projetos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas foram abordadas fornecendo-lhes representações de alta qualidade do <i>design</i> da espaçonave, garantindo que tivessem acesso a informações consistentes e precisas durante todo o processo de <i>design</i>. 2) Não menciona PSMs. 3) Técnicas de engenharia de sistemas baseada em modelos (MBSE), como uma fonte única de verdade (SSoT) e modelos de sistema bem estruturados, foram usadas para fornecer representações de alta qualidade do <i>design</i> da espaçonave. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Viscio et al. (2015)	<p>O artigo apresenta uma metodologia para a definição de requisitos de missões e sistemas espaciais complexos, com foco na derivação de requisitos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Enfatiza que Análise Funcional e Conceito de Operações (ConOps) são as atividades fundamentais para capturar requisitos. Fala dos requisitos mas não explora as necessidades apenas cita que os <i>stakeholders</i> são categorizadas como patrocinadores, operadores, usuários finais, clientes e desenvolvedores. 2) Não menciona PSMs. 3) O artigo descreve uma metodologia que integra várias análises e ferramentas de engenharia de sistemas para derivar requisitos. 4) Não menciona limitações na elicitação.

(Continua)

Tabela 3.4 - Conclusão.

Artigo	Descrição
Eres et al. (2014)	<p>O artigo apresenta a metodologia de <i>design</i> orientado por valor (VDD) para mapear as necessidades do cliente em características de engenharia na indústria aeroespacial.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Pesquisas individuais, grupos focais, painéis de especialistas e processos similares para identificar necessidades e requisitos. 2) Não menciona PSMs. 3) O artigo combina a metodologia de <i>design</i> orientado por valor com o método de análise de <i>design</i> conceitual para mapear as necessidades do cliente em características de engenharia e modelar uma métrica de mérito de projeto. 4) Não menciona limitações na elicitação.
Villafranca e Loureiro (2013)	<p>O artigo discute um método para entender as necessidades das partes interessadas em Engenharia de Sistemas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) As partes interessadas estão envolvidas por meio de um processo que inclui a validação de mapas cognitivos, a identificação de <i>clusters</i> e a integração desses mapas para refletir um entendimento comum. 2) Mapeamento cognitivo. 3) Não menciona multimetodologias. 4) Algumas limitações observadas incluem a falta de vontade das partes interessadas em participar ou serem questionadas e a complexidade que surge ao integrar vários mapas.

Fonte: Produção da autora.

O estudo do estado da arte com termos ligados à elicitação de necessidades de *stakeholders* na Engenharia de Sistemas, no domínio aeroespacial, não apresentou uso de Métodos de Estruturação de Problemas como uma prática, dois artigos citaram sumariamente PSM, um Dinâmica de Sistemas e outro comentou que um dos exemplos de uso relatados no artigo havia sido utilizado o SSM e um terceiro artigo aplicou mapas cognitivos academicamente. Notou-se também que maioria dos artigos apenas cita a importância das necessidades das partes interessadas mas não expõe como estas são elicítadas, muitas vezes negligenciando as necessidades e passando direto para a definição dos requisitos. Temos assim uma lacuna.

Outra observação dos artigos foi o relato frequente de uso de MBSE.

Estudo adicional - Pesquisa Operacional Comportamental (BOR)

Na pesquisa do estado da arte interceptou-se uma área muito relevante, que convém ser citada pois vem de encontro à finalidade desta tese. No desenvolvimento de sistemas complexos temos um contexto que envolve muitas pessoas e organizações, para termos um trabalho de definição das necessidades dos *stakeholders* algo muito importante é minimizar os vieses que possam atrapalhar a desenvoltura das práticas metodológicas.

A Pesquisa Operacional Comportamental é uma vertente da Pesquisa Operacional que se atenta a como vieses cognitivos e/ou comportamentais podem comprometer os sistemas, haja visto que os projetos são desenvolvidos por pessoas e estas têm suas próprias visões de mundo que são singulares.

Também os profissionais de Engenharia de Sistemas precisam obter informações das partes interessadas ao longo do ciclo de vida do sistema. No entanto os próprios Engenheiros de Sistemas e as partes interessadas estão sujeitos a vieses cognitivos ao interpretar informações.

O Handbook do INCOSE (INCOSE, 2023a) salienta que a melhor defesa contra os vieses cognitivos é compreender o que são e como podem ser evitados e estabelecer projetos organizacionais para obter avaliações imparciais. Os vieses cognitivos são erros mentais de julgamento sob incerteza causados pelas nossas estratégias simplificadas de processamento de informações.

Estes vieses têm sido abordados pela *BOR – Behavioral Operational Research* e medidas de redução ou mitigação destas, chamados na literatura de *debiasing* despertam interesse.

Para maior compreensão deste tema, a autora produziu como fruto adicional desta tese no seu decorrer, um artigo de revisão intitulado “Pesquisa Operacional Comportamental na Engenharia de Sistemas Espaciais” (CARDOSO et al., 2021), que pode ser utilizado como orientação a quem por vir se interessar em aprofundar-se.

Na aplicação da multimetologia proposta recomenda-se o conhecimento de possíveis vieses para auxiliar a condução das etapas e prezar pela validade das informações que conduzirão às necessidades dos *stakeholders*.

Assim, tendo definido o interesse desta tese (Capítulo 1), abordando a lacuna encontrada no estado da arte (Capítulo 3) e utilizando os conceitos referenciados no Capítulo 2, partimos enfim para a criação do artefato, uma proposta de multimetodologia que será apresentada no Capítulo 4.

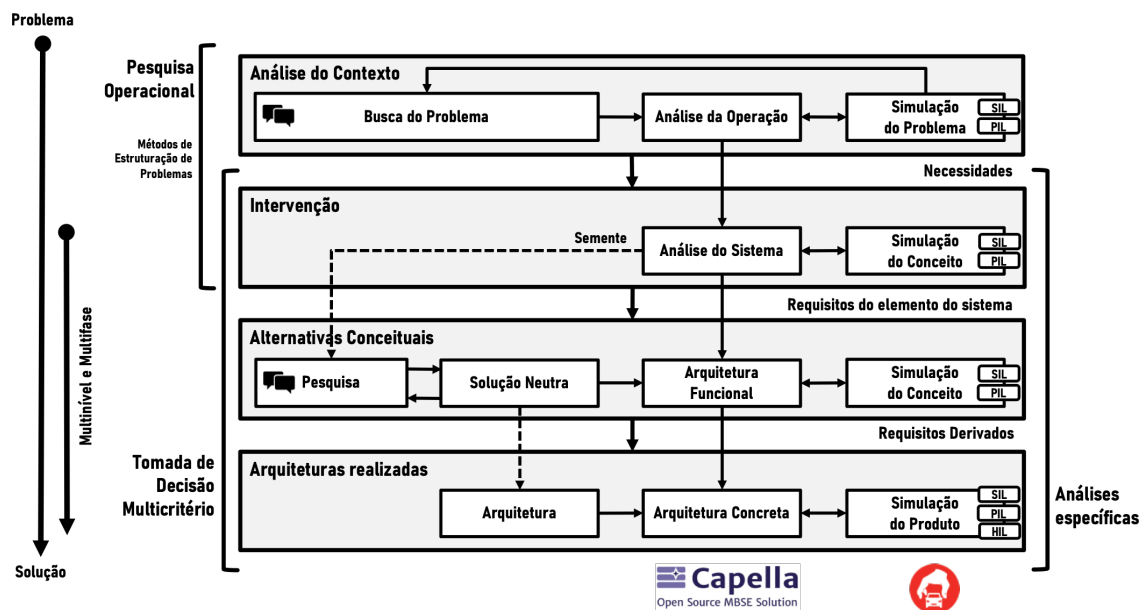
4 MULTIMETODOLOGIA PROPOSTA

Uma multimetodologia é uma composição de várias metodologias, no todo ou em parte, que se complementam de uma forma adaptada ao problema em questão (MINGERS; BROCKLESBY, 1997; MINGERS, 2000; ZHU, 2011).

As metodologias que compõem uma multimetodologia podem ser usadas em paralelo ou sequencialmente, e pode ser utilizada primeiro uma Pesquisa Operacional *Soft* de maneira qualitativa e na sequência uma Pesquisa Operacional *Hard* quantitativamente (KOTIADIS; MINGERS, 2006; POLLACK, 2009).

A Figura 4.1 apresenta em alto nível o processo de Engenharia de Sistemas do Laboratório de Concepção de Sistemas do CONCEPTIO - ITA.¹ Este processo foi escolhido por ter sido criado a partir das interações de ideias geradas ao longo do desenvolvimento desta tese e está sendo utilizado tanto didaticamente quanto orientando, em alto nível de abstração, os projetos multidomínios do laboratório.

Figura 4.1 - CONCEPTIO Systems Engineering Framework.



Fonte: Cerqueira (2023).

¹O CONCEPTIO *Systems Engineering Framework* foi apresentado anteriormente apenas em aulas ministradas pelo Professor Christopher Cerqueira, coorientador desta tese.

O CONCEPTIO *Systems Engineering Framework* apresenta a Engenharia de Sistemas relacionando-a a modelagem de sistemas e simulação, do problema à solução.

A título de contextualização, faz-se jus uma breve explicação acerca:

O processo apresenta quatro camadas horizontais referentes à Análise do Contexto, Intervenção, Alternativas Conceituais e Arquitetura Realizada; e colunas verticais indicando Exploração livre, Modelagem e Simulação.

Na Análise do Contexto, concebe-se o delineamento do Problema, comum à Exploração livre, envolvendo a captura e a representação dos diálogos para estruturar o problema, seguindo a Análise Operacional que é a primeira camada formal da modelagem MBSE no CAPELLA e à simulação do problema, resultando nas necessidades formalizadas.

Na Intervenção, consta a Análise do Sistema, que é a segunda camada do CAPELLA, sucedida pela simulação do Conceito. Esta Análise do Sistema irá gerar uma semente para a origem de ideias necessária ao próximo nível, decorrendo os requisitos do Sistema.

Nas Alternativas Conceituais, é refletida a geração de ideias em um processo de substancial diálogo, uma Arquitetura neutra em termos de Solução correlata à Modelagem OPM (*Object Process Methodology*), contributa à Arquitetura Lógica e a Simulação Conceitual a nível de sistema, desdobrando-se os requisitos.

Na Arquitetura realizada, tem-se então o Projeto da Arquitetura originado da Arquitetura neutra do nível anterior, seguido da Arquitetura física e finalizando com a Simulação do produto.

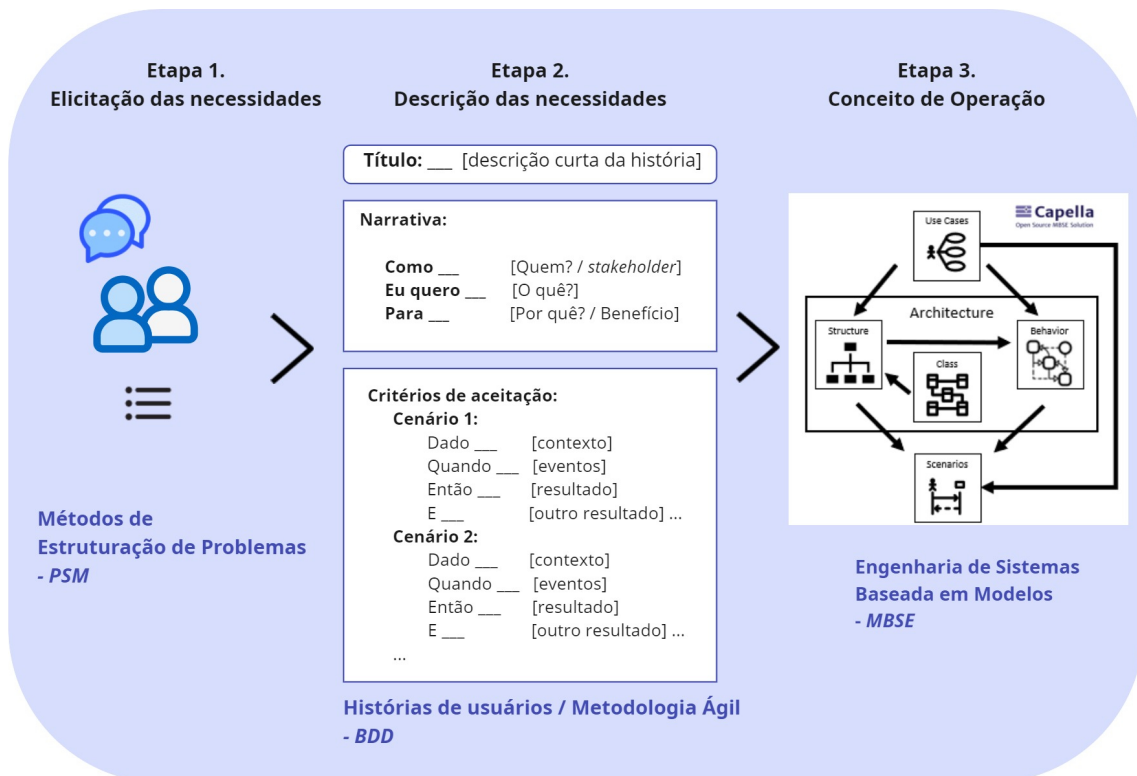
As camadas do CAPELLA e as Simulações são iterativas, de maneira que possam ser revistas as modelagens e estas gerarem novos argumentos para as simulações.

A contribuição da autora no *framework* consistiu em destacar o propício auxílio da Pesquisa Operacional *Soft* na fase inicial, na Análise do Contexto e Intervenção.

A multimetodologia proposta foi incorporada ao *CONCEPTIO Systems Engineering Framework* com a idealização de que os Métodos de Estruturação de Problemas poderiam apoiar a sua fase inicial. Ao longo do desenvolvimento da proposta, foram encontradas outras inclusões que seriam enriquecedoras e compuseram a multimetodologia final, sendo estas, as Histórias de Usuário da Metodologia Ágil, um modelo descritivo consolidado, trazendo-o para a descrição das necessidades; e o uso de padronização através da Linguagem Natural Controlada que proporciona uma uniformização propícia à modelagem MBSE e à futuras validações e revisitas.

Em benefício à camada superior do *CONCEPTIO framework*, na Análise do Contexto, a proposição artefato desta tese, a multimetodologia (Figura 4.2) consiste em:

Figura 4.2 - Multimetodologia proposta.



Fonte: Produção da autora.

- **Etapa 1: Elicitação das Necessidades**

A sugestão é oportunamente utilizar um Método de Estruturação de Problemas da Pesquisa Operacional *Soft* para capturar a expressão das necessidades dos envolvidos com o problema, os interessados no desenvolvimento do sistema.

Incentiva-se o conhecimento de diferentes Métodos de Estruturação de Problemas viabilizando a escolha de um adequado para a incorporação.

Para a aplicação do Método de Estruturação de Problemas é necessário ter um facilitador do processo que irá atuar na conexão com os *stakeholders*. Este facilitador deve desenvolver algumas habilidades de comunicação e integração. Recomenda-se o estudo Comunicação não-violenta (ROSENBERG, 2021) para atuar positivamente na conquista das informações, e de Pesquisa Operacional Comportamental (KUNC et al., 2016) para o desenvolvimento de capacidade de reconhecer e evitar vieses comportamentais dos participantes.

- **Etapa 2: Descrição das Necessidades**

Utilizar Linguagem Natural Controlada para descrever histórias de usuários contando e documentando assim de forma flexível as mudanças nas necessidades expressas na elicitação.

Para a facilitação da descrição das necessidades, complementar ao artefato da multimetodologia. Nesta tese foi desenvolvido um *plugin*² para o *software* CAPELLA.

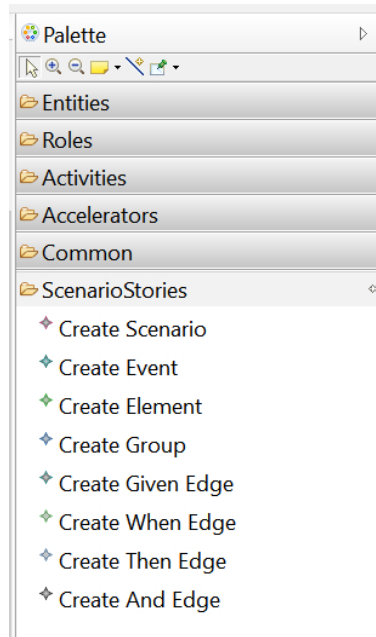
O *plugin* foi criado para possibilitar o desenho de *Systemigrams* (Diagramas de Sistemas) através de uma nova paleta padronizada com expressões que são usadas nas histórias de usuários no desenvolvimento ágil (Figura 4.3).

Os *Systemigrams* acrescidos à originalidade em usar Linguagem Natural Controlada

²Desenvolvedores ScenarioStoriesPlugin CAPELLA:
Priscila Renata Silva Barros e Matheus Vieira Carmona Cogo / CONCEPTIO
Disponível em: <https://github.com/ConceptioLab/ScenarioStoriesPlugin/releases>)

em formato *Behaviour-Driven Development Story*, da abordagem ágil, propicia entradas para os diagramas de modelagem em Arcadia da Engenharia de Sistemas baseada em modelos na Etapa 3.

Figura 4.3 - Paleta do *plugin ScenarioStories*.



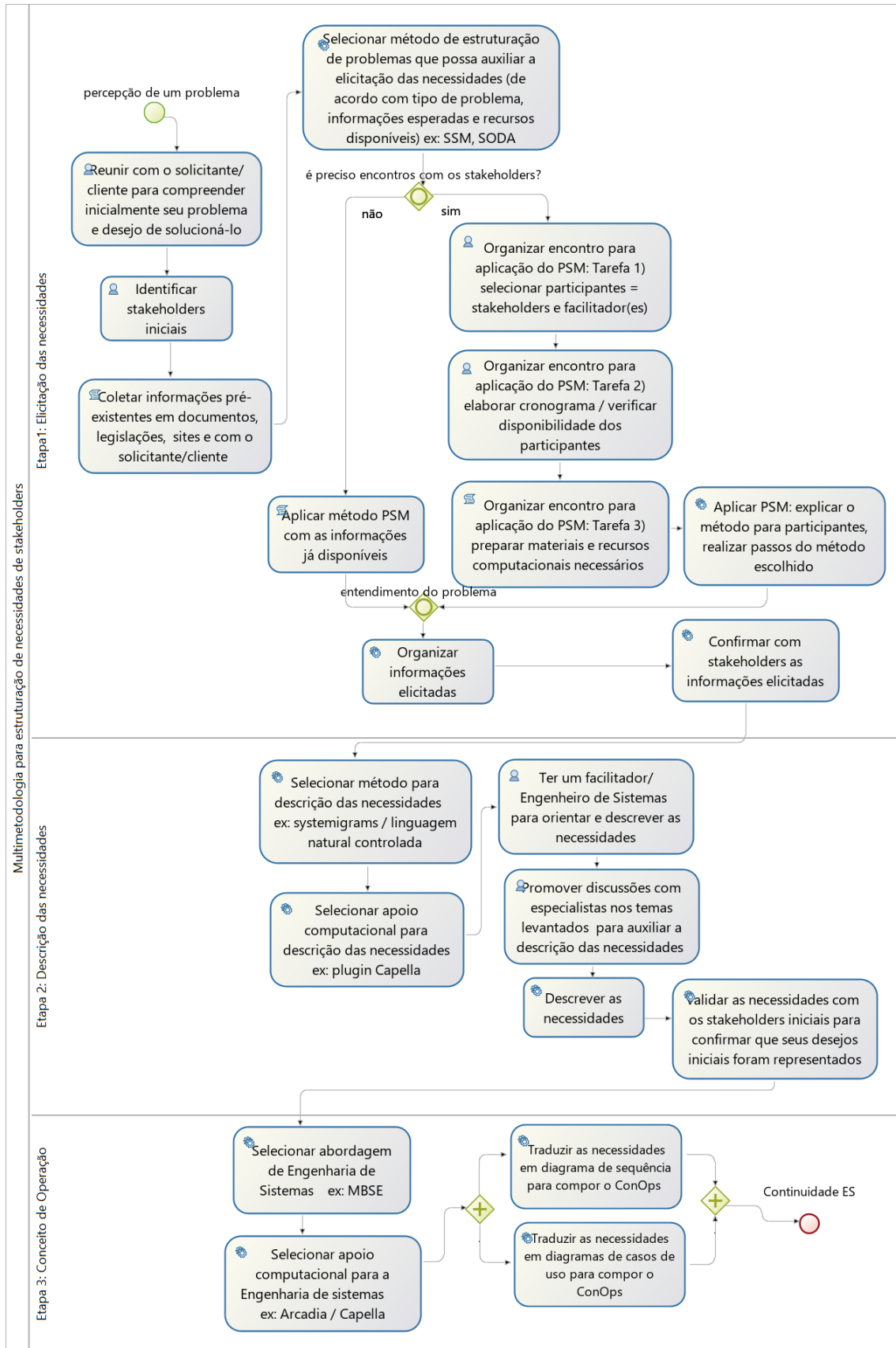
Fonte: Produção da autora.

• Etapa 3: Conceito de Operação

Auxílio à Engenharia de Sistemas baseada em modelos, Análise Operacional. A partir dos elementos identificados com uma exploração holística no domínio do problema, espera-se encontrar contributos à construção do conceito de operação.

A Figura 4.4 apresenta um detalhamento para a aplicação da multimetodologia e nos Capítulos 5 e 6 serão mais exemplificadas em dois casos distintos.

Figura 4.4 - Processo para aplicação da multimetodologia.



Fonte: Produção da autora.

5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO I - SIMUA

A multimetodologia proposta nesta tese foi detalhada em etapas para aplicação em um projeto real em desenvolvimento no Centro Espacial ITA.

O projeto de nome SIMUA (*Safe Integration of different Manned and Unmanned Aircraft in non-segregated airspace*) - Integração segura de diferentes aeronaves tripuladas e não tripuladas no espaço aéreo não-segregado, é parte de um acordo de parceria entre o Brasil e a Suécia. Em suma, o SIMUA constitui um sistema para detectar e evitar colisões de drones no espaço aéreo não segregado.

Para o SIMUA o espaço aéreo não segregado é limitado pelo nível UTM (*Unmanned Traffic Management*). O domínio do espaço aéreo UTM. É um espaço delimitado no qual operam os sistemas aéreos não tripulados. Inclui o espaço aéreo até 400 pés acima do solo, onde ocorre a maioria das operações de drones, bem como altitudes mais altas para operações de drones mais avançados (MCCARTHY et al., 2020).

Para orientar a concepção do sistema SIMUA as práticas da Engenharia de Sistemas foram adotadas e aproveitou-se a oportunidade do emprego real da tese, observando-se os benefícios à fase inicial de Definição do Problema.

5.1 Aplicação SIMUA

Um plano de aplicação apropriado foi definido adaptando a multimetodologia para o projeto SIMUA, como preconiza esta tese no conceito de resiliência ao processo:

Etapa 1) Elicitação das necessidades - reunião com *stakeholders* e figuras-ricas;

Etapa 2) Descrição das necessidades - *ScenarioStories*; e

Etapa 3) Conceito de Operação - MBSE.

5.1.1 SIMUA: Etapa 1 - Elicitação das necessidades

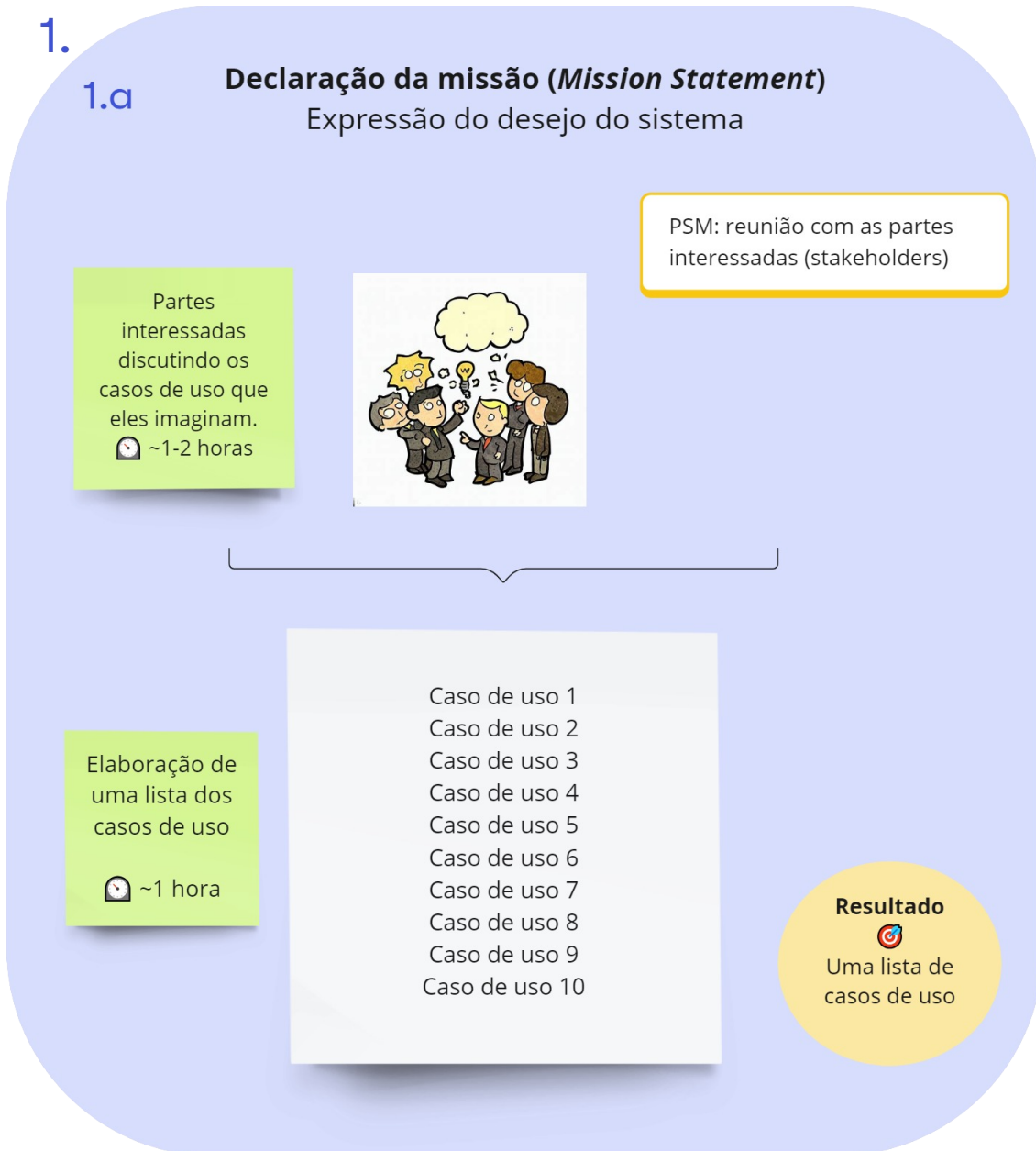
Na etapa 1 é sugerida uma estruturação do problema para auxílio à elicitación das necessidades. No caso SIMUA foram definidos dois passos para esta etapa:

1a) Reunião livre com os *stakeholders* (Figura 5.1) e 1b) Figura-rica (Figura 5.2) .

SIMUA Etapa 1.a - Reunião livre com os *stakeholders*

No primeiro passo da etapa 1 (1.a), o planejado para este caso de estudo foi uma reunião livre com as partes interessadas para ouvir as preocupações e desejos que deram origem ao projeto SIMUA.

Figura 5.1 - Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 1a elicitação das necessidades.



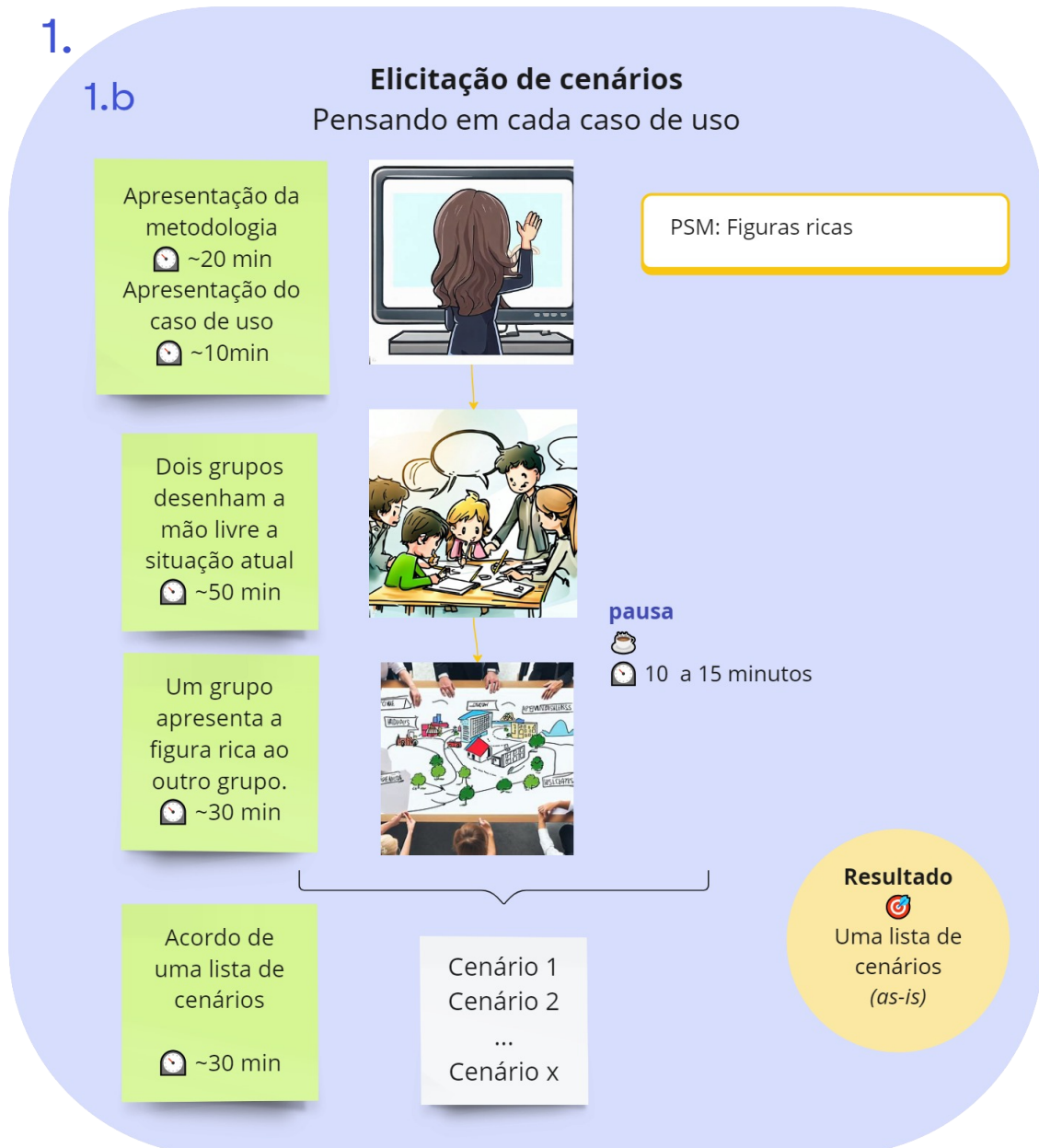
Fonte: Produção da autora.

O resultado esperado desta reunião foi o conhecimento inicial das necessidades, que pode ser expressa por uma lista de casos de uso para Detecção e Prevenção de colisões entre drones na zona UTM - *Unmanned Aircraft System Traffic Management*.

SIMUA Etapa 1.b - Figuras-ricas

No segundo passo da etapa 1 (1.b), planejou-se a realização de oficinas para construção de figuras-ricas como ferramenta de estruturação de problemas, a medida que estas seriam proveitosas em aludir conhecimento sobre cada caso de uso.

Figura 5.2 - Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 1b elicitação das necessidades.



Fonte: Produção da autora.

Os participantes devem em cada caso de uso por vez, serem encorajados a desenhar a situação atual com ênfase em não antecipar a proposta de soluções, mas sim ilustrar a circunstância como ela é (*AS IS*) sem se preocupar com a forma e a qualidade do desenho e sim expressar todos os elementos presentes naquela cena, assim como as relações entre eles.

O resultado esperado dessas oficinas foram ilustrações sob o ponto de vista daquele grupo de *stakeholders* e um maior conhecimento aos desenvolvedores sobre cada caso de uso, finalizando com a identificação de cenários atuais para os quais os drones precisarão estar preparados no futuro.

5.1.2 SIMUA: Etapa 2 - Descrição das necessidades

Na etapa 2 (Figura 5.3) da multimetodologia é sugerido o uso de *Behaviour-Driven Development story* para a descrição das histórias de usuários com uma linguagem natural controlada.

É adequado que para esta etapa sejam convocados especialistas conhecedores de cada cenário ou com acesso a terceiros que possam auxiliá-los em eventuais esclarecimentos, a fim de que sejam hábeis em extrapolar cada cenário descrito na etapa anterior usando as informações fornecidas pelas figuras-ricas em histórias de usuários.

Para esta descrição, foi definida uma estrutura de linguagem natural controlada para orientar os especialistas participantes desta etapa. A estrutura foi criada em similaridade com a abordagem ágil, com a descrição de histórias de usuários sobre cada caso de uso e seus cenários escritos como se fossem critérios de aceitação usando os *boilerplates*: *<given>*, *<when>*, *<then>* e *<and>*.

Também como recurso computacional para esta etapa, foi construído pelo grupo de trabalho do CONCEPTIO um *plugin* para o *software* de modelagem Capella, denominado *ScenarioStoriesPlugin*.

Figura 5.3 - Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 2 descrição das necessidades.

2.

Descrição dos cenários

Pensando sobre cada cenário das figuras ricas

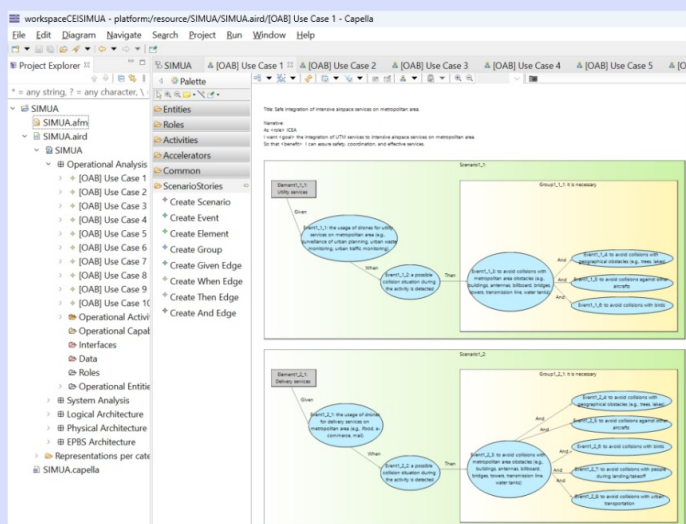


Desenvolvimento Ágil -
BDD como Diagrama de Sistemas (Systemigrams)

Discussões
com
especialistas

Descrição
dos cenários
em histórias
de usuários

Modelagem de
sistemagrama
em ambiente
MBSE



🕒 1-3 horas

~ 30 min por cenário

👤 Engenheiros + facilitador

Resultado

🔄
Descrição das
necessidades das
partes interessadas
utilizando linguagem
natural controlada.

Verificação e
Validação
pelas partes
interessadas

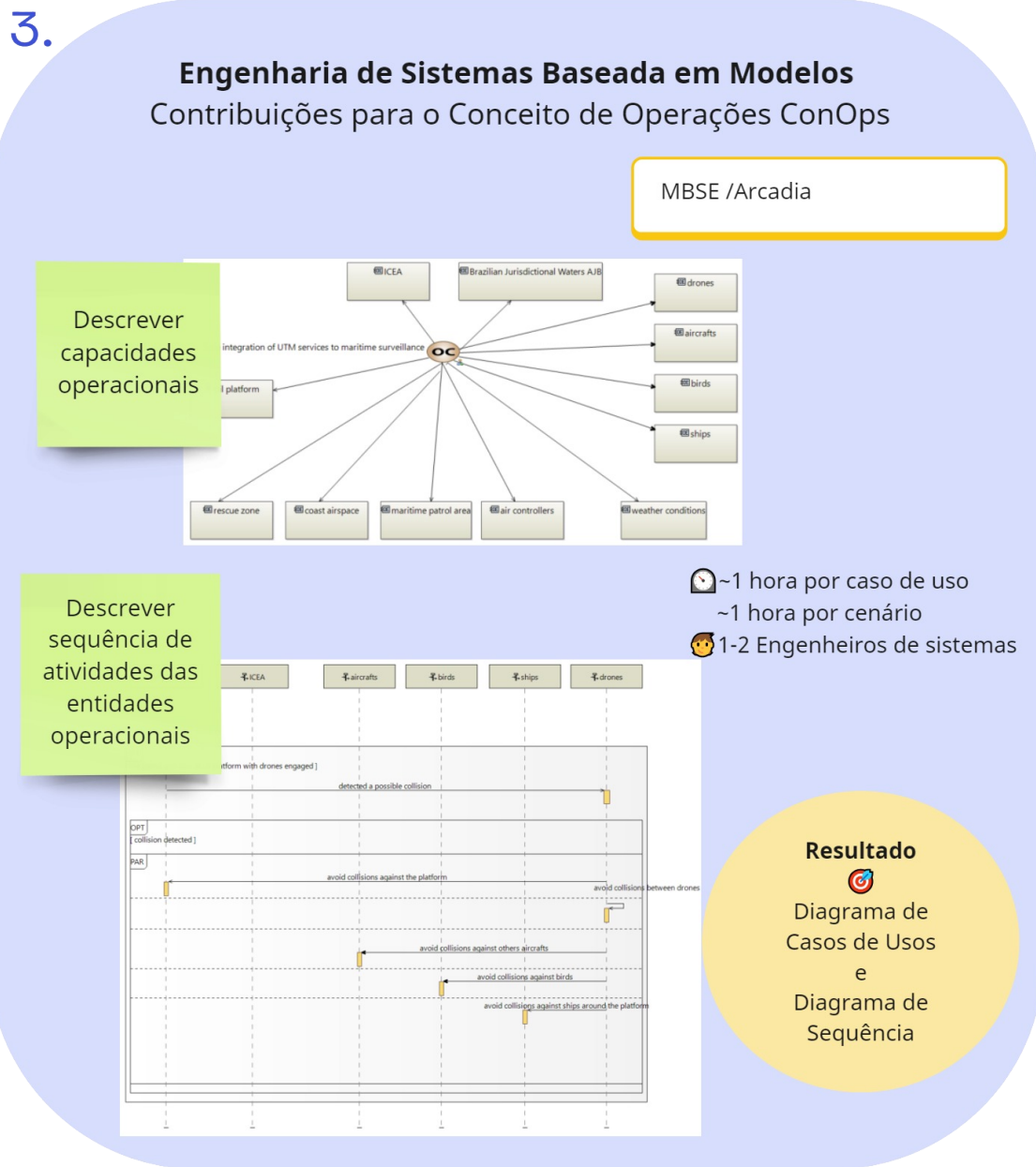
Fonte: Produção da autora.

O resultado esperado desta etapa foi, em suma, a descrição das necessidades das partes interessadas em linguagem natural controlada.

5.1.3 SIMUA: Etapa 3 - Conceito de Operação

Na etapa 3 (Figura 5.4) da multimetodologia são utilizadas as informações capturadas através da estruturação e descrição (etapas 1 e 2), como contribuição para a construção do Conceito de Operação do Sistema (ConOps) no domínio do problema.

Figura 5.4 - Exemplo de aplicação SIMUA: Etapa 3 modelagem do Conceito de Operação.



Fonte: Produção da autora.

Para o projeto SIMUA, esperou-se a implementação de dois tipos de diagramas nesta etapa: Diagramas de Casos de uso e Diagramas de sequência.

5.2 Resultado em SIMUA

Esta Seção apresenta os resultados da utilização prática das etapas descritas na Seção 5.1.

5.2.1 SIMUA: Resultado Etapa 1 - Elicitação das necessidades

Os resultados da aplicação da multimetodologia na Etapa 1 foram:

SIMUA Resultado Etapa 1.a - Reunião livre com os *stakeholders*

A aplicação da multimetodologia no projeto SIMUA, começou com a Etapa 1a onde ocorreu um encontro entre os atores iniciais representantes da parceria Brasil-Suécia.

Nesta reunião foram apresentados os pressupostos iniciais que deram origem ao projeto, foram convocadas as partes da cooperação e foi apresentado o entendimento inicial das vontades dos interessados expressas livremente. Os parceiros de trabalho se envolveram em uma discussão aberta durante esta reunião sobre o projeto e possíveis casos de uso para um sistema de detecção e prevenção de colisões entre drones.

O resultado desta reunião foi uma lista de dez casos de uso de interesse para o SIMUA:

Caso de Uso 1

Integração segura de serviços espaciais aéreos intensivos em áreas metropolitanas (*Safe integration of intensive airspace services in metropolitan areas*).

Caso de Uso 2

Integração segura de serviços prioritários em áreas metropolitanas e bairros próximos (*Safe integration of priority services into metropolitan areas and close neighborhoods*).

Caso de Uso 3

Integração segura de serviços prioritários em bairros próximos (*Safe integration of*

priority services into close neighborhoods).

Caso de Uso 4

Integração segura de um serviço logístico de entrega com centros de entrega nos bairros (*Safe integration of a logistic service of delivery with delivery hubs into neighborhoods).*

Caso de Uso 5

Integração segura de uma cadeia logística de abastecimento na área industrial (*Safe integration of a logistic supply chain into the industrial area).*

Caso de Uso 6

Integração segura do UTM próximo a aeroportos (*Safe integration of UTM closer to the airport).*

Caso de Uso 7

Integração segura de zonas de exclusão aérea (*Safe integration of no-fly-zones).*

Caso de Uso 8

Integração segura de serviços híbridos tripulados e não tripulados (*Safe integration of hybrid (manned and unmanned) services).*

Caso de Uso 9

Integração segura dos serviços UTM à vigilância marítima (*Safe integration of UTM services to maritime surveillance).*

Caso de Uso 10

Integração segura de serviços UTM para entrega de UAV em plataformas de petróleo (*Safe integration of UTM services to UAV delivery into oil platform).*

SIMUA Resultado Etapa 1.b - Figuras-ricas

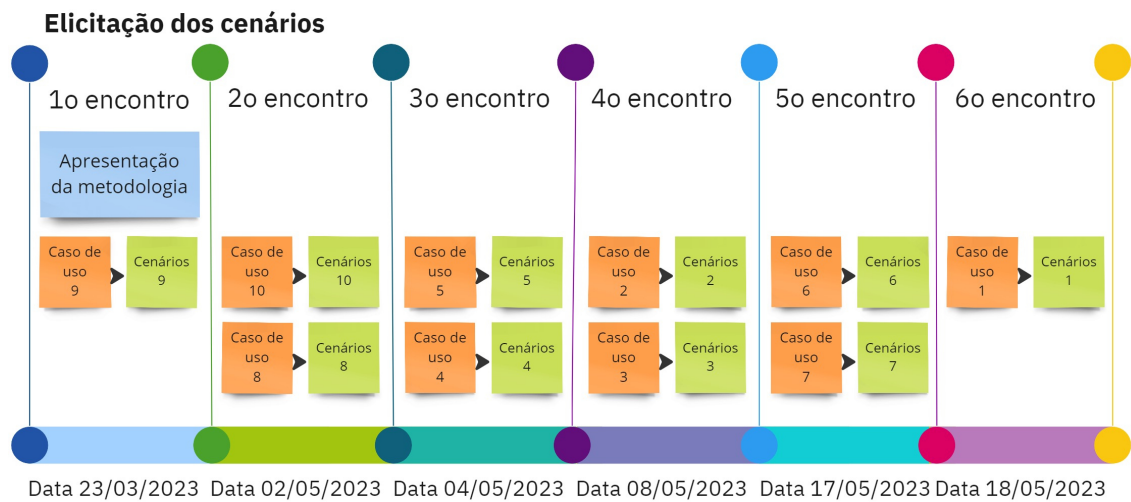
Para a etapa 1b foram convidados especialistas de um dos grupos de *stakeholders*, o ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo).

O ICEA é subordinado ao DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) da Força Aérea Brasileira, cuja finalidade é formar recursos humanos e realizar estudos e pesquisas no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro. (DCEA, 2023). Esse grupo de *stakeholders* foi designado com o entendimento de que seria o

grupo que poderia gerar mais informações sobre os casos de uso pelo conhecimento tácito.

Foram realizadas seis reuniões seguindo o cronograma da Figura 5.5, com dez participantes - especialistas do ICEA e desenvolvedores do Laboratório CONCEPTIO - divididos em dois grupos com componentes intercalados.

Figura 5.5 - Cronograma de reuniões.



Fonte: Produção da autora.

Figura 5.6 - Dinâmicas de construção das figuras-ricas.



Fonte: Produção da autora.

Em geral, foi possível trabalhar em dois casos de uso em cada encontro por cerca de duas horas cada, com uma breve pausa de dez minutos entre eles e entre cada uma das fases de análise de um caso de uso. Foram duas horas dispendidas, cerca de uma hora e meia para a construção de uma figura-rica em cada grupo (duas figuras) e trinta minutos para a apresentação da figura-rica de um grupo ao outro (Figura 5.6).

Após a construção e apresentações das figuras-ricas, a cada caso de uso, uma nova discussão de cerca de trinta minutos foi proveitosa para obter os cenários (Tabela 5.1) que emergiram delas, correspondentes ao mesmo caso de uso.

Nas aplicações foram adotadas nomenclatura de acordo com a abordagem Arcadia, para ‘Casos de uso’ como a forma como o sistema seria utilizado, e ‘Cenários’ representam uma situação e o contexto em que ele se insere.

Tabela 5.1 - Casos de uso e cenários SIMUA.

Casos de Uso		Cenários
UC1 - Integração segura de serviços espaciais aéreos intensivos em áreas metropolitanas	Cenário 1-1	Serviços utilitários
	Cenário 1-2	Serviço de entrega
	Cenário 1-3	Serviços de emergência
	Cenário 1-4	Mobilidade urbana
	Cenário 1-5	Atividades de lazer
	Cenário 1-6	Grandes eventos
	Cenário 1-7	Violação de privacidade
	Cenário 1-8	Geolocalização perdida

(Continua)

Tabela 5.1 - Continuação.

Casos de uso		Cenários
UC2 - Integração segura de serviços prioritários em áreas metropolitanas e bairros próximos	Cenário 2-1 Cenário 2-2 Cenário 2-3 Cenário 2-4 Cenário 2-5	Serviços de saúde prioritários Serviços prioritários de manutenção da ordem pública Serviços de socorro prioritários Serviços urbanos prioritários Acesso prioritário comprometido
UC3 - Integração segura de serviços prioritários em bairros próximos	Cenário 3-1 Cenário 3-2 Cenário 3-3 Cenário 3-4	Serviços de saúde prioritários Serviços prioritários de manutenção da ordem pública Serviços de socorro prioritários Serviços urbanos prioritários
UC4 - Integração segura de um serviço logístico de entrega com centros de entrega nos bairros	Cenário 4-1 Cenário 4-2 Cenário 4-3 Cenário 4-4 Cenário 4-5	Entrega de carga de um centro logístico para um centro de distribuição Entrega de carga de um centro de distribuição para um centro de entrega Perda de carga Urgência Acidentes

(Continua)

Tabela 5.1 - Continuação.

Casos de uso		Cenários
UC5 - Integração segura de uma cadeia logística de abastecimento na área industrial	Cenário 5-1 Cenário 5-2 Cenário 5-3 Cenário 5-4 Cenário 5-5 Cenário 5-6	Observação Operações práticas Acidentes de trabalho Transporte em áreas industriais Transporte para áreas de difícil acesso Transporte urgente
UC6 - Integração segura do UTM próximo a aeroportos	Cenário 6-1 Cenário 6-2 Cenário 6-3 Cenário 6-4 Cenário 6-5	Aeroporto aberto Aeroporto em condições restritas Aeroporto fechado Urgências/Emergências Inspeção aeroportuária
UC7 - Integração segura de zonas de exclusão aérea	Cenário 7-1 Cenário 7-2 Cenário 7-3 Cenário 7-4 Cenário 7-5	Áreas restritas Áreas perigosas Áreas Proibidas Restrições Temporárias Autorização de Exceção

(Continua)

Tabela 5.1 - Conclusão.

Casos de uso		Cenários
UC8 - Integração segura de serviços híbridos tripulados e não tripulados	<p>Cenário 8-1</p> <p>Cenário 8-2</p> <p>Cenário 8-3</p> <p>Cenário 8-4</p> <p>Cenário 8-5</p> <p>Cenário 8-6</p> <p>Cenário 8-7</p>	<p>Serviços agrícolas</p> <p>Serviços de indústrias extrativas</p> <p>Serviços de utilidade pública</p> <p>Serviços aeroportuários</p> <p>Serviços urbanos</p> <p>Serviços de instrução aérea</p> <p>Serviços de emergência</p>
UC9 - Integração segura dos serviços UTM à vigilância marítima	<p>Cenário 9-1</p> <p>Cenário 9-2</p> <p>Cenário 9-3</p> <p>Cenário 9-4</p> <p>Cenário 9-5</p> <p>Cenário 9-6</p>	<p>Plataforma petrolífera</p> <p>Resgate</p> <p>Litoral</p> <p>Patrulha Marítima</p> <p>Mau tempo</p> <p>Comunicação</p>
UC10 - Integração segura de serviços UTM para entrega de UAV em plataformas de petróleo	<p>Cenário 10-1</p> <p>Cenário 10-2</p> <p>Cenário 10-3</p> <p>Cenário 10-4</p> <p>Cenário 10-5</p> <p>Cenário 10-6</p>	<p>Transporte aéreo de pessoal</p> <p>Abastecimento de transporte aéreo</p> <p>Inspeção da plataforma por órgãos governamentais</p> <p>Situações de acidentes</p> <p>Mau tempo</p> <p>Comunicação</p>

Fonte: Produção da autora.

5.2.2 SIMUA: Resultado Etapa 2 - Descrição das necessidades

Um novo grupo de trabalho, composto por um engenheiro de requisitos e um especialista em controle de voo, juntamente com o facilitador, foi constituído para desdobrarem os cenários em histórias de usuários.

Os cenários elicitados na etapa anterior, de cada caso de uso, foram descritos com a contribuição das figuras-ricas como histórias de usuários (BDD), com uma padronização de linguagem - linguagem natural controlada - e modelada no Capella com o *plugin ScenarioStories*.

Para ilustrar o resultado desta etapa, esta Seção apresenta dois exemplos de cenários operacionais para o Caso de Uso 9 que foi o primeiro realizado pela escolha dos participantes (os demais resultados encontram-se no [Apêndice A](#)).

Caso de uso 9: *Safe integration of UTM services to maritime surveillance.*

O caso de uso 9 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer na vigilância marítima.

Figuras-Ricas (*Rich-pictures*)

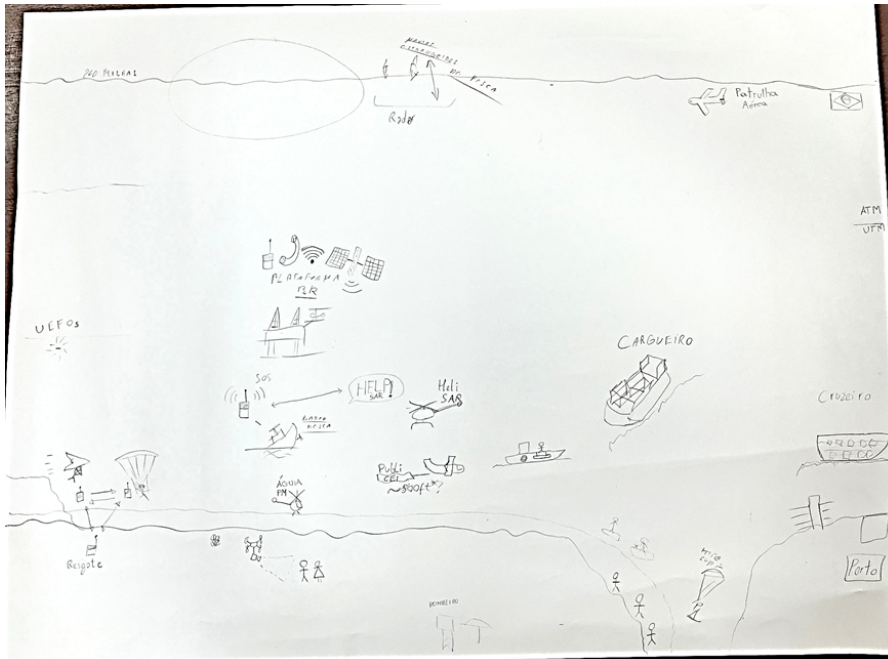
Em reunião para descrição do caso de uso 9 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura 5.7 e 5.8).

Figura 5.7 - Caso de Uso 9 - Figura-rica do grupo A.



Fonte: Produção da autora.

Figura 5.8 - Caso de Uso 9 - Figura-rica do grupo B.



Fonte: Produção da autora.

Histórias de usuários (*User-stories*)

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados através das histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do *plugin Capella ScenarioStories*.

Para o caso de uso 9, a Entidade Regulatória do Espaço Aéreo (ICEA), deseja uma vigilância coordenada nas Águas Jurisdicionais Brasileiras, em benefício à consciência situacional no tráfego aéreo seguro em seis distintos cenários: de proximidade da plataforma de petróleo; de busca e salvamento; de proximidade com a região costeira; de patrulha marítima; de mau tempo; de comunicação. Para ilustrar serão apresentados dois cenários dos modelados Cenário 9-1 (Figura 5.9) e Cenário 9-6 (Figura 5.10).

Narrativa:

Como <papel/função> Entidade Reguladora do Espaço Aéreo.

Quero <ação/meta> uma vigilância marítima coordenada nas AJB (Águas Jurisdicionais Brasileiras).

Para que <benefício> eu possa garantir uma consciência situacional para um tráfego aéreo seguro.

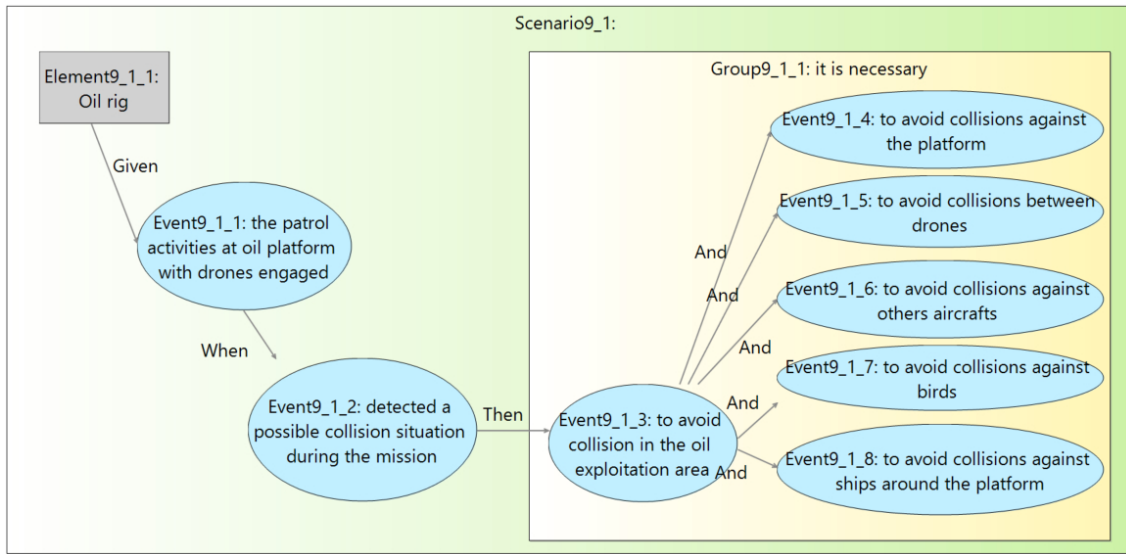
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity*.

I want <goal> *a coordinate maritime surveillance in the AJB (Brazilian Jurisdictional Waters)*.

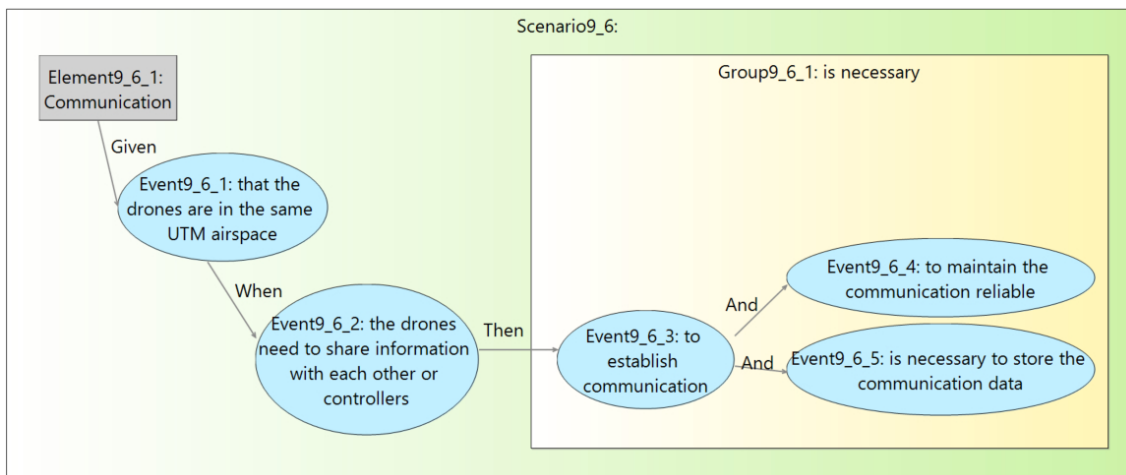
So that <benefit> *I can assure a situational awareness for a safe air traffic.*

Figura 5.9 - Cenário 1 do Caso de Uso 9 SIMUA - Plataforma de petróleo.



Fonte: Produção da autora.

Figura 5.10 - Cenário 6 do Caso de Uso 9 SIMUA - Comunicação.



Fonte: Produção da autora.

Os *systemigrams* foram validados pelos *stakeholders* participantes da etapa 1.

A modelagem é o resultado desta etapa, podendo ser transcritas em necessidades dos usuários. Foram gerados no total 378 (trezentas e setenta e oito) necessidades dos usuários (*user needs*), como exemplifica a Figura 5.11 que é um extrato da lista completa.

Figura 5.11 - Necessidades dos *stakeholders* no Caso de Uso 9 Cenário 1 do SIMUA.

Necessidades do Cenário 1 do Caso de Uso 9 SIMUA	N9.1.1	Given	the patrol activities at oil platform with drones engaged	When	detected a possible collision situation during the mission	Then its necessary	to avoid collision in the oil exploitation area
	N9.1.2	Given	the patrol activities at oil platform with drones engaged	When	detected a possible collision situation during the mission	Then its necessary	to avoid collisions against the platform
	N9.1.3	Given	the patrol activities at oil platform with drones engaged	When	detected a possible collision situation during the mission	Then its necessary	to avoid collisions between drones
	N9.1.4	Given	the patrol activities at oil platform with drones engaged	When	detected a possible collision situation during the mission	Then its necessary	to avoid collisions against others aircrafts
	N9.1.5	Given	the patrol activities at oil platform with drones engaged	When	detected a possible collision situation during the mission	Then its necessary	to avoid collisions against birds
	N9.1.6	Given	the patrol activities at oil platform with drones engaged	When	detected a possible collision situation during the mission	Then its necessary	to avoid collisions against ships around the platform

Fonte: Produção da autora.

Todos os resultados da aplicação não foram traduzidos para manter a linguagem fiel em que foram produzidas.

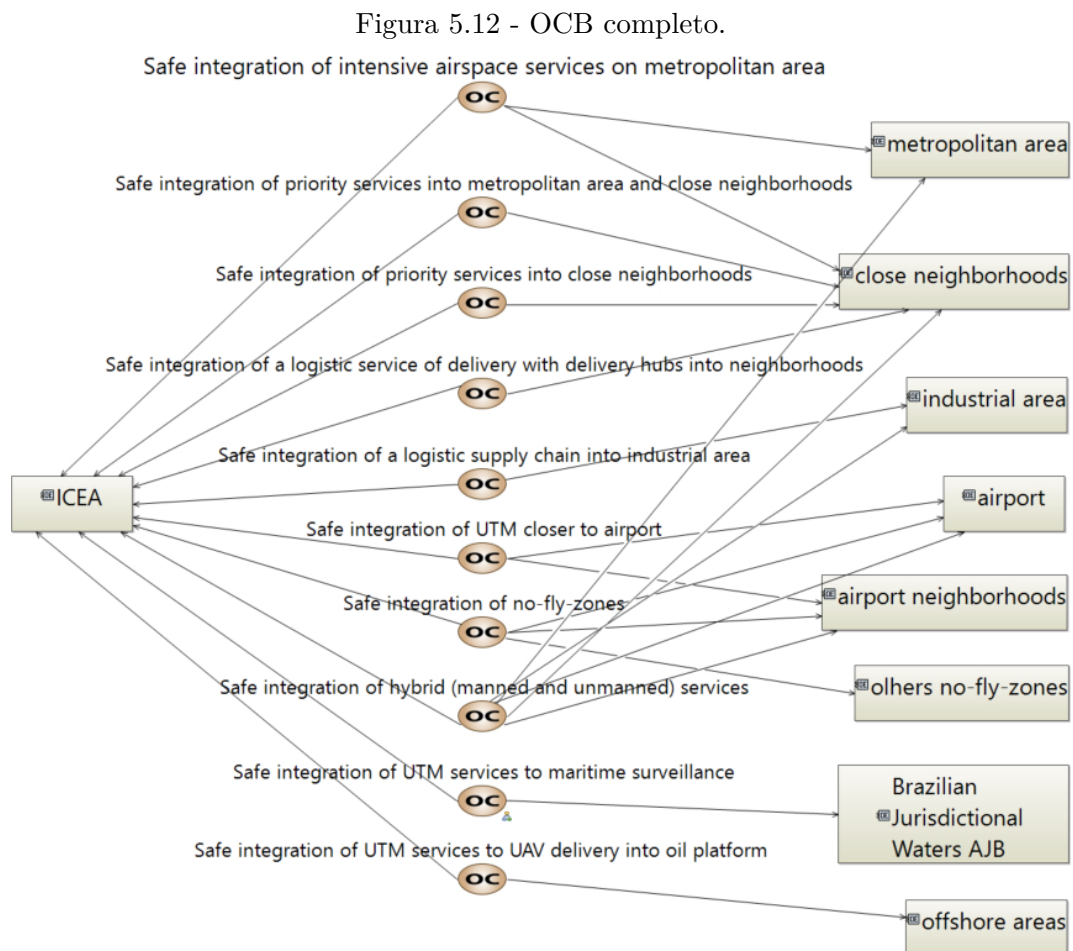
5.2.3 SIMUA: Resultado Etapa 3 - Conceito de Operação

Na etapa 3, os modelos *ScenarioStories* com as histórias de usuários contribuíram para a modelagem, pelo Engenheiro de Sistemas, de dois tipos de diagramas de Engenharia de sistemas no ambiente Capella: Diagramas de Casos de uso e Diagramas de Sequência.

Todos os modelos construídos com estes dois tipos de diagramas compõem o Conceito de Operação do Sistema (ConOps) no domínio do problema.

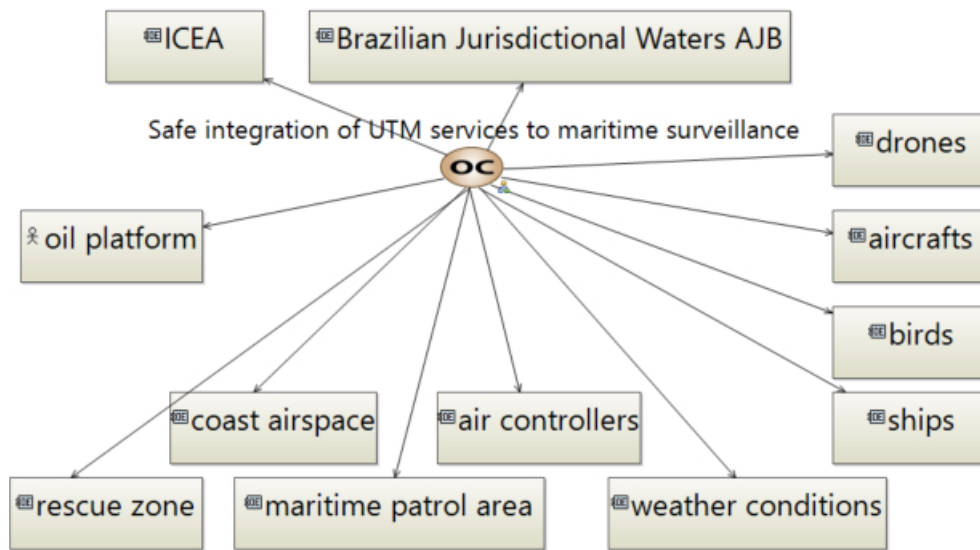
Diagramas de casos de uso

Para o SIMUA foi possível descrever os casos de uso relacionando-os com as entidades envolvidas a este, em um diagrama geral (Figura 5.12) e para cada caso em separado (Figura 5.13) com diagramas OCB - *Operational Capabilities*.



Fonte: Produção da autora.

Figura 5.13 - OCB do Caso de Uso 9.

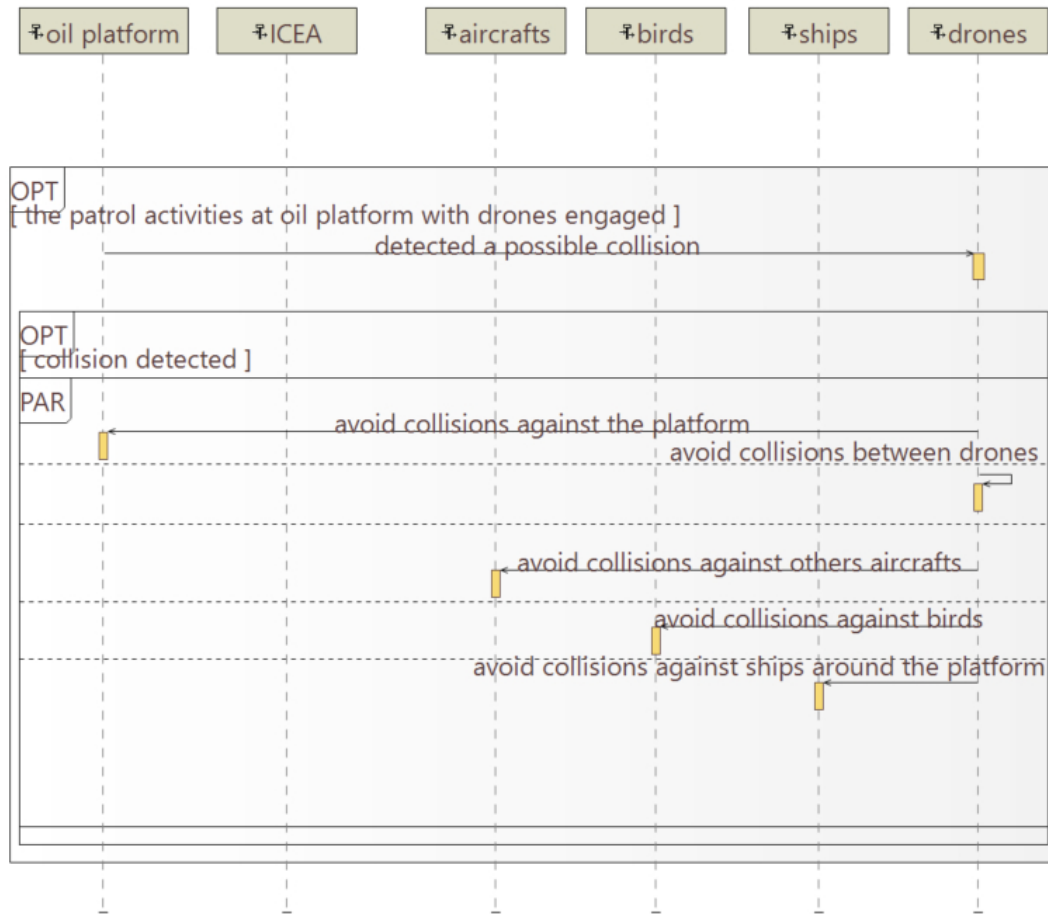


Fonte: Produção da autora.

Diagramas de sequência

Para o SIMUA foi possível descrever a sequência de atividades em cada um dos cenários, de cada um dos casos de uso, relacionando-os à entidades com diagramas OES - *Operational Entity Scenario* (Figura 5.14).

Figura 5.14 - OES do Caso de Uso 9.



Fonte: Produção da autora.

5.3 Passos para aplicação em outros projetos

Os três estágios definidos para aplicação da multimetodologia proposta nesta tese são:

- Etapa 1) Elicitação das necessidades - PSM;
- Etapa 2) Descrição das necessidades - *ScenarioStories*; e
- Etapa 3) Conceito de Operação - MBSE.

5.3.1 Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 1 - utilizando como PSM Figuras-Ricas para a Elicitação das necessidades

Na etapa 1 da multimetodologia é proposta uma estruturação do problema para auxílio à elicitación das necessidades. Utilizando como PSM as figuras-ricas do SSM são definidos dois passos para esta etapa:

Etapa 1a) Reunião livre com os *stakeholders* e

Etapa 1b) Figura-rica.

Elicitación das necessidades Etapa 1.a - Pesquisa documental

Para aplicação similar em outros projetos o importante nesta fase é:

- i) selecionar os *stakeholders* iniciais, convidá-los para o processo e agendar reunião;
- ii) apresentar as informações existentes sobre o projeto, tais como parceria;
- iii) promover um ambiente propício para que todos se sintam confortáveis em se expressar;
- iv) gerenciar toda informação.

Elicitación das necessidades Etapa 1.b - Figuras-ricas

Para aplicação similar em outros projetos o importante nesta fase é:

- i) selecionar os *stakeholders* participantes;
- ii) organizar uma agenda de reuniões de acordo com o número de figuras-ricas esperadas e tempo hábil para a análise das informações geradas;
- iii) convidar *stakeholders* e desenvolvedores para participar do processo, promovendo integração entre eles e maior ambientação com o projeto;
- iv) iniciar as reuniões como uma apresentação do objetivo do estudo e da metodologia;
- v) providenciar local e material para a confecção das figuras-ricas, basicamente, folhas grandes (A2 ou semelhante), vários lápis e borracha disponíveis;
- vi) dividir em grupos;
- vii) ter um facilitador, que possa auxiliar na prática da metodologia, dúvidas e controle de tempo, sem interferir na criatividade dos participantes;
- viii) promover um ambiente propício para que todos se sintam confortáveis em se expressar;
- ix) ao final da confecção de cada figura-rica, cada grupo deve apresentar seu desenho aos outros a fim de complementar as informações de cada grupo;
- x) finalizar a reunião listando informações úteis encontradas na figura-rica;
- xi) gerenciar toda informação.

5.3.2 Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 2 - Descrição das necessidades

Para aplicação similar em outros projetos, o recomendado nesta fase é:

- i) ter um facilitador para orientar o processo e a confecção dos diagramas *Scenario Stories* (no *software* Capella, se desejado);
- ii) escrever as *user-stories* com a estrutura: Título e Narrativa (papel *<role>*, objetivo *<goal>* e benefício *<benefit>*) que vai auxiliar a entender melhor o contexto;
- iii) procurar identificar, com a confecção dos diagramas, por fim as necessidades;
- iv) validar os diagramas criados com os entrevistados da etapa 1 para confirmar que seus desejos iniciais foram expressos.

5.3.3 Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 3 - Conceito de Operação

Para aplicação similar em outros projetos o recomendado nesta fase é:

- i) ter um facilitador com conhecimento em modelagem de sistemas, Engenheiro de sistemas desenvolvedor;
- ii) listar as entidades;
- iii) pensar as atividades relacionando-as às entidades;
- iv) consolidar as informações nos modelos;
- v) compartilhar a modelagem com a equipe de desenvolvimento do sistema para sequência da Engenharia de Sistemas.

6 EXEMPLO DE APLICAÇÃO II - CONSTELAÇÃO CATARINA

A multimetodologia proposta nesta tese foi aplicada ao projeto Constelação Catarina.

O Constelação de nanosatélites Catarina é uma iniciativa da Agência Espacial Brasileira (AEB) e da Frente Parlamentar Mista para o Programa Espacial Brasileiro (FPMPEB). Foi criado em 2021 com a parceria da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina (ISI SENAI SC), com suporte do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Stakeholders primários:

- A USFC é responsável pelo estudo e desenvolvimento de modelos estruturais dos nanosatélites que compõem a Constelação Catarina, assim como pela análise de cenários de órbita;
- O ITA auxiliou as atividades da UFSC e também a elaboração e documentação do projeto, em sua fase inicial, por meio da Engenharia de Sistemas;
- O SENAI é responsável pela produção e integração do sistema elétrico e eletrônico do programa;
- O INPE é o receptor/distribuidor dos dados captados pelos nano satélites;
- O financiamento do projeto é realizado pela AEB.

6.1 Aplicação Constelação Catarina

Os três estágios definidos para aplicação da multimetodologia proposta nesta tese, adaptados ao estudo de caso Constelação Catarina foram:

Etapa 1) Elicitação das necessidades - pesquisa documental e SODA;

Etapa 2) Descrição das necessidades - *ScenarioStories*; e

Etapa 3) Conceito de Operação - MBSE.

6.1.1 Constelação Catarina: Etapa 1 - Elicitação das necessidades

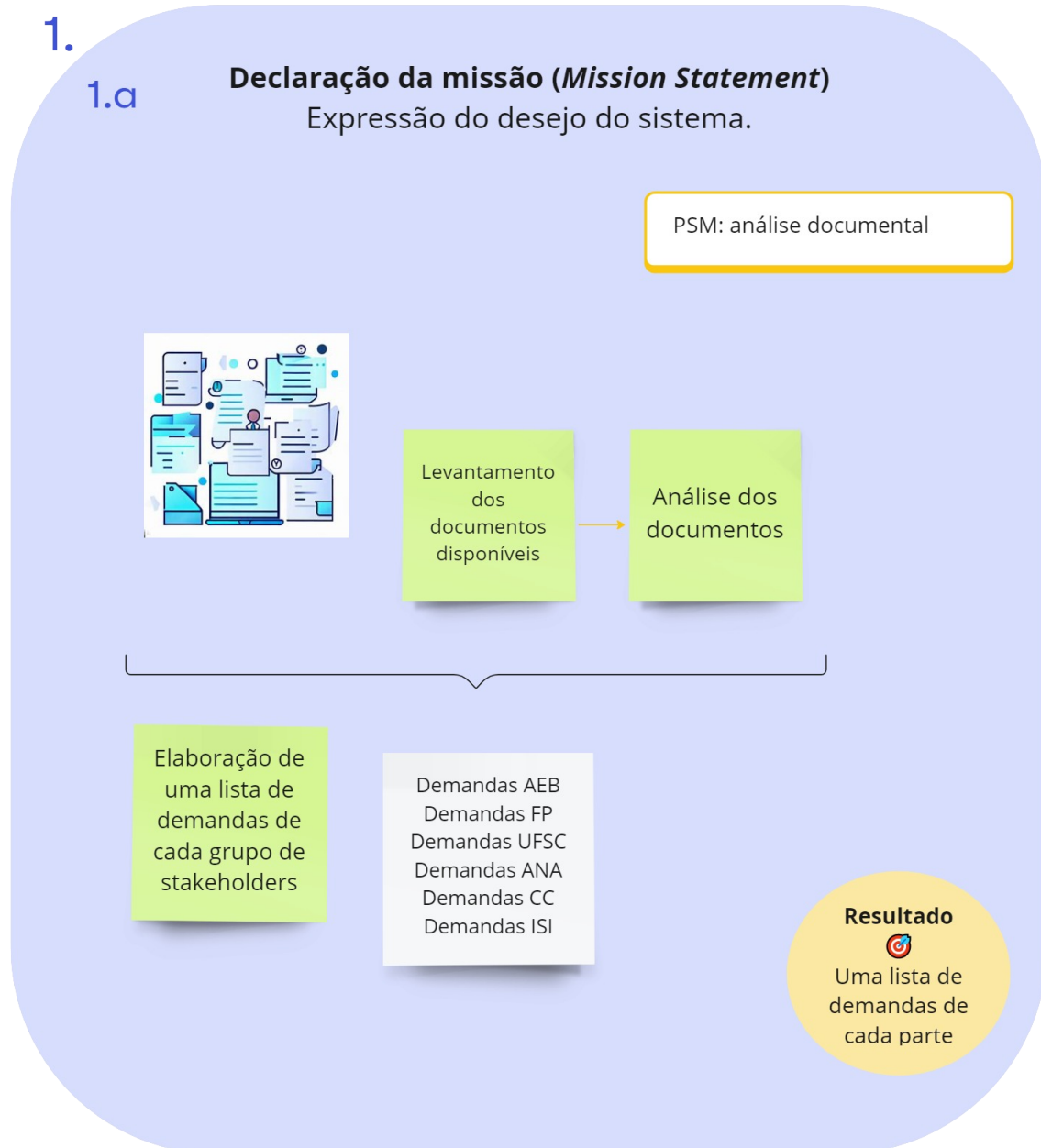
Na etapa 1 da multimetodologia é proposta uma estruturação do problema para auxílio à elicitação das necessidades do caso Constelação Catarina. Foram definidos dois passos para esta etapa:

1.a) Pesquisa documental (Figura 6.1) e 1.b) SODA (Figura 6.2).

Constelação Catarina Etapa 1.a - Pesquisa documental

No primeiro passo da etapa 1 (1.a), o planejado para este caso de estudo foi uma pesquisa documental, com foco em identificar desejos expressos pelas partes interessadas.

Figura 6.1 - Exemplo de aplicação Catarina: Etapa 1a elicitação das necessidades.



Fonte: Produção da autora.

O resultado esperado desta pesquisa foi o conhecimento inicial das necessidades, que pode ser expressa por uma lista de demandas de cada um dos *stakeholders* iniciais, desejosos do desenvolvimento da constelação de nanosatélites.

Constelação Catarina Etapa 1.b - SODA

No segundo passo da etapa 1 (1.b), procede-se a construção de mapas SODA individuais, de cada *stakeholder* em separado, organizando as demandas encontradas na leitura dos documentos disponíveis. Escreve-se a demanda como um conceito e interliga-o aos outros de maneira hierarquizada.

Para hierarquizar os conceitos utilizam-se as perguntas “Por que?”, que irá indicar os conceitos na parte superior do mapa e “Como?” que correspondem aos conceitos na parte inferior do mapa.

Para cada conceito são adicionadas uma frase correspondente ao polo oposto psicológico, construindo assim constructos bipolares.

Em seguida procuram-se constructos semelhantes que possam ser englobados por um mesmo e unem-se os mapas individuais através desses de maneira hierarquizada, formando um só mapa congregado, que na possibilidade de ser validado, denomina-se então como mapa agregado.

Inicia-se a fase de análise desse mapa geral agregado. Para isso pode-se fazer dois tipos de análise: Análise de *clusters* e análise dos constructos chaves.

Figura 6.2 - Exemplo de aplicação Catarina: Etapa 1b elicitação das necessidades.

1.

1.b

Elicitação das demandas

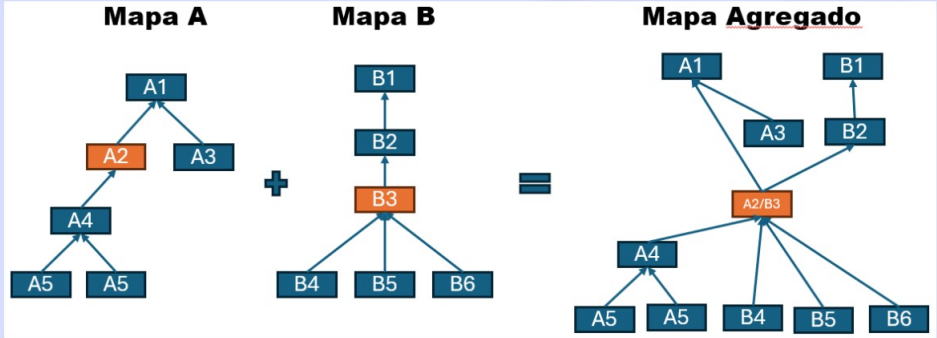
Pensando nas demandas de cada grupo interessado no sistema

PSM: SODA

Composição de mapas cognitivos com as demandas de cada stakeholder

Agrupamento de constructos abrangentes (similares)

Criação de um mapa SODA (congregado/agregado)



Análise do mapa SODA

	IG	EG	(DG)
objetivo	2	3	5
condição (then)	3	2	5
condição (when)	3	1	4
cenário1	3	1	4
cenário2	3	1	4
benefício	3	0	3
benefício	1	0	1

Resultado
 * Lista de cenários
 * Hierarquia das demandas

Fonte: Produção da autora.

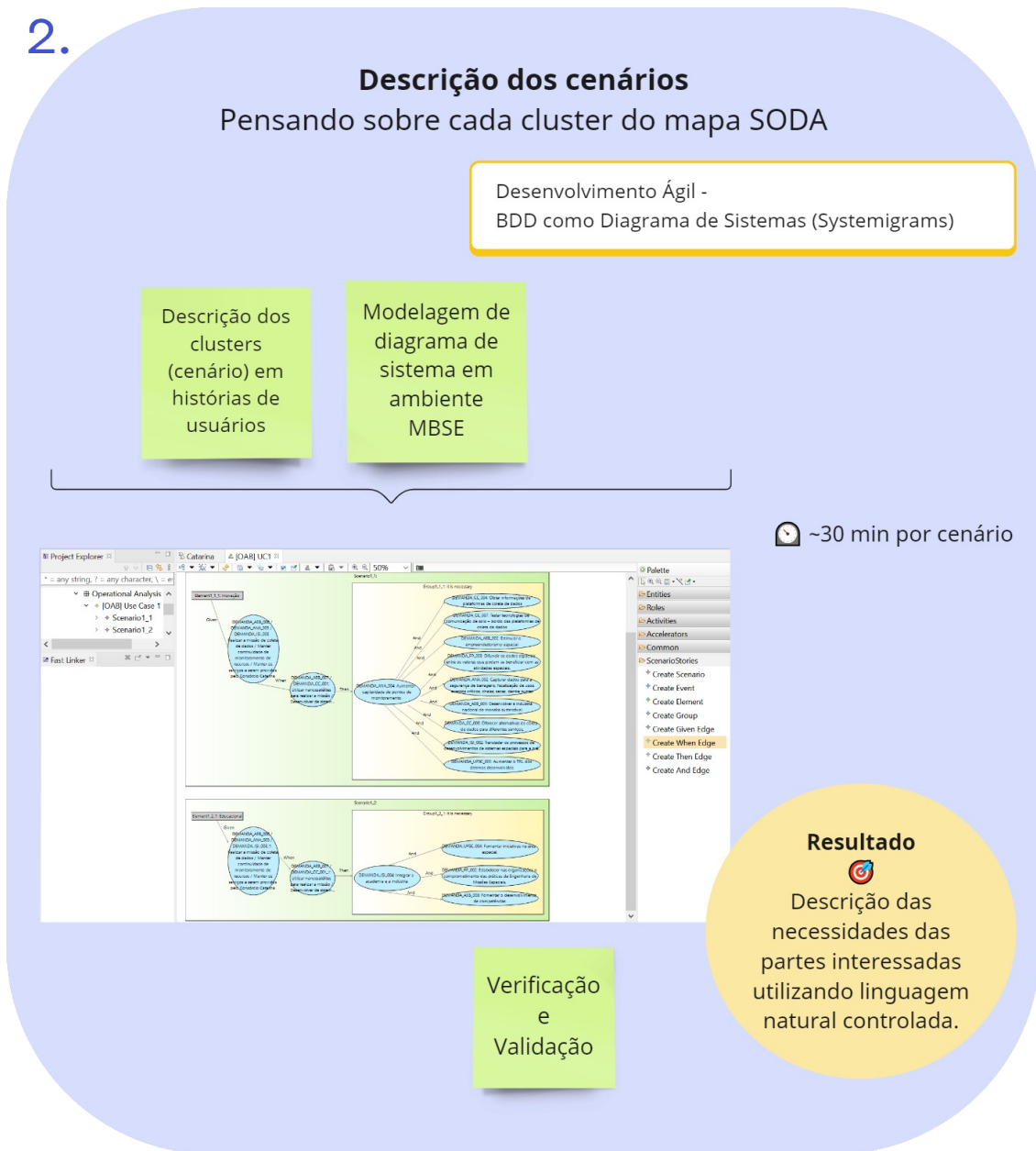
Como resultado desta etapa foi esperada: a lista de cenários, que pode corresponder a cada um dos ramos do mapa, isto é, cada grupo de assuntos gerados no mapa; e hierarquia das demandas.

6.1.2 Constelação Catarina: Etapa 2 - Descrição das necessidades

Na etapa 2 (Figura 6.3) da multimetodologia é sugerido o uso de *Behaviour-Driven Development story* para a descrição das histórias dos usuários com uma linguagem natural controlada.

Figura 6.3 - Exemplo de aplicação Constelação Catarina: Etapa 2 descrição das necessidades.

2.



Fonte: Produção da autora.

Esperou-se que a análise do mapa SODA gerado na etapa de estruturação do problema fosse suficiente para a construção da narrativa, cenários e histórias dos usuários.

Para esta descrição, segue sendo utilizada a mesma estrutura de linguagem natural controlada definida para o caso de estudo anterior. A estrutura foi criada em similaridade com a abordagem ágil, com a a descrição de histórias dos usuários sobre o Constelação Catarina como sendo um caso de uso único e seus cenários escritos como se fossem critérios de aceitação usando os *boilerplates*: *<given>*, *<when>*, *<then>* e *<and>*.

Também foi utilizado para esta descrição como *systemigrams* o recurso computacional desenvolvido no CONCEPTIO, *plugin* Capella *ScenarioStoriesPlugin*.

O resultado esperado desta etapa foi, em suma, a descrição das necessidades das partes interessadas em linguagem natural controlada.

6.1.3 Constelação Catarina: Etapa 3 - Conceito de Operação

A aplicação da multimetodologia na Etapa 3, no estudo de caso Constelação Catarina seguiu semelhante ao estudo de Caso SIMUA apresentado anteriormente neste tese.

Na etapa 3 (Figura 6.4) da multimetodologia são utilizadas as informações conquistadas através da estruturação e descrição (etapas 1 e 2), como contribuição para a construção do Conceito de Operação do Sistema (ConOps) no domínio do problema.

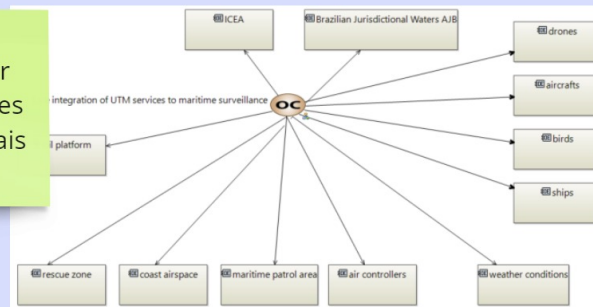
Figura 6.4 - Exemplo de aplicação Constelação Catarina: Etapa 3 modelagem do Conceito de Operação.

3.

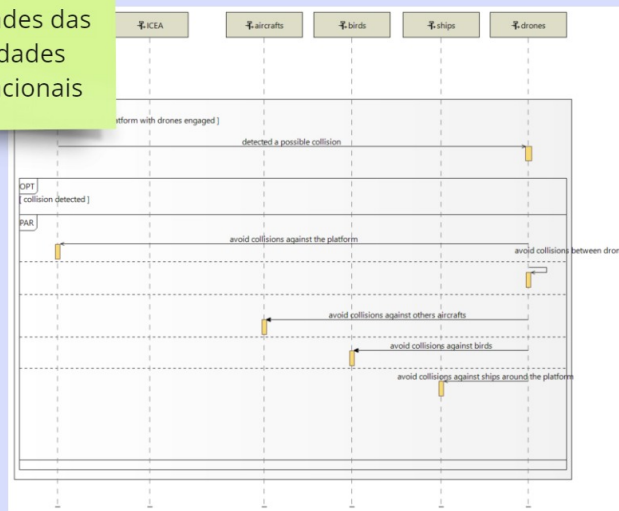
Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos Contribuições para o Conceito de Operações ConOps

MBSE /Arcadia

Descrever capacidades operacionais



Descrever sequência de atividades das entidades operacionais



~1 hora por cenário
1-2 Engenheiros de sistemas

Resultado

Diagrama de Casos de Usos e Diagrama de Sequência

Fonte: Produção da autora.

Para o projeto Constelação Catarina o esperado foi a implementação de dois tipos de diagramas nesta etapa: Diagramas de Casos de uso e Diagramas de sequência.

6.2 Resultado em Constelação Catarina

Esta Seção apresenta os resultados da utilização da multimetodologia no Projeto Constelação Catarina.

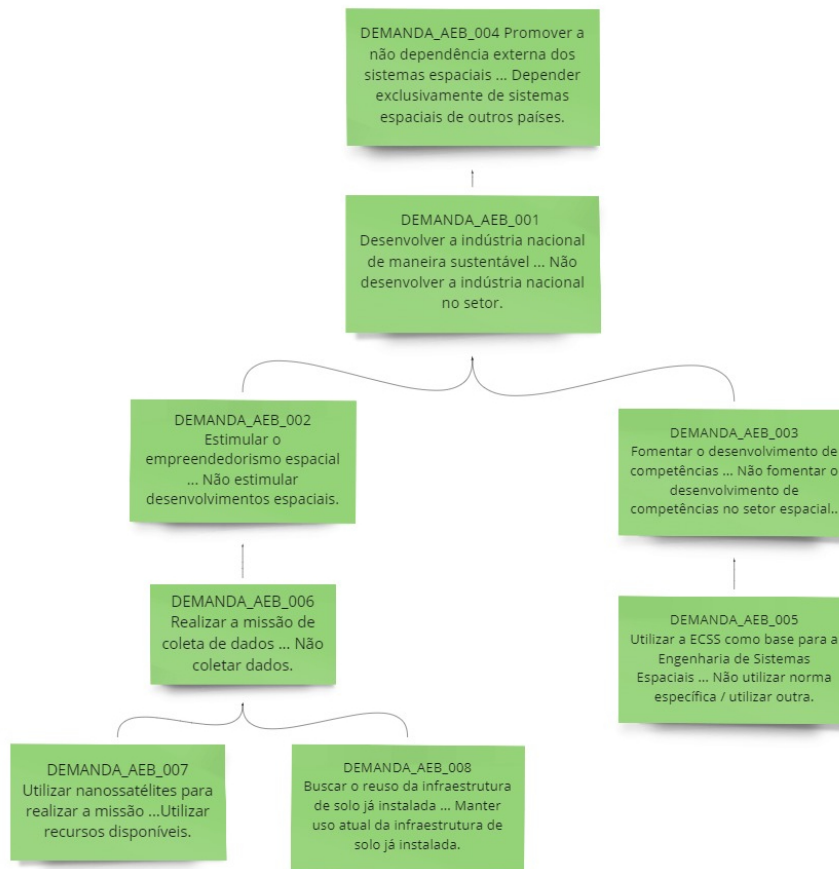
6.2.1 Constelação Catarina: Resultado Etapa 1 - Elicitação das necessidades

Esta Subseção apresenta os resultados da utilização prática das etapas descritas na Seção 6.1.

Constelação Catarina Resultado Etapa 1.a - Pesquisa documental

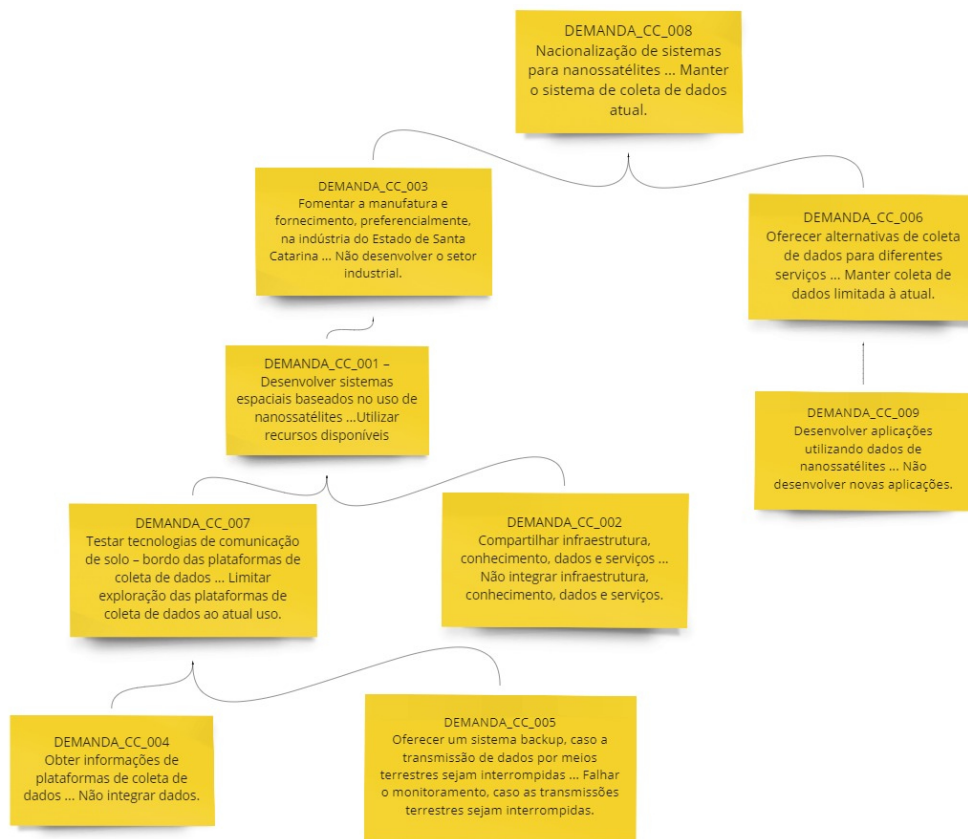
Na Etapa 1, a análise documental realizada gerou uma lista de demandas de cada um dos *stakeholders* que foram então escritas em forma de constructos bipolares [polo afirmativo oposto psicológico] e interligadas hierarquizadas [constructo de cima responde o “por quê” do constructo de baixo, e constructo de baixo responde “como” do constructo de cima], formando os mapas SODA individuais (Figura 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.5, 6.5)

Figura 6.5 - Constelação Catarina demandas da Agência Espacial Brasileira.



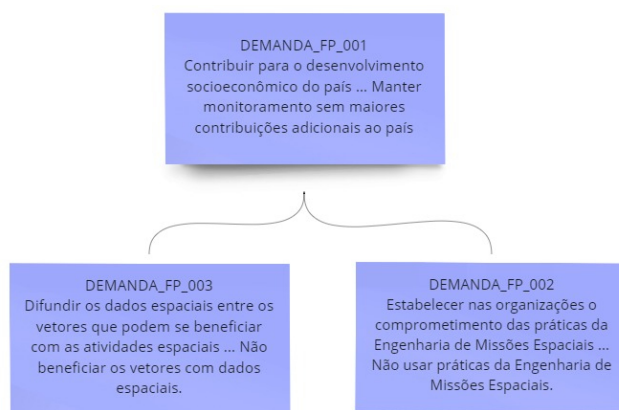
Fonte: Produção da autora.

Figura 6.6 - Constelação Catarina demandas do Consórcio Catarina.



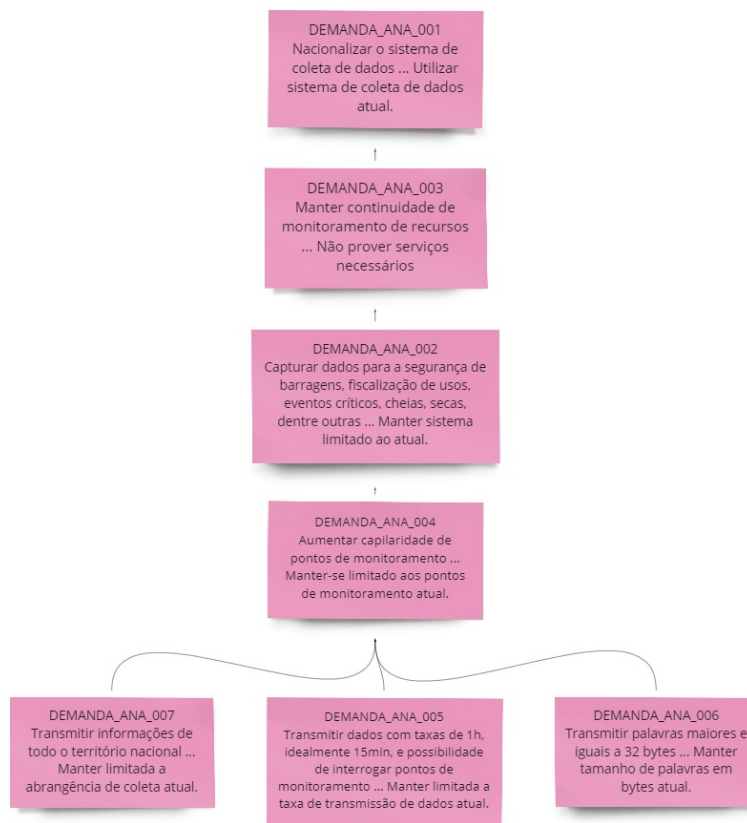
Fonte: Produção da autora.

Figura 6.7 - Constelação Catarina demandas da Frente Parlamentar Mista para o Programa Espacial Brasileiro.



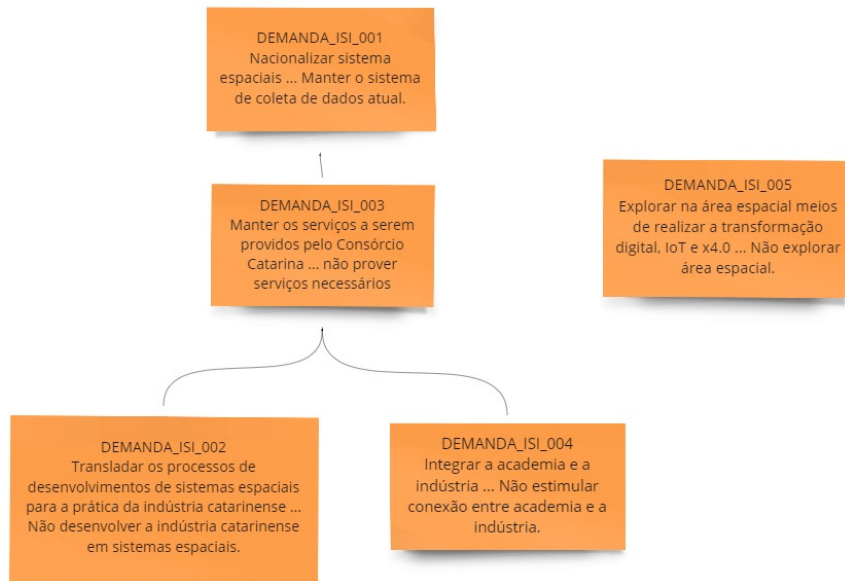
Fonte: Produção da autora.

Figura 6.8 - Constelação Catarina demandas da Agência Nacional de Águas.



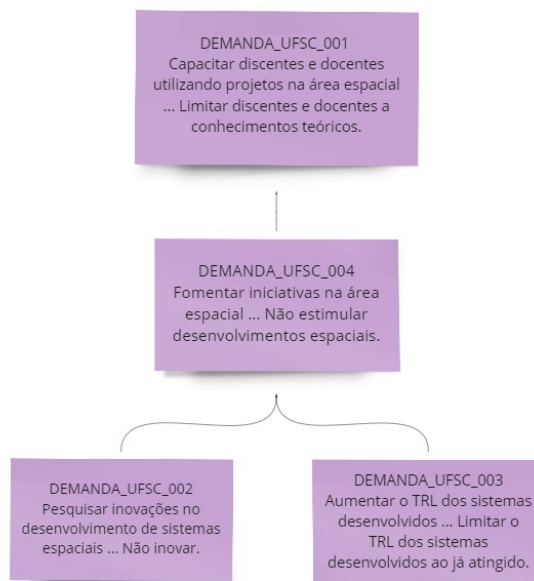
Fonte: Produção da autora.

Figura 6.9 - Constelação Catarina demandas do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina - SENAC ISI.



Fonte: Produção da autora.

Figura 6.10 - Constelação Catarina demandas da Universidade Federal de Santa Catarina.

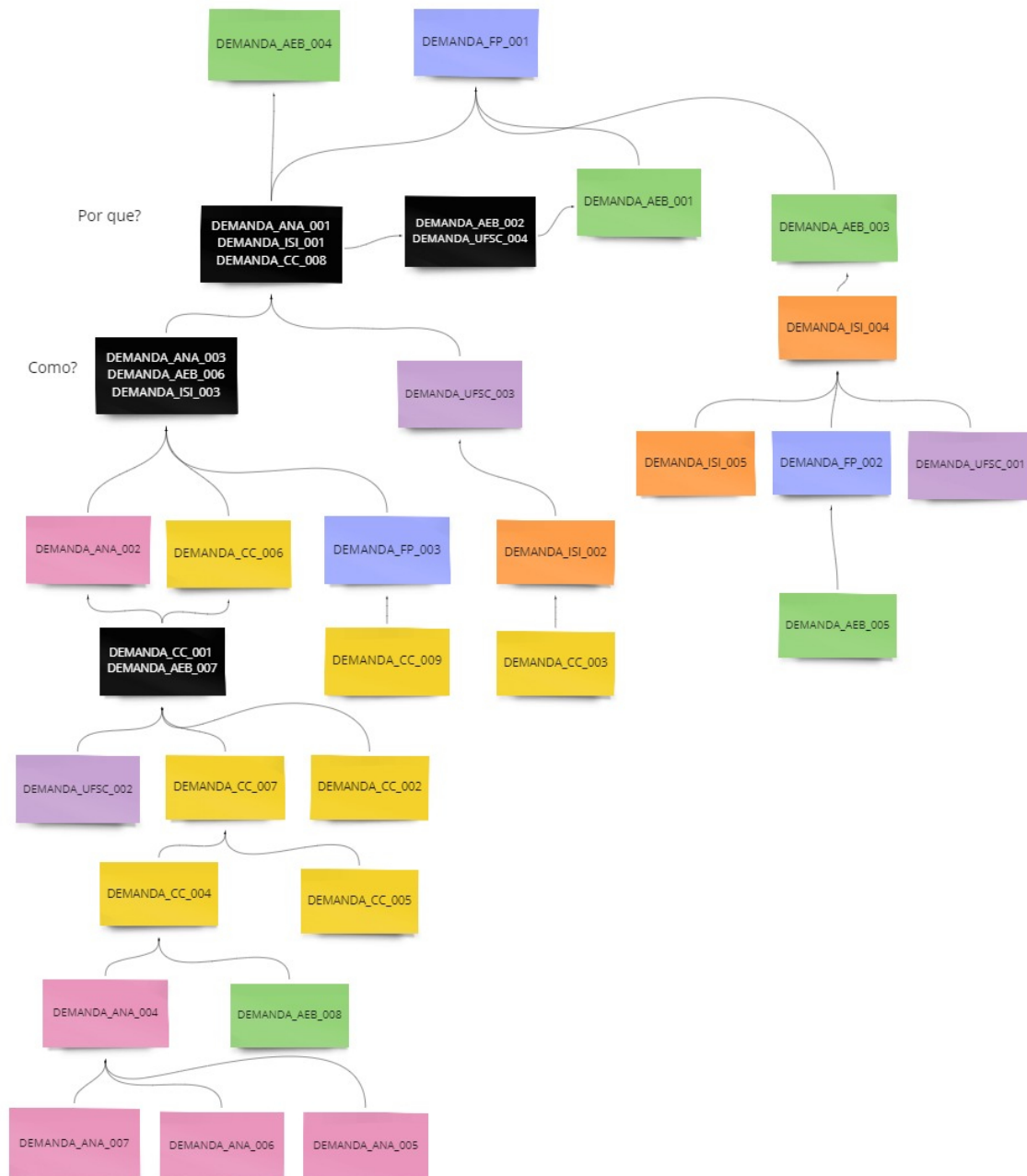


Fonte: Produção da autora.

Constelação Catarina Resultado Etapa 1.b - SODA

Os constructos bipolares foram posteriormente congregados partindo-se dos constructos similares, gerando o mapa SODA congregado (Figura 6.11) seguindo a hierarquização com as perguntas “Por que?” direcionando aos constructos superiores no mapa e “Como?” direcionando as respostas aos constructos inferiores do mapa.

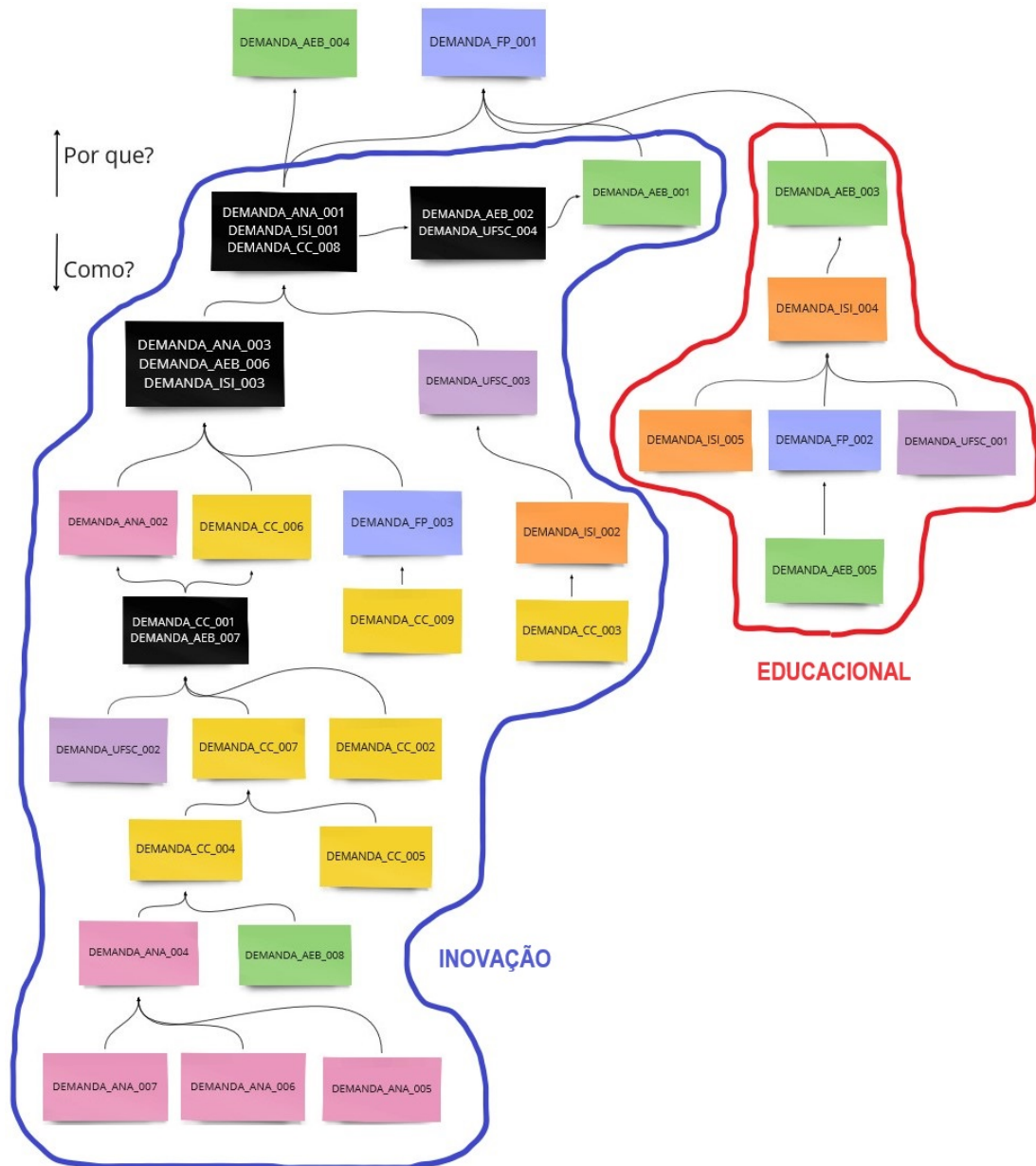
Figura 6.11 - Constelação Catarina - Mapa SODA agregado.



Fonte: Produção da autora.

Com o mapa SODA completo foi possível realizar a sua análise, de duas maneiras: i) delimitação de *clusters* e ii) observação dos constructos cauda, cabeça, implosões, explosões e dominantes.

Figura 6.12 - Análise do mapa SODA - ramos.



Fonte: Produção da autora.

Pôde-se delimitar dois ramos (*clusters*) distintos no mapa SODA do Constelação Catarina, um com demandas que tem aproximação com o tema inovação e outro que demonstra similaridades com o tema educação (Figura 6.12). Esses ramos podem caracterizar dois cenários.

Logo após foi realizada a análise dos constructos da seguinte forma:

- A soma do número de ligações que um constructo tem em sua parte de cima, isto é, de onde partem-se as setas deste constructo para outros, indicaram o grau de explosões (EG).
- A soma do número de ligações que um constructo tem em sua parte de baixo, isto é, de onde veem as setas deste constructo de outros, indicaram o grau de implosões (IG).
- A soma das implosões mais as explosões indicaram o grau de dominância (DG), são constructos muito importantes, principais. Quanto maior o DG, mais importante.
- Os constructos que só recebem setas mas não tem nenhuma seta partindo dele, são constructos denominados Cabeças.
- Os constructos que só tem setas partindo dele mas não recebe nenhuma seta são os constructos denominados Caudas.

Figura 6.13 - Análise do mapa SODA - constructos principais.

		IG	EG	(DG)
objetivo	DEMANDA_ANA_001 / DEMANDA_CC_008 / DEMANDA_ISI_001 Nacionalizar o sistema de coleta de dados.	2	3	5
2a condição (when)	DEMANDA_AEB_007 / DEMANDA_CC_001 Utilizar nanosatélites para realizar a missão.	3	2	5
1a condição (given)	DEMANDA_ANA_003 / DEMANDA_AEB_006 / DEMANDA_ISI_003 Manter continuidade de monitoramento de recursos.	3	1	4
cenário1	DEMANDA_ANA_004 Aumentar capilaridade de pontos de monitoramento.	3	1	4
cenário2	DEMANDA_ISI_004 Integrar a academia e a indústria.	3	1	4
benefício	DEMANDA_FP_001 Contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do país	3	0	3
benefício	DEMANDA_AEB_004 Promover a não dependência externa dos sistemas espaciais.	1	0	1

Fonte: Produção da autora.

A Tabela 6.13 apresenta os constructos principais, a Tabela 6.14 os constructos meios, que são relevantes para este caso, e a Tabela 6.15 os constructos Caudas, que são aqueles que são apenas detalhamento das demandas listadas.

Figura 6.14 - Análise do mapa SODA - constructos meios.

		IG	EG	(DG)
cenário1	DEMANDA_CC_004 Obter informações de plataformas de coleta de dados	2	1	3
cenário1	DEMANDA_CC_007 Testar tecnologias de comunicação de solo – bordo das plataformas de coleta de dados.	2	1	3
cenário2	DEMANDA_UFSC_004 Fomentar iniciativas na área espacial.	1	1	2
cenário1	DEMANDA_AEB_002 Estimular o empreendedorismo espacial.	1	1	2
cenário2	DEMANDA_FP_002 Estabelecer nas organizações o comprometimento das práticas da Engenharia de Missões Espaciais.	1	1	2
cenário1	DEMANDA_FP_003 Difundir os dados espaciais entre os vetores que podem se beneficiar com as atividades espaciais.	1	1	2
cenário1	DEMANDA_ANA_002 Capturar dados para a segurança de barragens, fiscalização de usos, eventos críticos, cheias, secas, dentre outras.	1	1	2
cenário1	DEMANDA_AEB_001 Desenvolver a indústria nacional de maneira sustentável.	1	1	2
cenário2	DEMANDA_AEB_003 Fomentar o desenvolvimento de competências.	1	1	2
cenário1	DEMANDA_CC_006 Oferecer alternativas de coleta de dados para diferentes serviços.	1	1	2
cenário1	DEMANDA_ISI_002 Transladar os processos de desenvolvimentos de sistemas espaciais para a prática da indústria catarinense.	1	1	2
cenário1	DEMANDA_UFSC_003 Aumentar o TRL dos sistemas desenvolvidos.	1	1	2

Fonte: Produção da autora.

Figura 6.15 - Análise do mapa SODA - constructos caudas.

	IG	EG	(DG)
DEMANDA_ANA_005 Transmitir dados com taxas de 1h, idealmente 15min, e possibilidade de interrogar pontos de monitoramento.	0	1	1
DEMANDA_ANA_006 Transmitir palavras maiores e iguais a 32 bytes.	0	1	1
DEMANDA_ANA_007 Transmitir informações de todo o território nacional.	0	1	1
DEMANDA_AEB_005 Utilizar a ECSS como base para a Engenharia de Sistemas Espaciais.	0	1	1
DEMANDA_AEB_008 Buscar o reuso da infraestrutura de solo já instalada.	0	1	1
DEMANDA_CC_002 Compartilhar infraestrutura, conhecimento, dados e serviços.	0	1	1
DEMANDA_CC_003 Fomentar a manufatura e fornecimento, preferencialmente, na indústria do Estado de Santa Catarina.	0	1	1
DEMANDA_CC_005 Oferecer um sistema backup, caso a transmissão de dados por meios terrestres sejam interrompidas.	0	1	1
DEMANDA_CC_009 Desenvolver aplicações utilizando dados de nanosatélites.	0	1	1
DEMANDA_ISI_005 Explorar na área espacial meios de realizar a transformação digital, IoT e x4.0.	0	1	1
DEMANDA_UFSC_001 Capacitar discentes e docentes utilizando projetos na área espacial.	0	1	1
DEMANDA_UFSC_002 Pesquisar inovações no desenvolvimento de sistemas espaciais.	0	1	1

Fonte: Produção da autora.

O resultado da etapa 1 foi um mapa SODA com todas as demandas, de todos os *stakeholders*, hierarquizadas e uma tabela com a análise dos constructos do mapa SODA, que foi subsídio para a etapa 2 da forma descrita na Seção 6.2.2.

Esta etapa gerou um documento que foi validado e utilizado pelo projeto em sua fase inicial na parceria ITA-UFSC. ¹

¹Mapa previamente publicado, parcialmente, na dissertação de mestrado de Logullo (2023).

6.2.2 Constelação Catarina: Resultado Etapa 2 - Descrição das necessidades

Na análise dos mapas SODA pôde-se observar dois grupos (*clusters*) que poderiam ser caracterizados como cenários: Inovação e Educacional. Estes cenários foram detalhados através das histórias dos usuários, compostas por uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do *plugin Capella ScenarioStories*.

A seguinte composição é sugerida para a narrativa e a descrição em história do usuário da multimetodologia, a partir dos dados da análise do mapa SODA:

- O [Como <papel/função>] é composto pelos atores (*stakeholders*);
- O constructo com maior grau de DG e mais acima no mapa SODA que indica o *goal*, na narrativa pode ser representada como o [Quero <ação/meta>];
- O constructo mais acima no mapa SODA que representa o "por quê" de mais alto nível pode ser representado como [Para que <benefício>];
- O demais constructos com maior grau de DG sugere-se podem ser representados como primeira e segunda condições [*given*] e [*when*];
- Os constructos com IG não negativo foram alocados no diagrama em [*it is necessary*];
- Os constructos com IG negativo não foram utilizados pois foi considerado que estes representariam ações, em um nível de detalhamento que parte para a fase de solução, e as necessidades que estamos descrevendo concentram-se na fase do problema.

Histórias de usuários (*User-stories*)

As Figuras 6.16 e 6.17 descrevem o caso Catarina, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*)

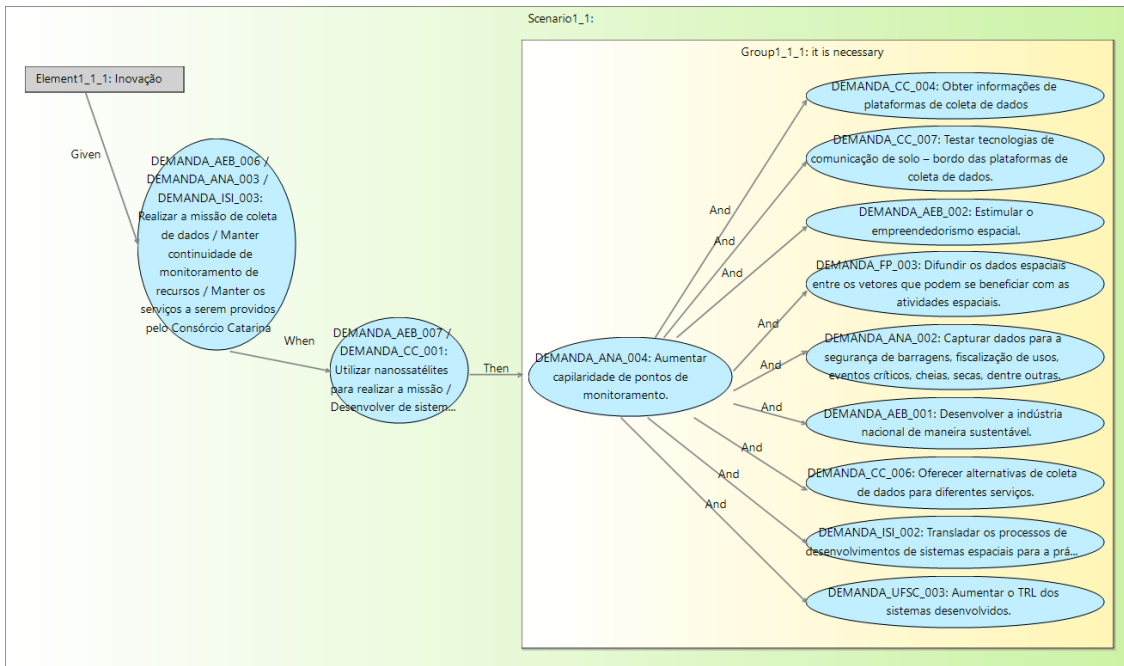
Narrativa:

Como <papel/função> Consorcio Catarina (FP, ANA, CC, ISI, AEB e UFSC).

Quero <ação/meta> a nacionalização de Sistemas Espaciais.

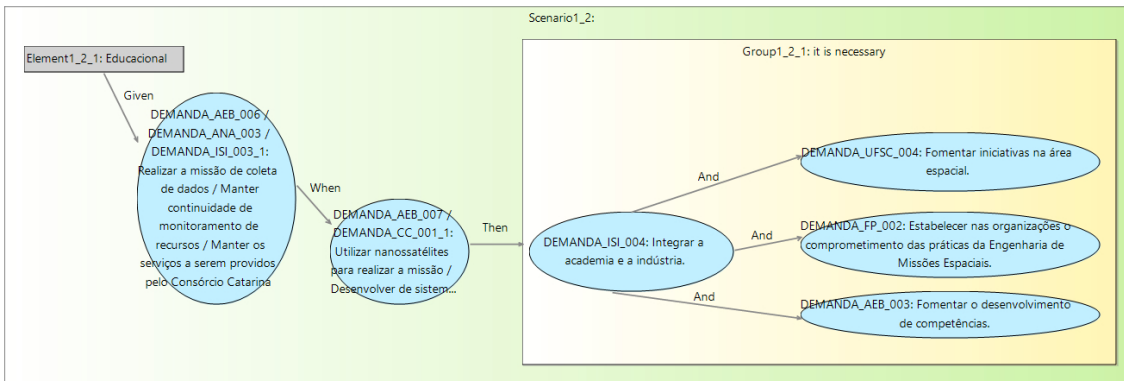
Para que <benefício> possa promover a não dependência externa dos sistemas espaciais e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do país.

Figura 6.16 - Cenário 1 Constelação Catarina - Inovação.



Fonte: Produção da autora.

Figura 6.17 - Cenário 2 Constelação Catarina - Educação.



Fonte: Produção da autora.

6.2.3 Constelação Catarina: Resultado Etapa 3 - Conceito de Operação

A etapa 3 da multimetodologia aplicada ao Constelação Catarina é semelhante a aplicação anterior SIMUA, assim, para efeito acadêmico não seria necessária sua aplicação para repetição.

Como resultado desta etapa tem-se dois tipos de diagramas de Engenharia de sistemas no ambiente Capella: Diagramas de Casos de uso e Diagramas de Sequência.

Todos os modelos construídos com estes dois tipos de diagramas irão compor o Conceito de Operação do Sistema (ConOps) no domínio do problema.

6.3 Passos para aplicação em outros projetos

Os três estágios definidos para aplicação da multimetodologia proposta nesta tese são:

- Etapa 1) Elicitação das necessidades - PSM;
- Etapa 2) Descrição das necessidades - *ScenarioStories*; e
- Etapa 3) Conceito de Operação - MBSE.

6.3.1 Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 1 - utilizando como PSM mapas SODA para a Elicitação das necessidades

Na etapa 1 da multimetodologia é proposta uma estruturação do problema para auxílio à elicitación das necessidades. Utilizando como PSM os mapas SODA são definidos dois passos para esta etapa:

- Etapa 1.a) Pesquisa documental e
- Etapa 1.b) SODA.

Elicitación das necessidades Etapa 1.a - Pesquisa documental

Para aplicação similar em outros projetos o importante nesta fase é:

- i) identificar *stakeholders* iniciais;
- ii) pesquisar documentos relacionados aos projetos pela *internet* e através dos próprios *stakeholders*;
- iii) gerenciar toda informação coletada.

Elicitação das necessidades Etapa 1.b - SODA

Para aplicação similar em outros projetos recomenda-se para esta fase:

- i) criar mapas SODA individuais de cada *stakeholder*. Estes podem ser construídos a partir de entrevistas ou de documentos já existentes;
- ii) colocar em cada um dos conceitos o seu polo oposto, que auxilia na compreensão e hierarquização como constructos;
- iii) organizar em uma tabela todos os constructos para encontrar demandas abrangentes que possam ser representadas por uma mesma;
- iv) criar um mapa congregado;
- v) validar o mapa congregado, tendo assim o mapa validado chamado de mapa agregado;
- vi) realiza as análises SODA.

6.3.2 Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 2 - Descrição das necessidades

Para aplicação similar em outros projetos, o recomendado nesta fase é:

- i) ter um facilitador para orientar o processo e a confecção dos diagramas *ScenarioStories* (no *software* Capella, se desejado);
- ii) escrever as *user-stories* com a estrutura: Título e Narrativa (papel *<role>*, objetivo *<goal>* e benefício *<benefit>*) que vai auxiliar a entender melhor o contexto;
- iii) procurar identificar, com a confecção dos diagramas, por fim as necessidades.

6.3.3 Passos para aplicação em outros projetos na Etapa 3 - Conceito de Operação

Para aplicação similar em outros projetos o recomendado nesta fase é:

- i) ter um facilitador com conhecimento em modelagem de sistemas, Engenheiro de sistemas desenvolvedor;
- ii) listar as entidades;
- iii) pensar as atividades relacionando-as às entidades;
- iv) consolidar as informações nos modelos;
- v) compartilhar a modelagem com a equipe de desenvolvimento do sistema para sequência da Engenharia de Sistemas.

7 DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentadas algumas discussões sobre a multimetodologia proposta à luz do estado da arte.

A multimetodologia artefato desta tese é composta de três etapas:

Etapa 1) Elicitação das necessidades, utilizando Métodos de Estruturação de Problemas (PSM);

Etapa 2) Descrição das necessidades; utilizando Histórias de usuários da Metodologia Ágil - BDD

Etapa 3) Conceito de Operação - modelagem do conceito de operação com MBSE.

Ela foi aplicada em dois exemplos, a título de experimentar se as proposições eram válidas.

As diferenças nas aplicações concentraram-se fundamentalmente na primeira etapa da multimetodologia, onde é sugerida a utilização de Métodos de Estruturação de Problemas distintos, adaptados ao contexto de sua aplicação.

A aplicação em dois exemplos foi proposital para que se pudesse mostrar que podem ser utilizados diferentes Métodos de Estruturação de Problemas, e que a escolha de qual será mais apto a contribuir nesta fase vai depender do contexto de uso de acordo com Tabela 2.1, sendo útil para isto o conhecimento da diversidade de métodos PSMs.

Para a segunda e terceira fases foram utilizados os mesmos passos e ferramentas nos dois exemplos de aplicação. Mas é válido enfatizar que a proposta da multimetodologia tem por essência que estas etapas também sejam livres para utilizar outros métodos e ferramentas diversas tanto para a descrição das necessidades quanto para a modelagem à escolha dos Engenheiros de Sistemas, modeladores e facilitadores do processo.

Em suma:

- Todas as etapas poderiam utilizar outros métodos e ferramentas, escolhidos de acordo com as informações que almeja-se coletar e os recursos disponíveis.
- Para a etapa 2 poderia ser utilizado indistinto auxílio computacional que facilitasse a confecção dos *systemigrams*
- Na etapa 3 poderia ser usada ferramenta de modelagem de Engenharia de Sistemas diversa.
- O *plugin Capella ScenarioStories* desenvolvido para esta tese, permitiu retratar as

histórias de cada caso de uso completo, mas também pode ser utilizado para outros fins.

A proposta multimetodologica elaborada nesta tese diferencia-se da forma atual de desenvolvimento de sistemas complexos ao formalizar uma sequência de etapas que orientam a aplicação da Engenharia de Sistemas desde o início na percepção de um problema e idealização inicial de um sistema. Amplia a atenção às fases iniciais na Definição do Problema com a elicitación e descrição formal das necessidades dos *stakeholders*, valorizando o contato com os interessados no desenvolvimento e prezando pela mais congruente tradução escrita da expressão mental dos envolvidos acerca do esperado, reduzindo os custos e dispêndios de recursos em projetos errôneos e sub ou superdimensionados.

Ademais a multimetodologia conquista informações para compor o Conceito de Operações para a correta demonstração do esperado pelo sistema e a facilitação da modelagem em MBSE que são, como mostrado na pesquisa do estado da arte, a tendência na concepção dos atuais sistemas complexos.

7.1 Multimetodologia proposta na engenharia de sistemas

A multimetodologia proposta vem em auxílio à elicitación de necessidades dos *stakeholders* nas fases iniciais do desenvolvimento de sistemas complexos. A abordagem combina Métodos de Estruturação de Problemas (PSM), Histórias de Usuários, e *Model-Based Systems Engineering* (MBSE) para criar uma compreensão holística das necessidades dos usuários.

O encadeamento deste conjunto de metodologias de uma forma sequencial foi o grande *insight* desta tese. Perceber o sequenciamento de atividades necessárias para um abrangente levantamento de necessidades e sugerir uma nova forma de ser feito, sem excluir a forma tradicional, porém adicionando sugestões que venham a contribuir para a escuta e validação mais próxima aos *stakeholders* vem em encontro de assertividade na execução da Engenharia dos Sistemas e redução de dispêndios futuros.

Além disto, como observada na pesquisa bibliográfica da tese, muitas vezes não são encontradas descrições dos passos para a execução desta fase inicial da Engenharia de Sistemas, são encontradas geralmente citações das etapas em alto-nível, ficando muito a cargo da experiência profissional dos especialistas na área de interesse e

causando algumas vezes desinteresse na execução da Engenharia de Sistemas como abordagem ao desenvolvimento de sistemas.

A justificativa para a seleção dessas metodologias reside na sua complementaridade: os PSM proporcionam uma base sólida para identificar e analisar problemas complexos, as Histórias de Usuários facilitam a comunicação de necessidades específicas de forma clara e concisa, e o MBSE oferece um *framework* robusto para a descrição detalhada dos conceitos de operação.

7.2 Multimetodologia proposta na engenharia de sistemas baseada em modelos

O uso de Engenharia de Sistemas baseada em Modelos dentro da multimetodologia foi proposto para a descrição das necessidades em Histórias de usuários e a subsequente representação sistemática dos conceitos de operação.

A descrição das Histórias de usuários no próprio ambiente de modelagem foi um adicional aos desenvolvedores dos modelos nos exemplos de aplicação da tese, por já introduzir as necessidades na modelagem foi observada a coerência dos passos, a importância de um exaustivo levantamento das necessidades para a completude dos diagramas, e para os futuros passos que levarão à definição do conceito de operação, definição dos requisitos e definição do sistema, além de propiciar a eles uma visualização ampla e facilitar a validação com os *stakeholders*.

A criação do *plugin ScenarioStories* propicia a visualização da descrição das histórias de usuários, além de poder ser utilizado para eventuais descrições de sistemas em geral como diagramas de sistemas *systemigrams*.

A abordagem baseada em modelos é reconhecida por sua capacidade para capturar, modelar e analisar requisitos complexos de sistemas de maneira eficiente e eficaz. A habilidade em facilitar a comunicação entre as partes interessadas e em promover uma compreensão compartilhada do sistema proposto, o que é essencial para a identificação precisa das necessidades.

Outro ponto relevante é a utilização de modelos em contrapartida à documentação formal visa trazer agilidade e possibilidade de revisitas menos engessadas no processo de gestão do conhecimento.

7.3 A multimetodologia proposta e outros métodos de elicitação de necessidades

A título de comparação entre a multimetodologia proposta e outras abordagens de elicitação de necessidades na Engenharia de Sistemas, nesta tese abrangem-se uma extensa revisão de artigos e de *sites*, em especial no domínio aeroespacial por definição de escopo de interesse da tese. Foi encontrada nesta revisão a utilização de métodos não formais, principalmente utilizando abordagem não estruturadas aos *stakeholders*, com maior citação a reuniões de *brainstorming* e entrevistas.

Na pesquisa de termos ligados a elicitação de necessidades de *stakeholders* com uso de Métodos de Estruturação de problemas em domínio geral foram encontrados artigos com sugestões de outros métodos, modelagem participativa e principalmente SSM e também outros como SODA, análise de robustez, DPSIR, mapeamento causal, mapas cognitivos *fuzzy* e VFT.

A contribuição da multimetodologia na tese em relação aos métodos de elicitação de necessidades diz respeito à possibilidade de uso de diferentes métodos de estruturação de problemas na primeira etapa da proposta ainda traz uma adaptabilidade, ao possibilitar a escolha do método apropriado ao contexto que se tem, tais como, complexidade do problema, equipes de trabalho grandes ou enxutas, disponibilidade da equipe, diferentes recursos de tempo possível à esta fase, maior ou menor profundidade para a assertividade desejada.

A multimetodologia proporciona uma abrangência na identificação das necessidades e na descrição das necessidades obtidas.

Argumenta-se que a abordagem multimetodológica, pela sua natureza integrativa, oferece vantagens significativas em termos de profundidade na compreensão das necessidades em comparação com métodos habituais descritos.

7.4 Relação da multimetodologia proposta com as Histórias dos usuários e Linguagem Natural Controlada

A utilização de Histórias de Usuários dentro da multimetodologia facilita a descrição das necessidades dos *stakeholders* em alusão a uma Engenharia de Sistemas Ágil

utilizando técnicas de Desenvolvimento Ágil. Trata-se de uma história ouvida, interpretada e transcrita pelo facilitador advinda dos *stakeholders* com um título e uma descrição com papel, objetivo e benefício, isto compõe a descrição das necessidades.

As necessidades assim modeladas podem ser facilmente apresentadas visualmente aos interessados pelo sistema e eles concordarem ou reformularem quando não corresponderem ao seu padrão mental e assim necessitarem de uma nova forma de falar para que o ouvinte interprete corretamente.

As Histórias de usuários de maneira padronizada pôde ser modelada através de uma Estrutura da Linguagem Natural Controlada. Isto é, utilizando padrões que reduzam o repertório de interpretação, com os *boillierplates*: *<given>*, *<when>*, *<then>* e *<and>*.

O uso do *plugin ScenarioStories* contribui para esta descrição e espera-se que este possa ser aprimorado futuramente para gerar um banco de necessidades que possa ser interligado automaticamente aos requisitos. Este foi um motivo adicional para o uso de Linguagem Natural Controlada conjecturar que isto facilitará a interpretação pelo sistema de informação.

7.5 Contribuições da multimetodologia proposta para o estado da arte em elicitação de necessidades

A multimetodologia proposta nesta tese proporciona como contribuição para o estado da arte em elicitação de necessidades na Engenharia de Sistemas: uma formalização explícita de etapas que auxiliam a aplicabilidade da Engenharia de Sistemas desde sua fase inicial de Definição do Problema.

Outra contribuição é o olhar atento aos *stakeholders* como colaboradores contínuos ao processo de desenvolvimento e donos do conhecimento necessário para a definição do que se espera com a construção de um sistema.

A capacidade da multimetodologia em facilitar a comunicação e compreensão mútua entre as partes interessadas é enfatizada como um aspecto chave para o sucesso do desenvolvimento de sistemas.

Para esta aproximação aos interessados, os métodos de Estruturação de Problemas detêm conjuntos de ferramentas adequadas já utilizadas para elicitação de necessi-

dades em diferentes domínios, assim a contribuição da multimetodologia proposta se dá ao contexto da Engenharia de Sistemas.

A intersecção destas duas áreas de pensamento sistêmico, a Engenharia de Sistemas e a Pesquisa Operacional, eventualmente são citadas em aplicações da *Soft Systems Methodology* (SSM) mas esta tese incentiva o uso de outros Métodos de Estruturação de Problemas, sugerindo que todos podem ser úteis em diferentes espectros de atuação.

Também, a incorporação das Histórias de Usuários e Linguagem Natural Controlada para descrição das necessidades vem ao encontro das novas práticas de padronização de linguagem para a interpretação por recursos computacionais com a crescente da inteligência artificial.

Sabe-se que muitos dos projetos de sistemas complexos contam essencialmente com a experiência dos especialistas, que conhecem tanto dos sistemas que algumas vezes partem para a solução e definições sem o completo entendimento das peculiaridades de cada problema, construindo sistemas incríveis que por vezes não atendem por completo as expectativas ou, ao contrário, se superpõem ao esperado tendo com isto gastos de recursos a mais desnecessários. Na proposta multimetodológica o conhecimento do especialista ainda é fundamental para todas as definições e para a correta modelagem mas ela visa anteceder as preocupações para definição do problema que podem economizar recursos muitas vezes limitados e retrabalho.

Também uma vez que o conhecimento encontra-se com o especialista a transmissão pode ser perdida, assim, a formalização de uma maneira didática para aplicação da Engenharia de Sistemas com passos mais detalhados porém com grau de liberdade para adaptações e para a gestão de conhecimento adquirido nos projetos é muito benéfica.

Adicionando o uso de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos, conquista-se um ganho potencial na gestão de conhecimento, validação e reconfiguração desde as definições iniciais, além da possibilidade de reaproveitamento de partes de outros projetos similares.

Uma multimetodologia tem por si a contribuição da flexibilidade, uma vez que utiliza o melhor de diferentes abordagens, métodos e ferramentas adaptadas ao que se é preciso. Nesta tese a multimetodologia propõe de forma flexível auxiliar a elicitação de necessidades de modo que esta fase não seja relevada.

7.6 Lições aprendidas com a aplicação da multimetodologia

Lições aprendidas com a Aplicação I - SIMUA

Nas reuniões para construção das figuras-ricas, a equipe percebeu que uma descrição para cada 'Caso de Uso' poderia propiciar um maior entendimento das definições iniciais dos *stakeholders*.

Os participantes das dinâmicas de construção das figuras-ricas se mantiveram engajados e relataram sentir-se livres para expressar seus pontos de vista e perceber que suas ideias foram utilizadas.

Outra percepção foi a promoção do envolvimento da equipe, entre os integrantes e com o projeto, conseguindo captar o interesse no desenvolvimento e compreender melhor o sistema esperado.

Para o facilitador, que nesta aplicação foi a autora desta tese, foram exigidas algumas habilidades, tais como, capacidade de atrair o interesse inicial dos participantes pela metodologia que seria aplicada, capacidade de intervir com comunicação não-violenta para dissociar conversas paralelas que poderiam extrapolar o tempo sem cortar o processo criativo e uso do conhecimento em Pesquisa Operacional Comportamental para detectar e agir para evitar vieses que pudessem comprometer a participação de todos participantes.

Uma das vantagens das figuras-ricas notoriamente foi a oportunidade de manter toda a informação documentada de forma visual de fácil compreensão e que pode ser revisitada a qualquer momento.

Lições aprendidas com a Aplicação II - Constelação Catarina

A análise documental é um trabalho que dispense grande tempo de dedicação, que poderia ser minimizado por entrevistas diretas com os *stakeholders*. Porém, foi salutar como exemplo este caso de estudo onde não se tinha acesso direto aos grupos de interessados, para justamente perceber que a metodologia deve ser moldada aos recursos disponíveis.

Os mapas cognitivos/SODA se mostraram uma ferramenta de visualização holística que facilita acordos e mudanças pelos *stakeholders* e/ou responsáveis pelo projeto.

7.7 Contribuições da tese

Podemos mencionar algumas contribuições teóricas, práticas, metodológicas e didáticas da tese.

Em aderência a abordagem de pesquisa adotada para esta tese a *Design Science Research* tem-se:

Como contribuição principal da tese a criação de um artefato: uma multimetodologia que possa ser aplicada no mundo real para melhorar o processo de desenvolvimento de sistemas complexos - uma contribuição aplicável.

Como contribuições para a base de conhecimento:

Podemos considerar que temos como contribuição teórica, a expansão do conhecimento em Elicitação de Necessidades, uma vez que a tese contribuiu para o corpo teórico da Engenharia de Sistemas ao explorar os diferentes métodos para a elicitacão de necessidades, abordando lacunas na literatura existente sobre abordagens integrativas e sistêmicas.

A proposta de uma abordagem multimetodológica na elicitacão de necessidades representa uma inovação metodológica, sugerindo uma nova maneira de combinar Métodos de Estruturação de Problemas, Histórias de Usuários e MBSE.

A tese contribui para a metodologia de Engenharia de Sistemas uma adaptabilidade metodológica ao demonstrar como diferentes métodos e ferramentas podem ser escolhidos e adaptados conforme o contexto específico do projeto, enriquecendo o repertório metodológico disponível para os profissionais da área.

A tese oferece como contribuição didática, um modelo didático para o ensino da elicitacão de necessidades em Engenharia de Sistemas, fornecendo uma base estruturada para a educação formal e o treinamento profissional nesse campo.

Ao integrar conceitos de Engenharia de Sistemas, Pesquisa Operacional Comportamental e Desenvolvimento Ágil, a tese contribui para a educação interdisciplinar, promovendo um entendimento mais holístico da elicitacão de necessidades.

Como contribuição de aplicação no ambiente:

Os dois exemplos de uso tiveram relatos reais de satisfação pelos seus *stakeholders* que notaram uma elicitación mais abrangente das necessidades de usuários e a detecção de pontos que não tinham surgido na documentação prévia e poderiam passar despercebidas.

A melhoria na comunicação e colaboração entre os interessados no sistema ao facilitar a comunicação e a compreensão mútua entre *stakeholders* e desenvolvedores, a multimetodologia proposta fornece um meio prático para aprimorar a colaboração no processo de desenvolvimento de sistemas.

O desenvolvimento do *plugin Capella ScenarioStories* representa contribuição prática significativa, oferecendo uma ferramenta concreta para os profissionais da área.

A abordagem proposta oferece uma multimetodologia flexível que pode ser adaptada a diferentes contextos e projetos, demonstrando sua utilidade prática em facilitar a elicitación de necessidades em uma variedade de situações.

Em resumo, a tese oferece contribuições significativas em várias dimensões, desde a expansão teórica e a inovação metodológica até aplicações práticas e avanços didáticos, impactando positivamente a prática da Engenharia de Sistemas e áreas relacionadas.

7.8 Limitações

Recurso e tempo de implementação: A abordagem integrativa, embora robusta, pode exigir mais recursos e tempo de implementação em comparação com métodos mais simplificados. Este aspecto pode limitar sua adoção em projetos com restrições rigorosas de tempo.

A eficácia da multimetodologia pode ser significativamente influenciada pela habilidade do facilitador em aplicar os métodos de estruturação de problemas e conduzir sessões de elicitación.

Embora a multimetodologia tenha sido testada em dois exemplos, sua aplicabilidade a uma gama mais ampla de projetos e contextos e complexidades de projeto

permanece um aspecto a ser explorado para uso em domínios diferentes. Também seria enriquecedor poder detalhar, tal qual foram detalhados os métodos SODA e SSM, outros métodos tão úteis e promissores quanto, para maior incentivo ao uso de PSMs.

A necessidade de adaptação às especificidades de cada projeto e a recusa de inovação de algumas das empresas ou equipes podem representar barreiras à sua implementação, especialmente em organizações com práticas estabelecidas.

Em suma, enquanto a tese apresenta contribuições significativas para a elicitação de necessidades na Engenharia de Sistemas, reconhecendo a importância da comunicação, da flexibilidade metodológica e da integração de abordagens, as limitações identificadas destacam espaço para aprimoramento da abordagem proposta e para o convencimento das vantagens de implementá-la em novos projetos.

8 CONCLUSÃO

Esta tese abordou a elicitação das necessidades dos *stakeholders* nas fases iniciais da Engenharia de Sistemas.

Através da concepção, desenvolvimento e aplicação de uma multimetodologia inovadora, este estudo proporcionou *insights* significativos e avanços metodológicos, contribuindo tanto para a teoria quanto para a prática na área de Engenharia de Sistemas.

Os objetivos propostos foram alcançados mediante uma abordagem rigorosa que combinou revisão de literatura, desenvolvimento de metodologia e aplicação em exemplos reais de uso.

A multimetodologia proposta, que integra Métodos de Estruturação de Problemas, Histórias de Usuários e MBSE, demonstrou ser uma ferramenta para a elicitação de necessidades, como evidenciado pelos dois exemplos de aplicação.

Em resposta à hipótese de pesquisa desta tese:

Sim, os Métodos de Estruturação de Problemas podem auxiliar a identificar e formalizar as necessidades dos *stakeholders* no início do processo de Engenharia de Sistemas através de uma multimetodologia para este fim flexível porém robusta.

8.1 Atingimento dos objetivos

Em atendimento ao objetivo inicial desta tese, foi concebida uma multimetodologia para auxílio à elicitação das necessidades dos *stakeholders*, fundamentada nos conhecimentos adquiridos no decorrer do período de pesquisa para a elaboração desta tese.

Em atendimento aos objetivos secundários da tese:

i) Foram apresentados alguns Métodos de Estruturação de Problemas e espera-se com tal, despertar o interesse dos leitores desta tese em conhecer outros e incentivá-los à integração nas práticas de Engenharia de sistemas.

A utilização de Métodos de Estruturação de Problemas foi útil para uma maior exploração das informações disponíveis e dos recursos humanos e uma compreensão sistemática das necessidades dos usuários.

ii) A linguagem natural controlada com a descrição de casos de usuários como critérios de aceitação, assim como na metodologia ágil, relacionando a captura das narrativas com a formalização da análise da situação atual, promoveu uma padronização que auxilia nas etapas seguintes da Engenharia de Sistemas.

iii) Foram apresentados dois exemplos de aplicação da multimetodologia proposta, nos projetos reais, SIMUA e Consórcio Catarina.

8.2 Contribuições da tese

Substancialmente as contribuições da tese a considerar são:

- Criação de um artefato: uma multimetodologia;

Combinação de Métodos de Estruturação de Problemas, Histórias de Usuários e MBSE (Vide Capítulo 4 - Figura 4.2);

- Criação de uma paleta adicional para o ambiente de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos - *plugin ScenarioStories Capella/Arcadia* (Vide Capítulo 4 - Figura 4.3);

- Expansão do conhecimento em Elicitação de Necessidades na Engenharia de Sistemas;

- Enriquecimento do repertório metodológico, mostrando a adaptabilidade de métodos e ferramentas;

- Elicitação abrangente das necessidades;

- Aprimoramento da comunicação e entendimento mútuo entre *stakeholders* e desenvolvedores.

8.3 Relevância, utilidade, aplicabilidade, generalidade e originalidade da tese

Relevância

A relevância da tese está diretamente ligada à importância do tema central para o campo da Engenharia de Sistemas. A elicitação de necessidades é um processo fundamental no desenvolvimento de sistemas complexos, afetando diretamente a qualidade, a assertividade e o sucesso do projeto. Ao abordar as lacunas e desafios existentes na elicitação de necessidades, especialmente no que se refere à integração

de métodos e a consideração de aspectos comportamentais, a tese atende a uma necessidade crítica da disciplina, tornando-a altamente relevante para acadêmicos e profissionais.

Utilidade

A utilidade da tese é evidenciada pela capacidade de oferecer soluções práticas para problemas enfrentados por profissionais da Engenharia de Sistemas. A proposta de uma multimetodologia para a elicitación de necessidades não apenas fornece uma nova ferramenta teórica, mas também se traduz em melhorias tangíveis na prática, como aprimoramento da qualidade da informação coletada e aumento da eficiência do processo de desenvolvimento. A inclusão de um *plugin* ao Capella, aumenta ainda mais a utilidade prática da pesquisa.

Aplicabilidade

A aplicabilidade da tese refere-se à capacidade de ser implementada em diversos contextos de projeto dentro da Engenharia de Sistemas. Embora a multimetodologia proposta tenha sido desenvolvida e testada em cenários específicos aeroespaciais, sua estrutura flexível e adaptável sugere que ela pode ser ajustada para atender às necessidades de uma ampla gama de projetos, desde pequenas iniciativas até grandes sistemas.

Generalidade

A generalidade da tese é uma medida de quão amplamente as descobertas e contribuições podem ser aplicadas. A multimetodologia é genérica de modo que pode ser utilizada no desenvolvimento de qualquer tipo de sistema e com diferentes configurações, desde a escolha de qual Método de Estruturação de Problemas será mais propício até qual modelagem de sistemas será utilizada.

Originalidade

A originalidade da tese reside na proposta inovadora de combinar Métodos de Estruturação de Problemas, Histórias de Usuários e *Model-Based Systems Engineering* (MBSE) em uma única abordagem multimetodológica. Essa integração representa uma novidade no campo da Engenharia de Sistemas, abordando lacunas identificadas na literatura e oferecendo novas perspectivas para o processo de elicitación de necessidades focando em harmonizar a equipe de desenvolvimento e os *stakeholders* em um esforço colaborativo para compreensão máxima das necessidades da con-

cepção do sistema, e documentação flexível com rastreabilidade e acessibilidade aos envolvidos no projeto para eventuais mudanças ou atualizações ao longo do desenvolvimento, prévias às definições de sistema, que irão aproximar ainda mais o sistema do desejado. Além disso, a consideração explícita de fatores comportamentais na elicitación das necessidades dos *stakeholders* e o desenvolvimento de ferramentas práticas específicas, como o *plugin* mencionado, sublinham a originalidade e a inovação da pesquisa.

Para divulgação científica foram publicados artigos e houveram participações em congressos com resultados parciais e ideias correlatas provenientes do desenvolvimento da tese. (Vide [Anexo A](#)):

- *Experiences with using EARS for stakeholder requirements development of the safe integration of unmanned aircrafts in the airspace project* ([BARROS et al., 2024](#))

Artigo publicado na Revista Observatório de La Economia Latinoamericana.

Classificação Qualis: conceito A4 na Engenharia III – Qualis 2017-2020.

- Utilização de métodos de estruturação de problemas na definição da missão de sistemas: Uma tese em consolidação ([CARDOSO et al., 2022](#)).

Artigo apresentado no Congresso Brasileiro de Sistemas (CBS).

- Pesquisa operacional comportamental na engenharia de sistemas espaciais ([CARDOSO et al., 2021](#)).

Artigo apresentado no 12^o *Workshop* em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE).

- *Identification and classification of stakeholders needs using Dialogue Mapping and AHP-sort* ([CARDOSO et al., 2020](#)).

Artigo apresentado no INSID INnovation for Systems Information and Decision meeting.

- Participação feminina no CubeDesign: uma competição latino-americana para desenvolvimento de nanossatélites ([CARDOSO et al., 2020](#)).

Poster apresentado no Simpósio Brasileiro Mulheres em STEM (SMSTEM)).

- Modelo para seleção de portfólio de projetos de cubesats ([CARDOSO et al., 2021](#)).

Artigo apresentado no 11^o *Workshop* em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE).

8.4 Trabalhos futuros

Finalizando a tese sugere-se algumas ideias para trabalhos futuros:

- Explorar a aplicabilidade e a eficácia da multimetodologia proposta em uma variedade maior de contextos de projetos e outros domínios;
- Desenvolver uma integração automatizada dos diagramas do *plugin Capella ScenarioStories* com os modelos Arcadia já presentes na ferramenta Capella;
- O desenvolvimento do *plugin* para esta tese despertou a inspiração de, com o conhecimento adquirido em desenvolvimento de *plugins*, criar novos *add-ons* para outros métodos de estruturação de problemas;
- Implementar a multimetodologia em outras ferramentas MBSE;
- Integrar inteligência artificial e aprendizado de máquina para refinar e personalizar a abordagem de elicitação de necessidades baseada no histórico de projetos e *feedback* dos usuários;
- Avaliar a influência dos vieses cognitivos e comportamentais e como fatores culturais e organizacionais podem interferir na implementação e eficácia da multimetodologia;
- Estudar a colaboração interdisciplinar na elicitação de necessidades, explorando como profissionais de outras áreas, tais como a psicologia, poderiam contribuir;
- Explorar o uso de PSMs à outras fases do ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas;
- Investigar o impacto da multimetodologia na evolução dos sistemas ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUABARA, L.; PAUCAR-CACERES, A. Surveying applications of strategic options development and analysis (SODA) from 1989 to 2018. **European Journal of Operational Research**, v. 292, n. 3, p. 1051–1065, 2021. 41
- ACKERMANN, F.; EDEN, C. Strategic management of stakeholders: theory and practice. **Long Range Planning**, v. 44, n. 3, p. 179–196, 2011. 5
- _____. Strategic options development and analysis. In: REYNOLDS, S. H. M. (Ed.). **Systems approaches to making change: a practical guide**. London: Springer, 2020. p. 139–199. 29, 38
- ACKERMANN, F.; HOWICK, S.; QUIGLEY, J.; WALLS, L.; HOUGHTON, T. Systemic risk elicitation: using causal maps to engage stakeholders and build a comprehensive view of risks. **European Journal of Operational Research**, v. 238, n. 1, p. 290–299, 2014. 59
- ACKOFF, R. L. The future of operational research is past. **Journal of the Operational Research Society**, v. 30, n. 2, p. 93–104, 1979. 21, 22
- ALEINA, S. C.; VIOLA, N.; FUSARO, R.; LONGO, J.; SACCOCCIA, G. Basis for a methodology for roadmaps generation for hypersonic and re-entry space transportation systems. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 128, p. 208–225, 2018. 69
- AMNA, A. R.; POELS, G. Systematic literature mapping of user story research. **IEEE Access**, v. 10, p. 51723–51746, 2022. 45
- ARMSON, R. **Growing wings on the way : systems thinking for messy situations**. [S.l.]: Triarchy Press, 2012. 56–63 p. 34
- ASSEF, P.; GEIGER, J. Adoption of model-based systems engineering in traditional dod systems. **Defense Acquisition Research Journal: A Publication of the Defense Acquisition University**, v. 30, n. 1, 2023. 16
- BALLARD, M.; PEAK, R.; CIMTALAY, S.; MAVRIS, D. Bidirectional text-to-model element requirement transformation. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE. **Proceedings. . . .** Big Sky, MT, USA: IEEE, 2020. p. 1–14. 68
- BARROS, P. R. S. **Multimetodologia para estruturação e reconhecimento de melhorias aplicada a um programa de logística reversa de alimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2012. 42
- BARROS, P. R. S.; COELHO, R. C.; CERQUEIRA, C. S.; LOUREIRO, G. Experiences with using ears for stakeholder requirements development of the safe integration of unmanned aircrafts in the airspace project. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 131, n. 1, p. 2876–2890, May 2024. 140

BEER, S. The viable system model: Its provenance, development, methodology and pathology. **Journal of the Operational Research Society**, v. 35, n. 1, p. 7–25, 1984. 31

BEKIUS, F.; GOMES, S. L. A framework to design game theory-based interventions for strategic analysis of real-world problems with stakeholders. **European Journal of Operational Research**, v. 309, n. 2, p. 925–938, 2023. 53

BELL, S. Dpsir = a problem structuring method? an exploration from the “imagine” approach. **European Journal of Operational Research**, v. 222, n. 2, p. 350–360, 2012. 26

BELL, S.; MORSE, S. How people use rich pictures to help them think and act. **Systemic Practice and Action Research**, v. 26, p. 331–348, 2013. 36

BERG, T. **Understanding iconography: a method to allow rich picture interpretation to improve**. Tese (Doutorado) — Heriot-Watt University, 2014. 36

BERG, T.; BELL, S.; MORSE, S. Using rich pictures outside of soft systems methodology: a case study analysis. **International Journal of System of Systems Engineering**, v. 9, n. 3, p. 257–276, 2019. 36

BERNARDO, H.; GASPAR, A.; ANTUNES, C. H. A combined value focused thinking-soft systems methodology approach to structure decision support for energy performance assessment of school buildings. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2295, 2018. 56

BONNET, S.; VOIRIN, J.-L.; EXERTIER, D.; NORMAND, V. Not (strictly) relying on SysML for MBSE: language, tooling and development perspectives: the arcadia/capella rationale. In: ANNUAL IEEE SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON). **Proceedings...** Orlando, FL, USA: IEEE, 2016. p. 1–6. 20

BRYSON, J. M. What to do when stakeholders matter: stakeholder identification and analysis techniques. **Public Management Review**, v. 6, n. 1, p. 21–53, 2004. 5

CARDOSO, P. R. B.; BELDERRAIN, M. C. N.; LOUREIRO, G. Identification and classification of stakeholders needs using dialogue mapping and ahp-sort. In: INNOVATION FOR SYSTEMS INFORMATION AND DECISION MEETING (INSID). **Proceedings...** Virtual, 2020. 140

CARDOSO, P. R. B.; CERQUEIRA, C. S.; LOUREIRO, G. Modelo para seleção de portfólio de projetos de cubesats. In: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Anais...** São José dos Campos, Brasil, 2021. 140

_____. Utilização de métodos de estruturação de problemas na definição da missão de sistemas: Uma tese em consolidação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS. **Anais...** Tocantins, Brasil (virtual), 2022. 140

- CARDOSO, P. R. B.; LOGULLO, Y.; CERQUEIRA, C. S.; LOUREIRO, G. Pesquisa operacional comportamental na engenharia de sistemas espaciais. In: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Anais...** São José dos Campos, Brasil, 2021. 73, 140
- CARDOSO, P. R. B.; RODRIGUES, I. P.; ASECIO, J. C. R.; LIMA, J. S. S.; JUNQUEIRA G. C.; SANTOS, W. A. Participação feminina no cubedesign: uma competição latino-americana para desenvolvimento de nanossatélites. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO MULHERES EM STEM (SMSTEM). **Anais...** São José dos Campos, Brasil, 2020. 140
- CARRIÈRE, C.; PAHUD, K.; GASS, V. Use of space analog missions as an educational tool in primary schools. **Acta Astronautica**, v. 200, p. 562–573, 2022. 67
- CARUZZO, A.; BELDERRAIN, M. C. N.; FISCH, G.; MANSO, D. F. The mapping of aerospace meteorology in the brazilian space program: challenges and opportunities for rocket launch. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 7, p. 7–18, 2015. 58
- CERQUEIRA, C. S. **TE-2652023: Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos**. São José dos Campos: ITA, 2023. Notas de aula. Disponível em: <<<http://cscerqueira.com.br/wp-content/uploads/2023/07/TE-2652023-01-INTRODUCAO-AO-CURSO-v2.pdf>>>. 75
- CHECKLAND, P. **Systems thinking, systems practice**. [S.l.]: Wiley, 1999. 29
- _____. Soft systems methodology: a thirty year retrospective. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 17, n. S1, p. S11–S58, 2000. 33
- CHECKLAND, P.; POULTER, J. Soft systems methodology. In: REYNOLDS, S. H. M. (Ed.). **Systems approaches to making change: a practical guide**. London: Springer, 2020. p. 201–253. 32
- CLOUTIER, R.; SAUSER, B.; BONE, M.; TAYLOR, A. Transitioning systems thinking to model-based systems engineering: systemigrams to sysml models. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 45, n. 4, p. 662–674, 2014. 36
- COLLINS, A. J.; THAVIPHOKE, Y.; TAKO, A. A. Using strategic options development and analysis (SODA) to understand the simulation accessibility problem. **Journal of the Operational Research Society**, p. 1–22, 2022. 39
- CORPINO, S.; NICHELE, F. An ilities-driven methodology for the analysis of gaps of stakeholders needs in space systems conceptual design. **IEEE Systems Journal**, v. 11, n. 4, p. 2182–2191, 2016. 70
- DARRIN, M. A. G.; DEVEREUX, W. S. The agile manifesto, design thinking and systems engineering. In: ANNUAL IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON). **Proceedings...** Montreal, QC, Canada: IEEE, 2017. p. 1–5. 43

DOUGLASS, B. P. **Agile systems engineering**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2015. 45

DOVE, R. Agile systems-engineering and agile-systems engineering. **Insight: International Council on Systems Engineering**, v. 17, n. 2, p. 6–10, 2014. 45

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JR, J. A. V. A.; DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design science research**. [S.l.]: Springer, 2015. 3

DUBOS, G. F.; COREN, D. P.; KERZHNER, A.; CHUNG, S. H.; CASTET, J.-F. Modeling of the flight system design in the early formulation of the europa project. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE. **Proceedings...** Big Sky, MT, USA: IEEE, 2016. p. 1–14. 71

DYSON, R. G.; O'BRIEN, F. A.; SHAH, D. B. Soft or and practice: the contribution of the founders of operations research. **Operations Research**, v. 69, n. 3, p. 727–738, 2021. 23

ECLIPSE FOUNDATION. **ArcadiaCapella**: Arcadia reference documents. 2023. Disponível em: <<<https://mbse-capella.org/arcadia-reference.html>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 18, 19, 20

_____. **ArcadiaCapellapt**: recursos em português. 2023. Disponível em: <<https://www.eclipse.org/capella/resources/pdf/Datasheet_Arcadia_br.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 19

_____. **Capella**: extensibility of capella with capella studio. 2023. Disponível em: <<https://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2017/december/article4.php>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 20, 21

EDEN, C. On the nature of cognitive maps. **Journal of Management Studies**, v. 29, n. 3, p. 261–265, 1992. 27

_____. Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. **European Journal of Operational Research**, v. 159, n. 3, p. 673–686, 2004. 39, 41

EDEN, C.; ACKERMANN, F. SODA – the principles. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (Ed.). **Rational analysis for a problematic world revisited**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2001. p. 21–41. 38

ELSAWAH, S.; BAKHANOVA, E.; HÄMÄLÄINEN, R. P.; VOINOV, A. A competency framework for participatory modeling. **Group Decision and Negotiation**, v. 32, n. 3, p. 569–601, 2023. 52

ERES, M. H.; BERTONI, M.; KOSSMANN, M.; SCANLAN, J. Mapping customer needs to engineering characteristics: an aerospace perspective for conceptual design. **Journal of Engineering Design**, v. 25, n. 1-3, p. 64–87, 2014. 72

ESTEFAN, J. A. et al. Survey of model-based systems engineering (MBSE) methodologies. **INCOSE MBSE Focus Group**, v. 25, n. 8, p. 1–12, 2007. 16

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS).
ECSS-E-ST-10C: space engineering - system engineering general requirement.
2009. 10

FERREIRA, F. A.; SPAHR, R. W.; SUNDERMAN, M. A.; JALALI, M. S. A
prioritisation index for blight intervention strategies in residential real estate.
Journal of the Operational Research Society, v. 69, n. 8, p. 1269–1285, 2018.
56

FLIEGE, J.; KAPARIS, K.; KHOSRAVI, B. Operations research in the space
industry. **European Journal of Operational Research**, v. 217, n. 2, p.
233–240, 2012. 22

FOUCHÉ, E.; BRENT, A. Explore, design and act for sustainability: a
participatory planning approach for local energy sustainability. **Sustainability**,
v. 12, n. 3, p. 862, 2020. 55

FRANCO, L.; ROUWETTE, E. **Problem structuring methods tacking stock
and looking ahead**. [S.l.]: Springer, 2022. 735–780 p. 23

FRANÇOZO, R.; BELDERRAIN, M. C. N.; BERGIANTE, N. C. R.; PACHECO,
B. C. S.; PIRATELLI, C. L. Value-focused thinking na prática: análise do
desenvolvimento e aplicações no período (2010-2018). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO
DE PESQUISA OPERACIONAL. **Anais...** Limeira, Brasil: SBPO, 2019. 31

FRANÇOZO, R. V.; BELDERRAIN, M. C. N. A problem structuring method
framework for value-focused thinking. **EURO Journal on Decision Processes**,
v. 10, p. 100014, 2022. 23

FREEMAN, R.; YEARWORTH, M. Climate change and cities: problem
structuring methods and critical perspectives on low-carbon districts. **Energy
Research & Social Science**, v. 25, p. 48–64, 2017. 57

FRENCH, S. From soft to hard elicitation. **Journal of the Operational
Research Society**, v. 73, n. 6, p. 1181–1197, 2022. 53

FRIEND, J.; HICKLING, A. **Planning under pressure**. [S.l.]: Routledge, 2012.
28

FUNG, T.-Y.; SHI, Q.; ROY, S. S.; SCHMITT, R. N.; GUARINIELLO, C.;
DELAURENTIS, D. A. Conceptual design for a space debris orbital recycling
station utilizing MBSE approach. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE.
Proceedings... Big Sky, MT, USA: IEEE, 2023. p. 1–16. 65

GEORGIU, I. Mapping railway development prospects in brazil. **Transport
Reviews**, v. 29, n. 6, p. 685–714, 2009. 41

_____. Messing about in transformations: structured systemic planning for
systemic solutions to systemic problems. **European Journal of Operational
Research**, v. 223, n. 2, p. 392–406, 2012. 37

- _____. Unravelling soft systems methodology. **International Journal of Economics and Business Research**, v. 9, n. 4, p. 415–436, 2015. 37
- GEORGIU, I.; HECK, J. Problem structuring methods, 1950s-1989: an atlas of the journal literature. São Paulo, Brasil, 2017. Disponível em: <<https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=30776488>>. 23
- GIRARD, N. Categorizing stakeholders' practices with repertory grids for sustainable development. **M@n@gement**, n. 1, p. 31–48, 2013. 60
- GOMESJUNIOR, A.; SCHRAMM, V. Problem structuring methods: a review of advances over the last decade. **Systemic Practice and Action Research**, v. 35, n. 1, p. 55–88, 2022. 23
- GREGORY, A. J.; ATKINS, J. P.; BURDON, D.; ELLIOTT, M. A problem structuring method for ecosystem-based management: the dpsir modelling process. **European Journal of Operational Research**, v. 227, n. 3, p. 558–569, 2013. 59
- GREGORY, A. J.; ATKINS, J. P.; MIDGLEY, G.; HODGSON, A. M. Stakeholder identification and engagement in problem structuring interventions. **European Journal of Operational Research**, v. 283, n. 1, p. 321–340, 2020. 5, 55
- HABERFELLNER, R.; WECK, O. D. Agile systems engineering versus agile systems engineering. In: INCOSE INTERNATIONAL SYMPOSIUM. **Proceedings...** USA: INCOSE, 2005. p. 1449–1465. 45
- HARPER, A.; MUSTAFEE, N.; YEARWORTH, M. Facets of trust in simulation studies. **European Journal of Operational Research**, v. 289, n. 1, p. 197–213, 2021. 54
- HOWARD, N.; BENNET, P.; BRYANT, J.; BRADLEY, M. Manifesto for a theory of drama and irrational choice. **Journal of the Operational Research Society**, v. 44, n. 1, p. 99–103, 1993. 25
- HUJAINAH, F.; BAKAR, R. B. A.; AL-HAIMI, B.; ABDULGABBER, M. A. Stakeholder quantification and prioritisation research: a systematic literature review. **Information and Software Technology**, v. 102, p. 85–99, 2018. 6
- INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (ICEA). **Departamento de controle do espaço aéreo**. Rio de Janeiro (RJ), 2023. Disponível em: <<<https://www.decea.mil.br/?i=unidades&p=icea>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 88
- INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE). **INCOSE-TP-2003–002-05 INCOSE systems engineering handbook version 5: a guide for system life cycle process and activities**. 2023. 10, 15, 73
- _____. **Systems engineering: what is systems engineering**. San Diego (CA), 2023. Disponível em: <<<https://www.incose.org/systems-engineering>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 2, 7

- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO).
ISO/IEC/IEEE 29148: systems and software engineering - life cycle processes - requirements engineering. 2018. 10
- KANNAN, H.; JANTZEN, B. C.; MESMER, B. A formal approach to identify inconsistencies in stakeholder needs in the context of systems engineering. In: AIAA SCITECH 2022 FORUM. **Proceedings...** San Diego, CA e Virtual, 2022. p. 1469. 66
- KASLOW, D.; ANDERSON, L.; ASUNDI, S.; AYRES, B.; IWATA, C.; SHIOTANI, B.; THOMPSON, R. Developing a cubesat model-based system engineering (MBSE) reference model-interim status. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE. **Proceedings...** Big Sky, Montana, USA, 2015. p. 1–16. 71
- KEENEY, R. L. **Value-focused thinking: a path to creative decisionmaking**. USA: Harvard University Press, 1996. 432 p. ISBN: 978-0674931985. 30, 31
- KELLY, G. **The psychology of personal constructs: theory of personality**. [S.l.]: London: Routledge, 1991. 422 p. ISBN: 978-0415037976. 40
- KHADKA, C.; HUJALA, T.; WOLFSLEHNER, B.; VACIK, H. Problem structuring in participatory forest planning. **Forest Policy and Economics**, v. 26, p. 1–11, 2013. 60
- KOGETSIDIS, H. Dealing with complexity—the contribution of problem structuring methods to management science. **International Journal of Organizational Analysis**, v. 32, n. 2, p. 272–285, 2024. 23
- KOTIADIS, K.; MINGERS, J. Combining psms with hard or methods: the philosophical and practical challenges. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, p. 856–867, 2006. 75
- KOTLER, P. **Analysis, planning, implementation and control**. [S.l.]: Prentice Hall International, 1994. 30
- KUBIN, A.; WAGENMANN, S.; REICHERT, F.; MANDEL, C.; ALBERS, A. Stakeholder needs in systems engineering: a proposal for a formal definition. In: IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON). **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2023. p. 1–8. 6, 65
- KUNC, M.; MALPASS, J.; WHITE, L. **Behavioral operational research: theory, methodology and practice**. [S.l.]: Springer, 2016. 78
- LI, Z.; WANG, G.; LU, J.; BROO, D. G.; KIRITSIS, D.; YAN, Y. Bibliometric analysis of model-based systems engineering: past, current, and future. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 2022. 17
- LOUREIRO, G. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. Tese (Doutorado) — Loughborough University, 1999. 2

- LOUREIRO, G. **CSE201-4 introdução à engenharia de sistemas**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021. Notas de aula. 10
- MANIFESTO for Agile Software Development. 2001. Disponível em: <<<http://agilemanifesto.org/>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 43
- MCCARTHY, T.; PFORTE, L.; BURKE, R. Fundamental elements of an urban utm. **Aerospace**, v. 7, n. 7, p. 85, 2020. 81
- MCGRATH, S. K.; WHITTY, S. J. Stakeholder defined. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 10, n. 4, p. 721–748, 2017. 5
- MENSHENIN, Y.; CRAWLEY, E. Applying the model-based concept framework to capturing the safety aspects of the suborbital human spaceflight missions. **Journal of Space Safety Engineering**, v. 6, n. 4, p. 235–247, 2019. 68
- MILES, S. Stakeholder theory classification: a theoretical and empirical evaluation of definitions. **Journal of Business Ethics**, v. 142, p. 437–459, 2017. 5
- MINGERS, J. Variety is the spice of life: combining soft and hard or/ms methods. **International Transactions in Operational Research**, v. 7, n. 6, p. 673–691, 2000. 75
- _____. Soft or comes of age — but not everywhere! **Omega**, v. 39, n. 6, p. 729–741, 2011. 22
- MINGERS, J.; BROCKLESBY, J. Multimethodology: towards a framework for mixing methodologies. **Omega**, v. 25, n. 5, p. 489–509, 1997. 75
- MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. **Rational analysis for a problematic world revisited**. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2001. 23
- _____. Problem structuring methods in action. **European Journal of Operational Research**, v. 152, n. 3, p. 530–554, 2004. 2, 22, 23
- MITCHELL, R. K.; AGLE, B. R.; WOOD, D. J. Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts. **Academy of Management Review**, v. 22, n. 4, p. 853–886, 1997. 5
- MITROFF, I. I.; EMSHOFF, J. R. On strategic assumption-making: a dialectical approach to policy and planning. **Academy of Management Review**, v. 4, n. 1, p. 1–12, 1979. 28
- MONK, A.; HOWARD, S. The rich picture: a tool for reasoning about work context. **Interactions**, 1998. 35
- MULLINA, N.; AKHTYAMOV, R.; FORTIN, P. C.; IVANOV, A. Stratospheric balloons launches for system engineering educational course. In: 69TH INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS (IAC). **Proceedings...** Germany, Berlin: International Astronautical Federation (IAF), 2018. 68

- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **SP-2016-6105 Rev2**: systems engineering handbook. 2016. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2018/09/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf>>. 2, 10, 17, 48
- OBJECT MANAGEMENT GROUP. **MBSE wiki forum**: methodology and metrics. 2023. Disponível em: <<<https://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=mbse:methodology>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 17
- OPEN UNIVERSITY. **Guide to diagrams**: Open learn. 2023. Disponível em: <<<http://www2.open.ac.uk/openlearn/diagramming/index.htm>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 35
- PETROPOULOS, F. et al. Operational research: methods and applications. **Journal of the Operational Research Society**, v. 75, n. 3, p. 423–617, 2024. Disponível em: <<<https://doi.org/10.1080/01605682.2023.2253852>>>. Acesso em: 3 abril 2024. 21, 22
- PIETSCHA, B.; CURTISB, N. J.; COUTTSA, A. Development of agreeable models for army intelligence, surveillance and reconnaissance in support of concept development. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, 21., 2015. **Proceedings...** Gold Coast, Australia, 2015. p. 896–902. 58
- PLAZANET, S.; NAVAS, J. Model-based systems engineering as an enabler of agility. **Insight**, v. 26, n. 2, p. 26–30, 2023. 65
- POLLACK, J. Multimethodology in series and parallel: strategic planning using hard and soft or. **Journal of the Operational Research Society**, v. 60, n. 2, p. 156–167, 2009. 75
- REIDA, J.; LOMBARDO, S.; OVIENTMAHDA, U.; JAFFE, C.; WOODC, D. The environment-vulnerability-decision-technology framework: a process for developing multi-disciplinary decision support systems for sustainable development applications. In: INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS, 73., 2022. **Proceedings...** MIT, United States: IAC, 2022. 66
- ROQUES, P. MBSE with the arcadia method and the capella tool. In: EUROPEAN CONGRESS ON EMBEDDED REAL TIME SOFTWARE AND SYSTEMS, 8., 2016. **Proceedings...** Toulouse, France: ERTS, 2016. 18
- ROSENBERG, M. **Comunicação não violenta - técnicas para aprimorar relacionamentos pessoais e profissionais**. [S.l.]: Ágora, 2021. 280 p. ISBN: 978-8571832640. 78
- ROSENHEAD, J. Planning under uncertainty: a methodology for robustness analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 31, p. 331–341, 1980. 24

_____. **Rational analysis for a problematic world**. Chichester: John Wiley and Sons, 1989. 2, 23

SALADO, A. A systems-theoretic articulation of stakeholder needs and system requirements. **Systems Engineering**, v. 24, n. 2, p. 83–99, 2021. 67

SALADO, A.; NILCHIANI, R. Reducing excess requirements through orthogonal categorizations during problem formulation: results of a factorial experiment. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 47, n. 3, p. 405–415, 2016. 70

SANMIGUEL, M. Frontiers in complex systems. **Frontiers**, v. 1, 2023. Disponível em: <<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcpxs.2023.1080801/full>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 1

SCHOEMAKER, P. J. Scenario planning: a tool for strategic thinking. **MIT Sloan Management Review**, 1995. 27

SCRIECIU, A.; PAGANO, A.; COLETTA, V. R.; FRATINO, U.; GIORDANO, R. Bayesian belief networks for integrating scientific and stakeholders' knowledge to support nature-based solution implementation. **Frontiers in Earth Science**, v. 9, p. 674618, 2021. 54

SILLITTO, H.; MARTIN, J.; GRIEGO, R.; MCKINNEY, D.; ARNOLD, E.; GODFREY, P.; DORI, D.; KROB, D.; JACKSON, S. Envisioning systems engineering as a transdisciplinary venture. **Insight**, v. 21, n. 3, p. 52–61, 2018. 8

SILVA, T. R.; FITZGERALD, B. Parsing bdd stories for automated verification of software artefacts. **Electronic Communications of the EASST**, v. 79, 2021. 44

SMITH, C. M.; SHAW, D. The characteristics of problem structuring methods: a literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 274, n. 2, p. 403–416, 2019. 23

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA OPERACIONAL (SOBRAPO). **Pesquisa operacional: o que é pesquisa operacional?** 2023. Disponível em: <<<https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 21

STERMAN, J. D. System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. **California Management Review**, v. 43, n. 4, p. 8–25, 2001. 26

STEVENS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Systems engineering research center - systems thinking workshop: why systemigrams?** 2019. Disponível em: <<https://sercuarc.org/wp-content/uploads/2019/12/Systems-Thinking-Workshop_CombinedSlides.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2023. 36

SYSTEMS ENGINEERING BODY OF KNOWLEDGEMEN (SEBOK). **Introduction to Systems Engineering**. 2023. Disponível em: <<https://sebokwiki.org/wiki/Introduction_to_Systems_Engineering>>. 2, 6, 8, 47

- ULRICH, W. **Critical heuristics of social planning: a new approach to practical philosophy**. USA: Wiley, 1995. 500 p. ISBN: 978-0471953456. 25
- VERMA, V.; GANGADHARI, R.; PANDEY, P. A re-examination of the space debris problem using systems thinking. **Space Mission Planning & Operations**, v. 2, p. 28–43, 2023. 37
- VIDAL, R. V. V. Operational research: a multidisciplinary field. **Pesquisa Operacional**, v. 26, p. 69–90, 2006. 21, 22
- VIEIRA, G. B.; SOUZA, Y. L. d.; SIMÕES, A.; ALMEIDA, J. A. de; BELDERRAIN, M. C. N. Using value-focused thinking in an integrated process to support decisions. **Pesquisa Operacional**, v. 44, p. e276110, 2024. 31
- VILLAFRANCA, B. C. L.; LOUREIRO, G. Stakeholder analysis process using cognitive mapping. In: 19TH ISPE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING. **Proceedings...** London, 2013. p. 1069–1080. 72
- VISCIO, M. A.; VIOLA, N.; FUSARO, R.; BASSO, V. Methodology for requirements definition of complex space missions and systems. **Acta Astronautica**, v. 114, p. 79–92, 2015. 71
- WANG, W.; LIU, W.; MINGERS, J. A systemic method for organisational stakeholder identification and analysis using soft systems methodology (SSM). **European Journal of Operational Research**, v. 246, n. 2, p. 562–574, 2015. 5, 58
- WATZ, M.; HALLSTEDT, S. I. et al. Addressing sustainability in product requirements from a systems perspective. In: NORDDDESIGN 2018. **Proceedings...** Linköping, Sweden, 2018. 69
- WHITE, L. Behavioural operational research: towards a framework for understanding behaviour in or interventions. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 3, p. 827–841, 2016. 57
- WYNER, A.; ANGELOV, K.; BARZDINS, G.; DAMLJANOVIC, D.; DAVIS, B.; FUCHS, N.; HOEFLER, S.; JONES, K.; KALJURAND, K.; KUHN, T.; LUTS, M.; POOL, J.; ROSNER, M.; SCHWITTER, R.; SOWA, J. On controlled natural languages: properties and prospects. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONTROLLED NATURAL LANGUAGE. **Proceedings...** Marettimo Island, Italy, 2009. p. 281–289. 46
- YEAZITZIS, T.; WEGER, K.; MESMER, B.; CLERKIN, J.; BOSSUYT, D. V. Biases in stakeholder elicitation as a precursor to the systems architecting process. **Systems**, v. 11, n. 10, p. 499, 2023. 64
- ZHANG, W.; LIU, Z.; LIU, X.; JIN, Y.; WANG, Q.; HONG, R. Model-based systems engineering approach for the first-stage separation system of launch vehicle. **Actuators**, v. 11, n. 12, 2022. 16

ZHENG, X.; LU, J.; ARISTA, R.; HU, X.; LENTES, J.; UBIS, F.; SORVARI, J.; KIRITSIS, D. Development of an application ontology for knowledge management to support aircraft assembly system design. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON FORMAL ONTOLOGIES MEET INDUSTRY. **Proceedings. . . .** Bolzano, Italy, 2021. 67

ZHU, Z. After paradim: why mixing-methodology theorising fails and how to make it work again. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, p. 784–798, 2011. 75

APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DE CENÁRIOS DO PROJETO SIMUA

Este apêndice apresenta a elicitación de cenários de cada caso de uso do espaço aéreo não segregado, realizada no projeto SIMUA com o uso da multimetodologia proposta nesta tese.

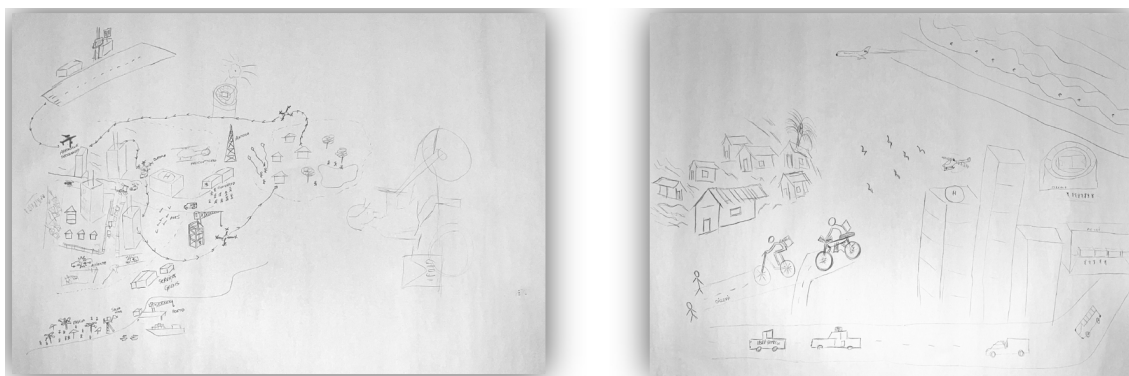
A.1 Caso de uso 1: *Safe integration of intensive airspace services in metropolitan area*

O caso de uso 1 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer no espaço aéreo com tráfego intensivo em áreas metropolitanas.

A.1.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 1 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.1).

Figura A.1 - Caso de Uso 1.



Fonte: Produção da autora.

A.1.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella systemigram-agile. As Figuras A.2 a A.9 descrevem o caso de uso 1, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

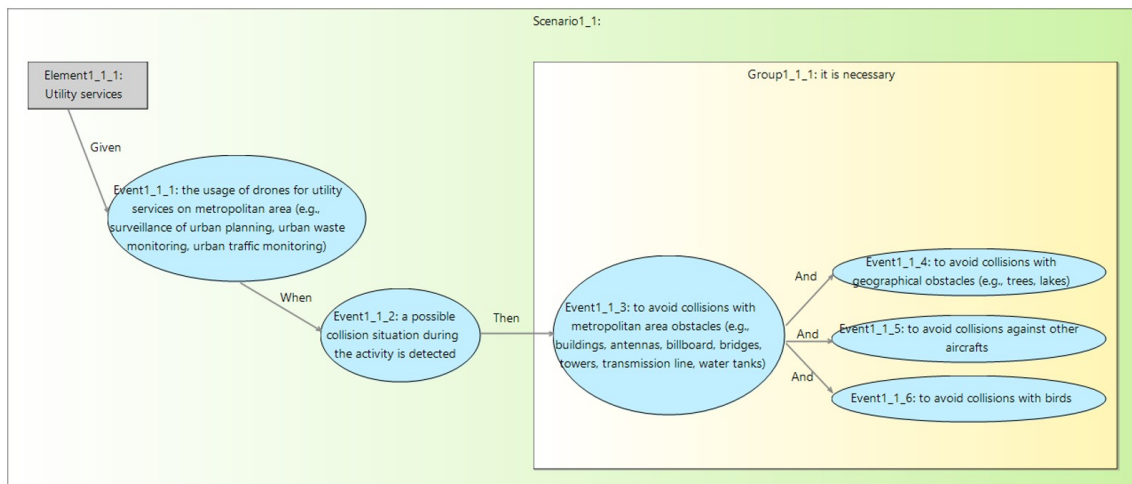
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity*

I want <goal> *the integration of intensive airspace services into metropolitan area.*

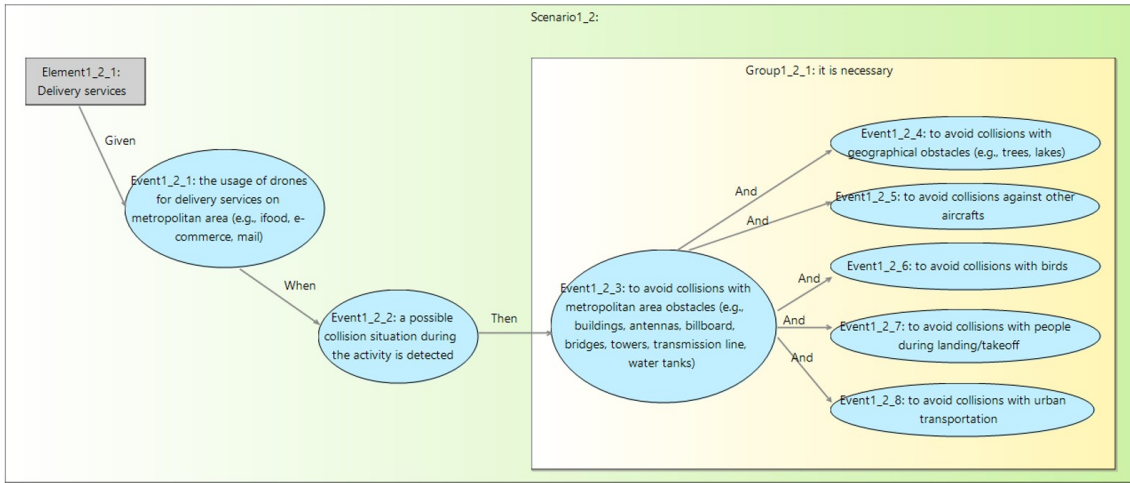
So that <benefit> *I can assure safety, coordination, and effective services.*

Figura A.2 - Utility services.



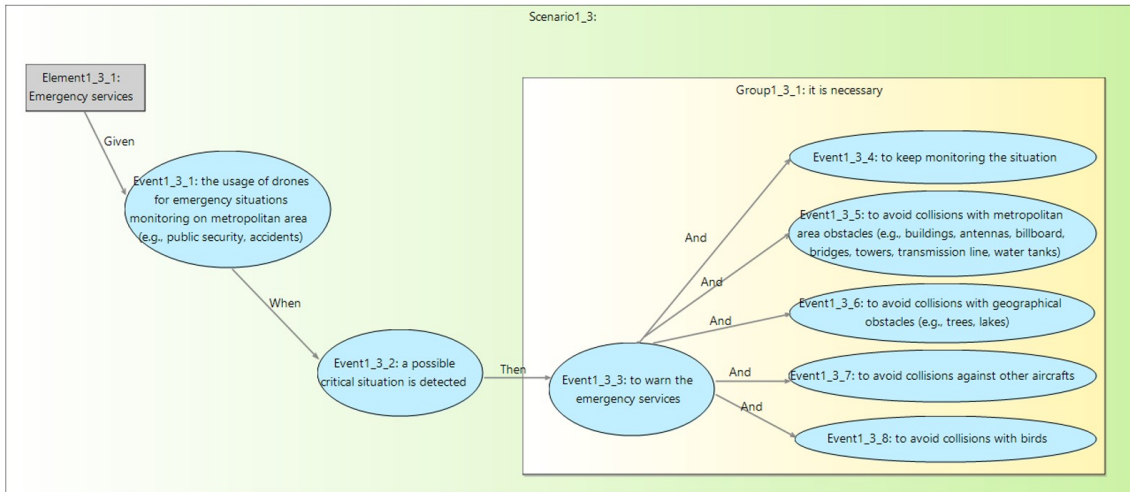
Fonte: Produção da autora.

Figura A.3 - Delivery services.



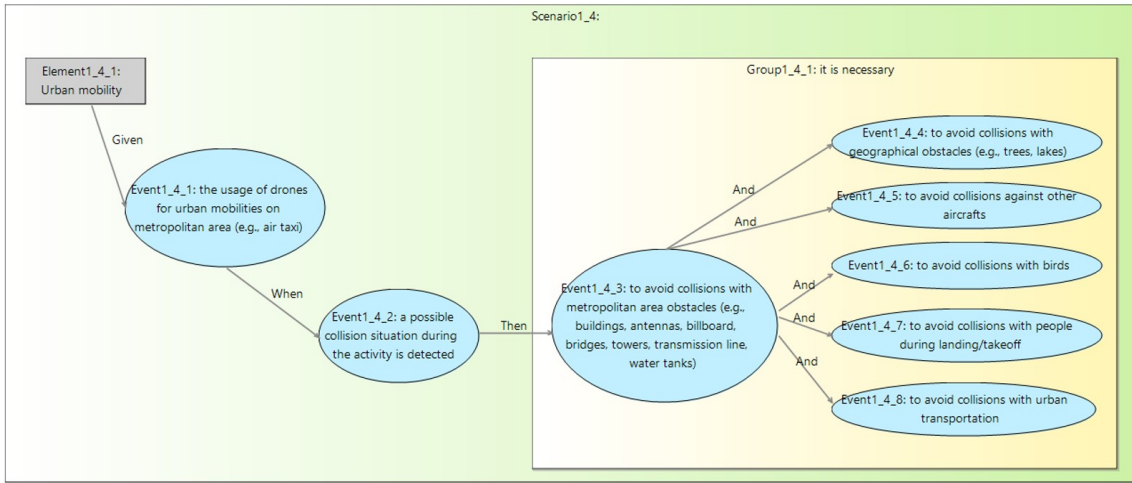
Fonte: Produção da autora.

Figura A.4 - Emergency services.



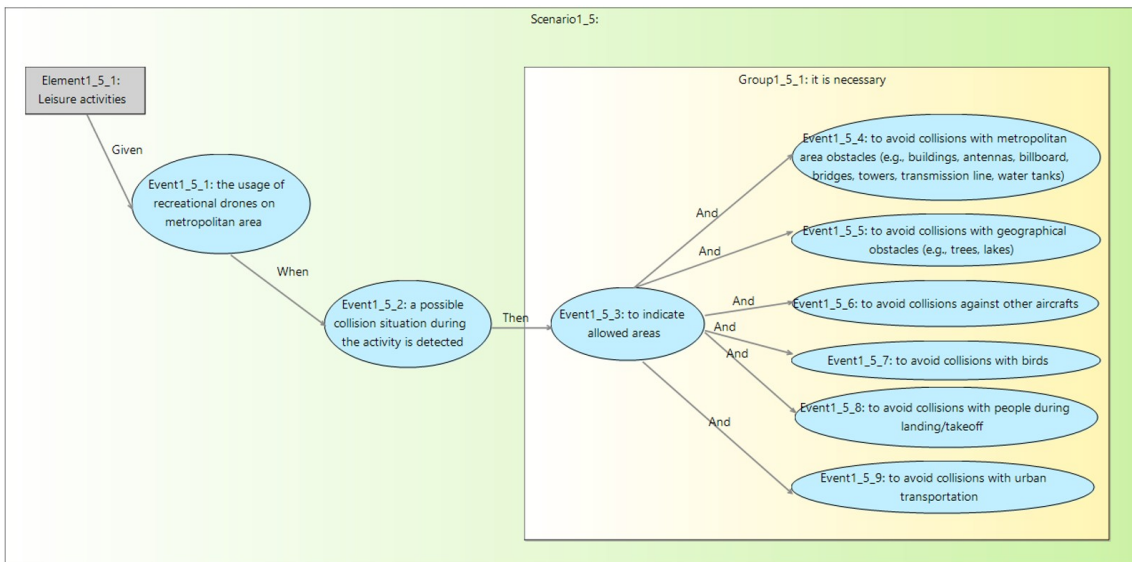
Fonte: Produção da autora.

Figura A.5 - Urban mobility.



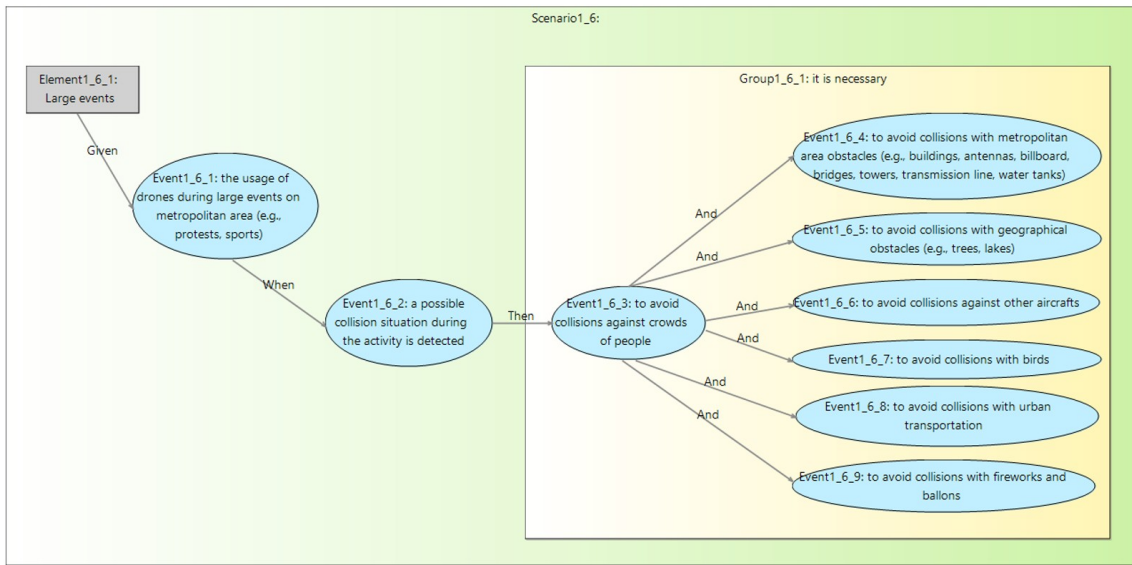
Fonte: Produção da autora.

Figura A.6 - Leisure activities.



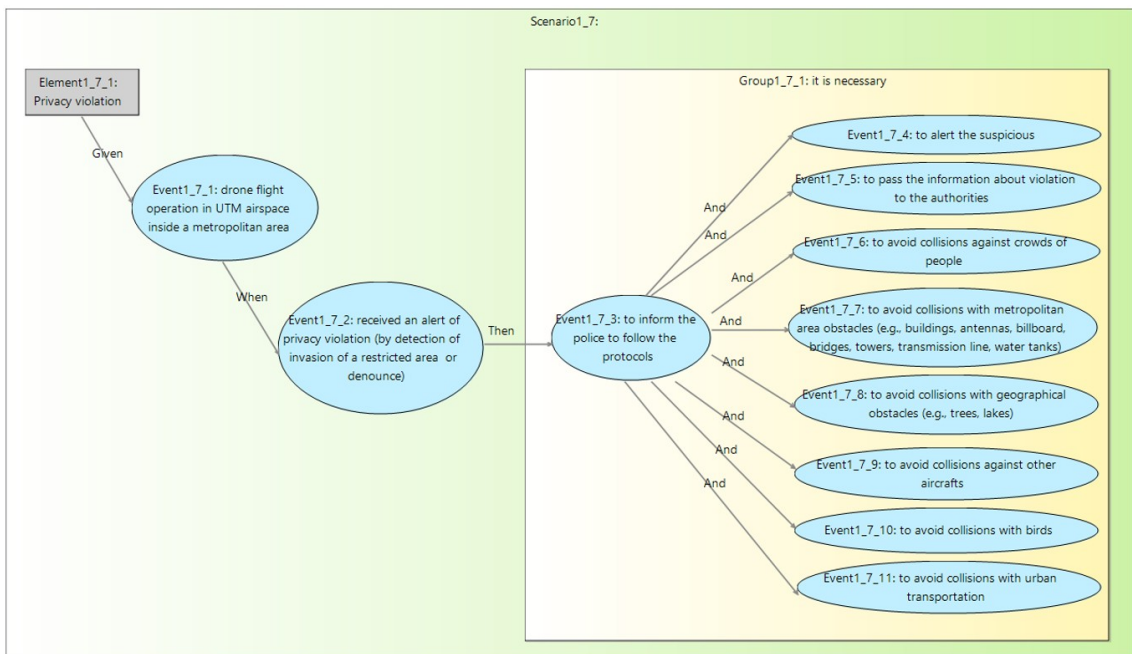
Fonte: Produção da autora.

Figura A.7 - Large events.



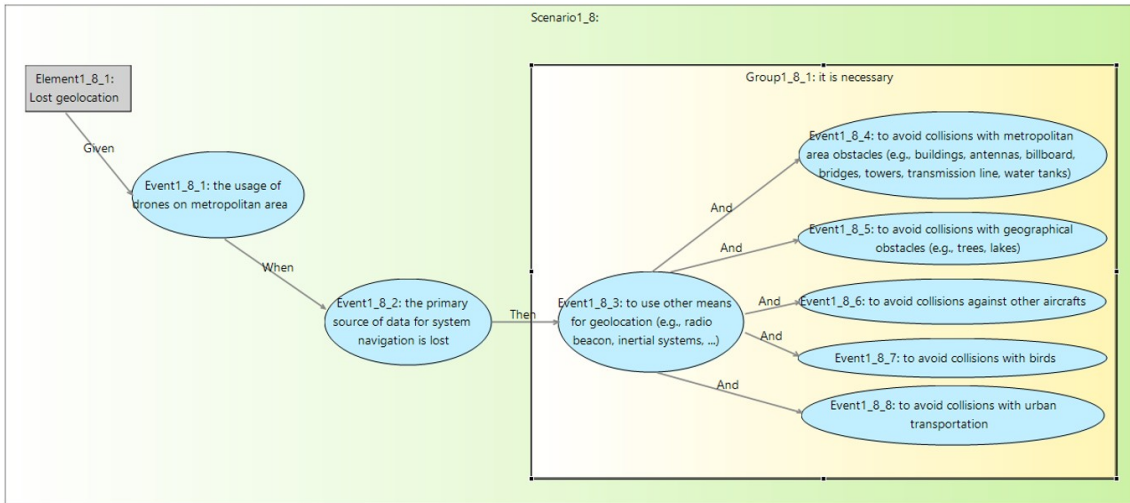
Fonte: Produção da autora.

Figura A.8 - Privacy violation.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.9 - Lost geolocation.



Fonte: Produção da autora.

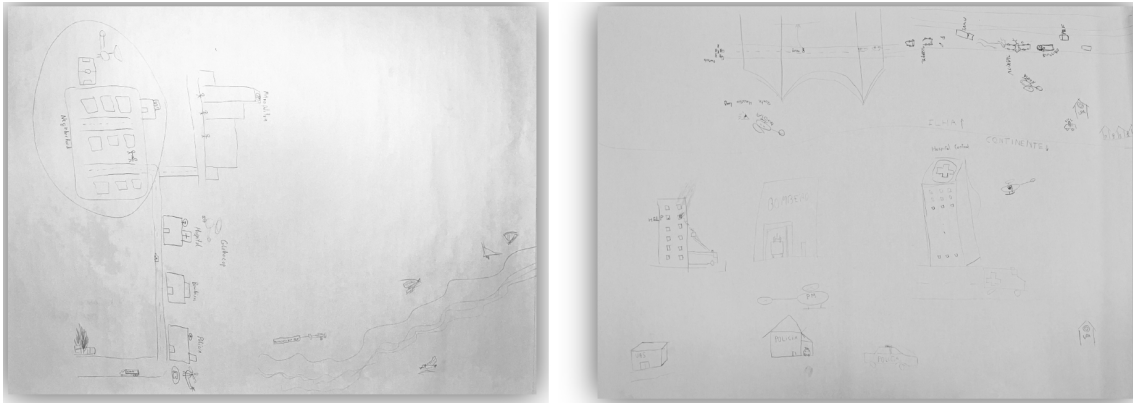
A.2 Caso de uso 2: *Safe integration of priority services into metropolitan area and close neighborhoods*

O caso de uso 2 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer com serviços prioritários no espaço aéreo na transição entre áreas metropolitanas e bairros.

A.2.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 2 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.10).

Figura A.10 - Caso de Uso 2.



Fonte: Produção da autora.

A.2.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella systemigram-agile. As Figuras A.11 a A.15 descrevem o caso de uso 2, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

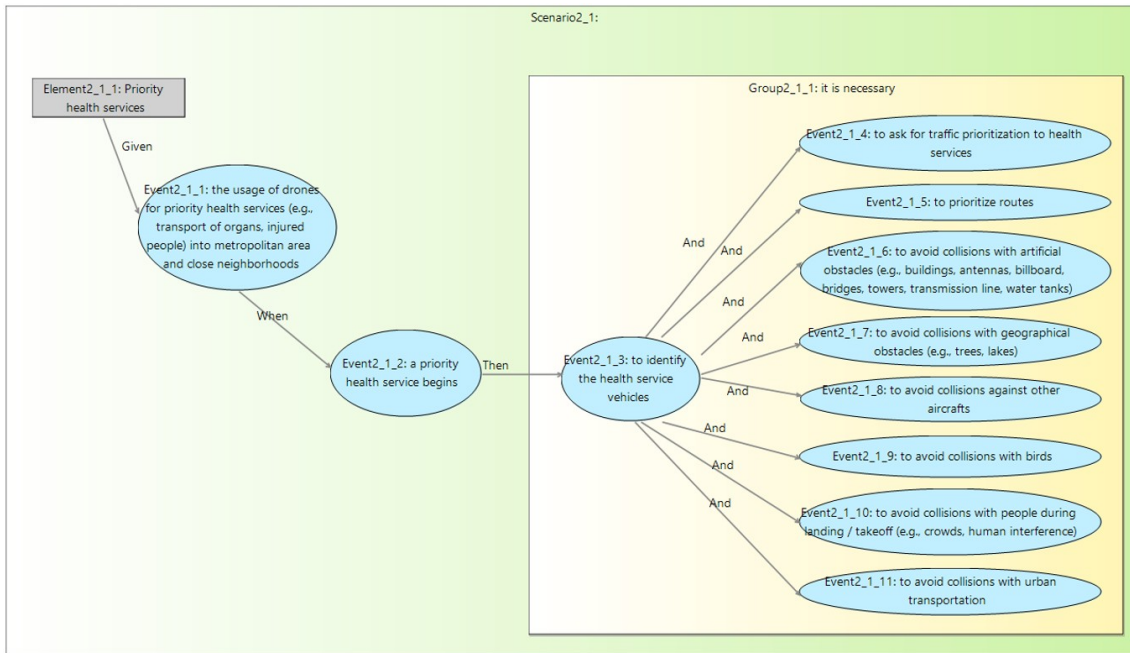
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity.*

I want <goal> *the integration of UTM priority services between metropolitan area and close neighborhoods.*

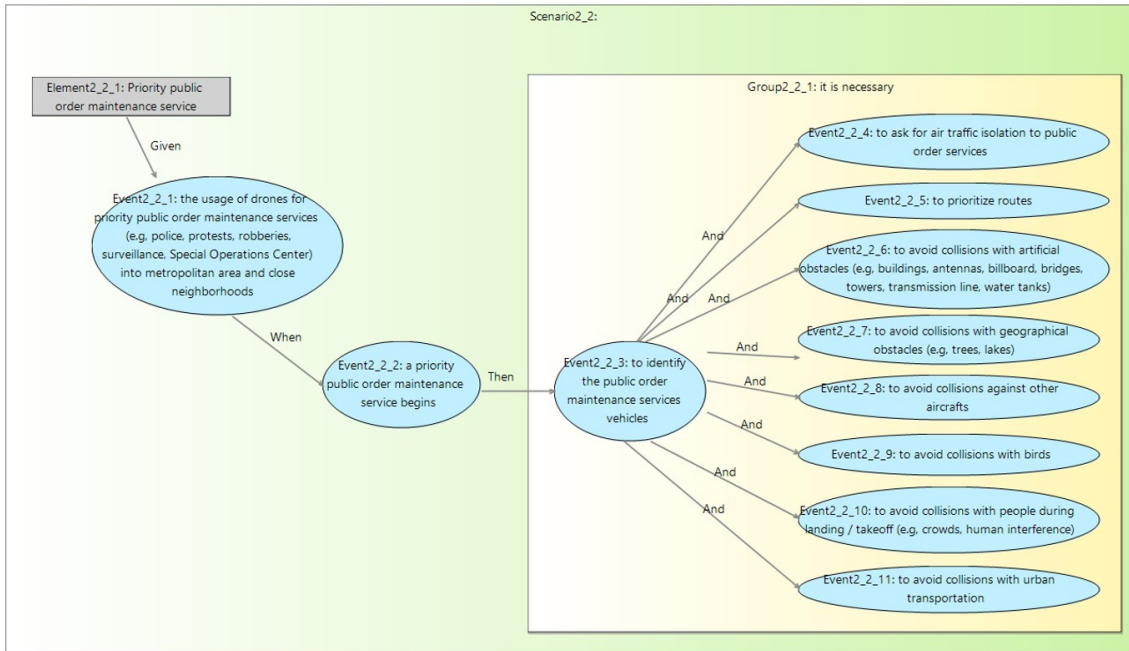
So that <benefit> *I can assure safety, coordination, and effective services.*

Figura A.11 - Priority health services.



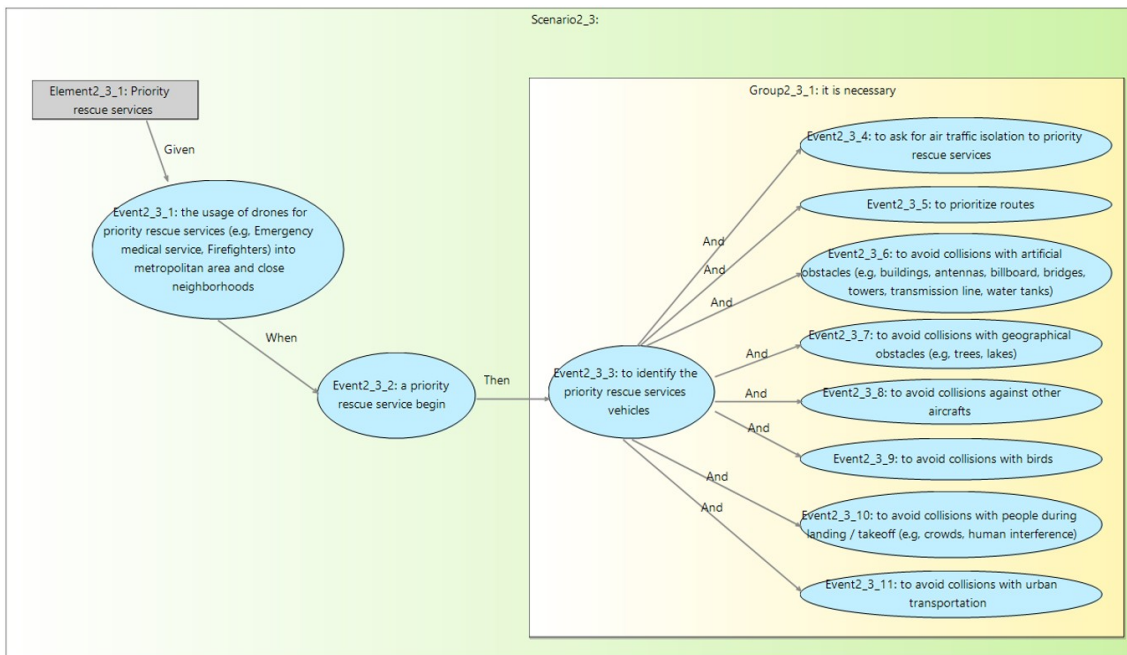
Fonte: Produção da autora.

Figura A.12 - Priority public order maintenance service.



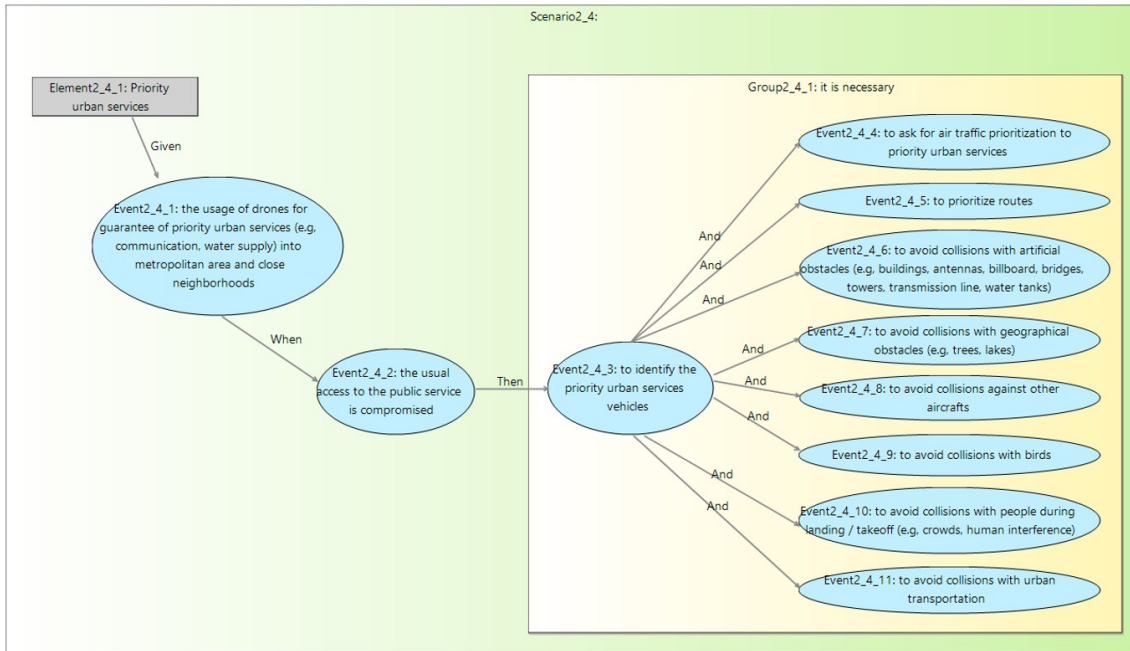
Fonte: Produção da autora.

Figura A.13 - Priority rescue services.



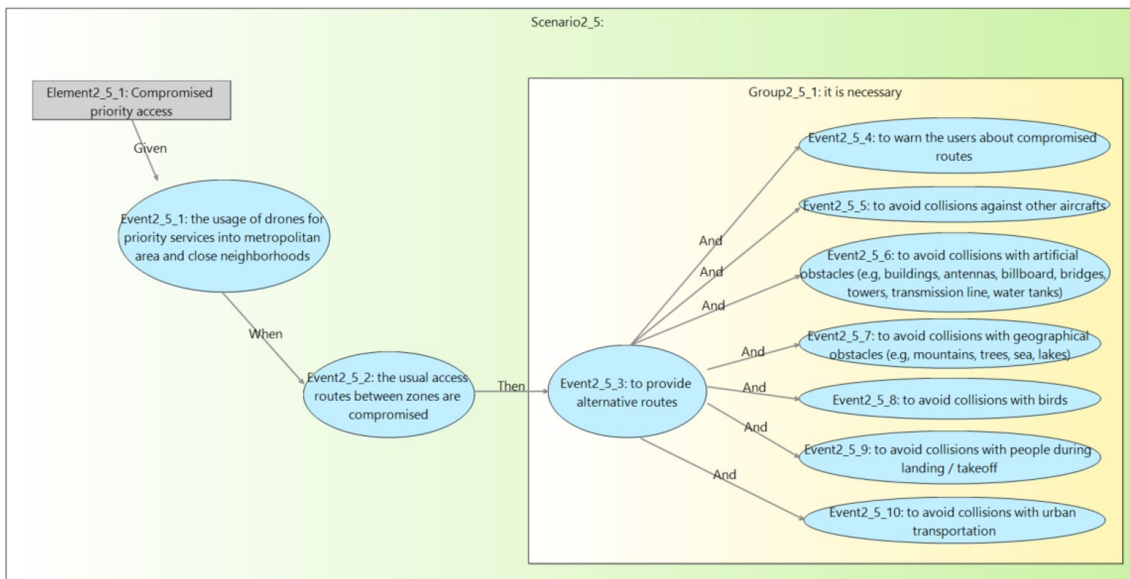
Fonte: Produção da autora.

Figura A.14 - Priority urban services.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.15 - Compromised priority access.



Fonte: Produção da autora.

A.3 Caso de uso 3: *Safe integration of priority services into metropolitan area and close neighborhoods*

O caso de uso 3 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer com serviços prioritários no espaço aéreo dos bairros.

A.3.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 3 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.16).

Figura A.16 - Caso de Uso 3.



Fonte: Produção da autora.

A.3.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella systemigram-agile. As Figuras A.17 a A.20 descrevem o caso de uso 3, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

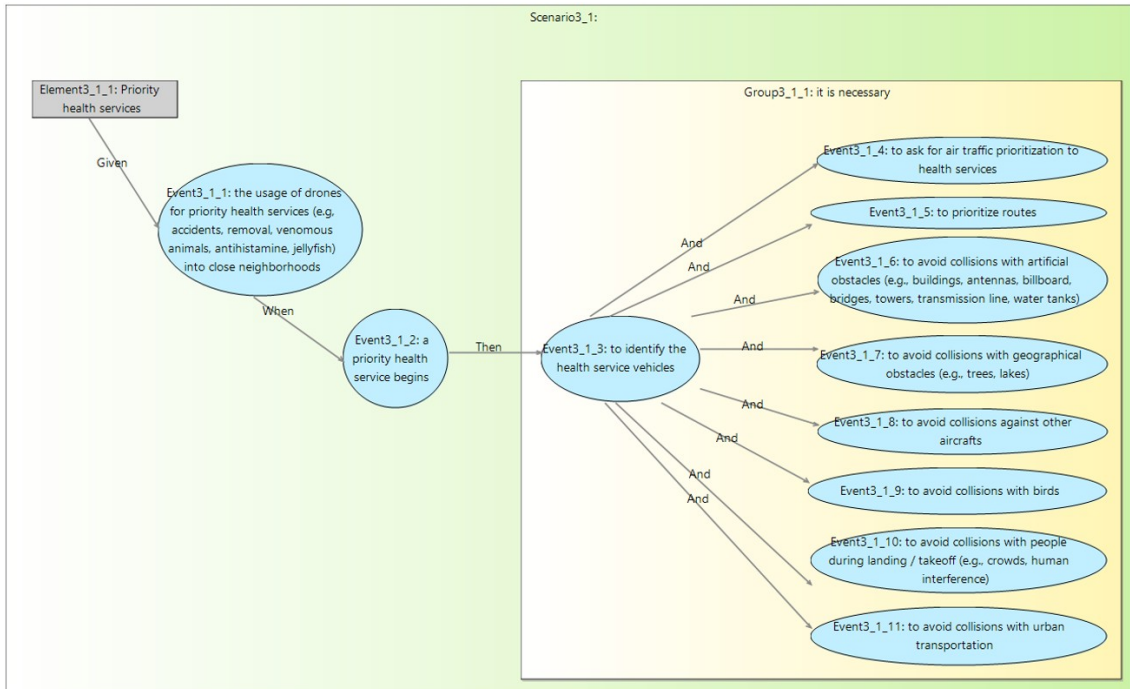
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity.*

I want <goal> *the integration of UTM priority services into close neighborhoods.*

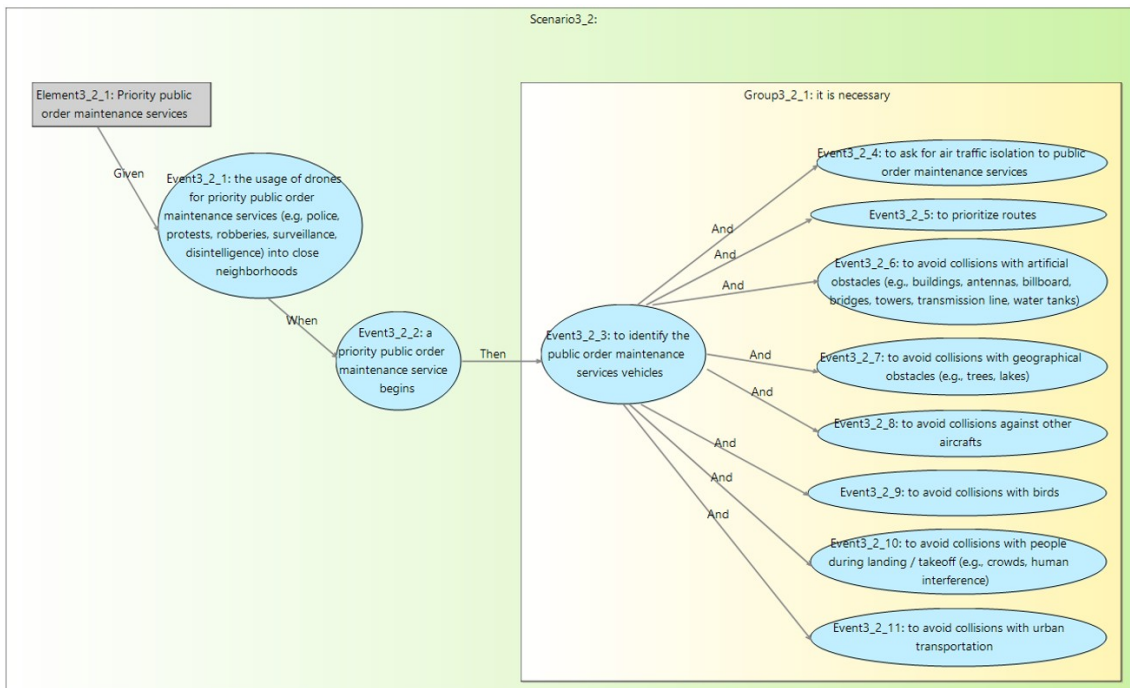
So that <benefit> *I can assure safety, coordination, and effective services.*

Figura A.17 - Priority health services.



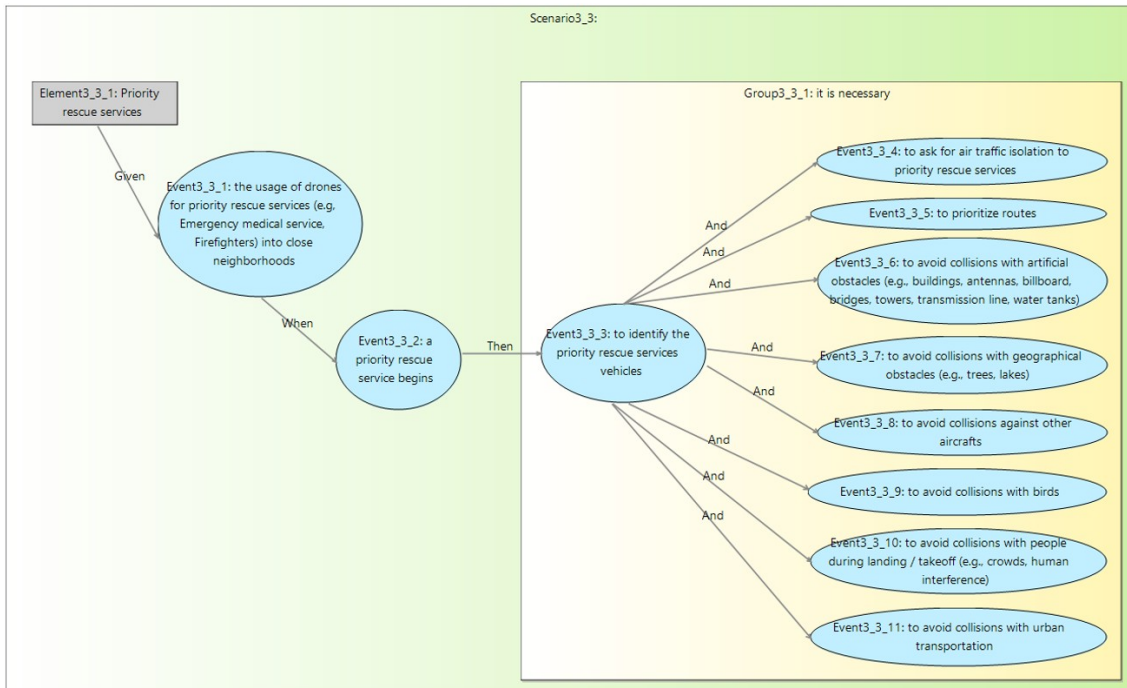
Fonte: Produção da autora.

Figura A.18 - Priority public order maintenance services.



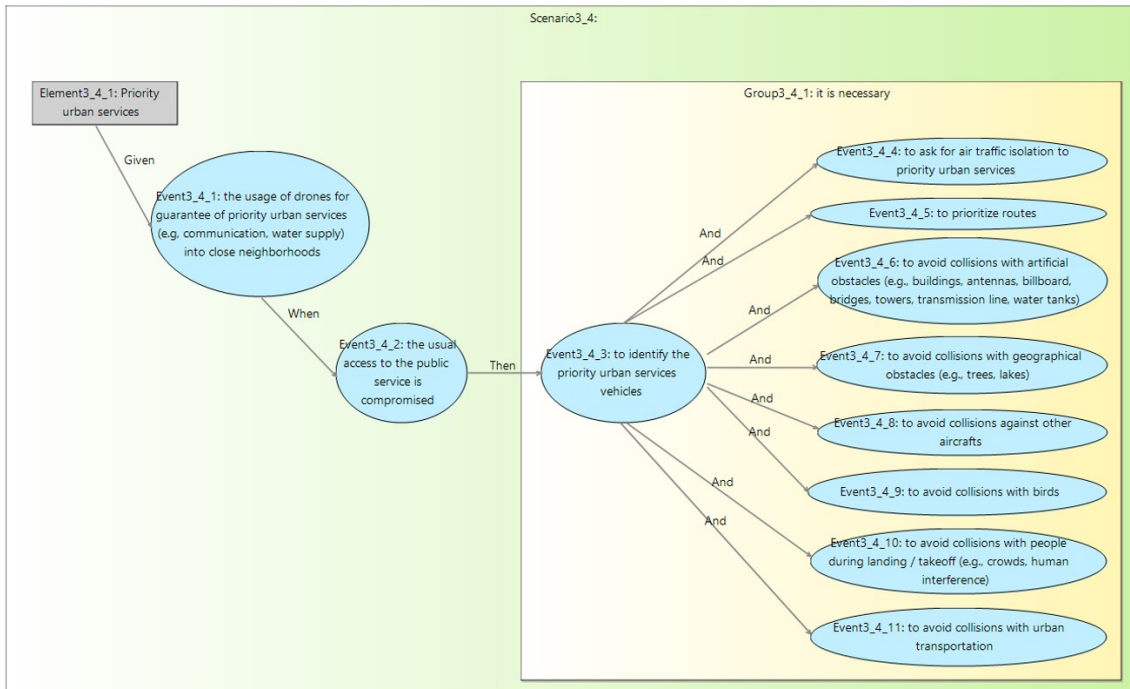
Fonte: Produção da autora.

Figura A.19 - Priority rescue services.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.20 - Priority urban services.



Fonte: Produção da autora.

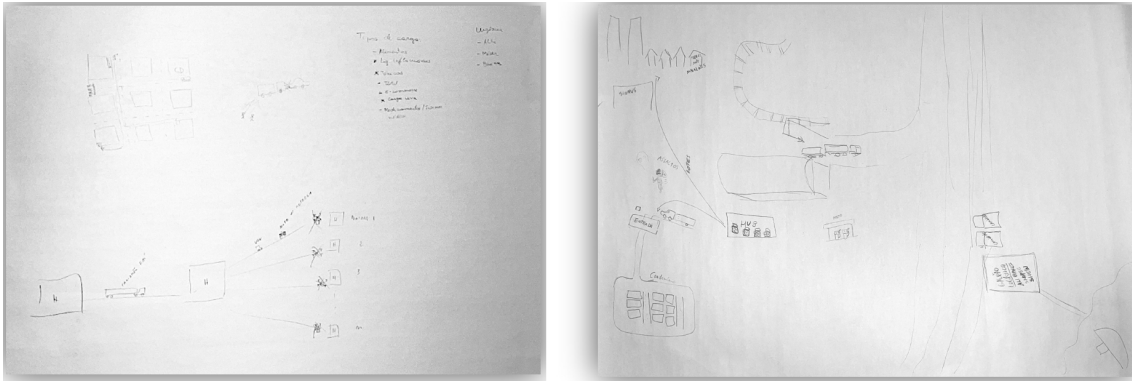
A.4 Caso de uso 4: *Safe integration of a logistic service of delivery with delivery hubs into neighborhoods*

O caso de uso 4 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer no espaço aéreo com os serviços logísticos de entrega em bairros.

A.4.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 4 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.21).

Figura A.21 - Caso de Uso 4.



Fonte: Produção da autora.

A.4.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella sytemigram-agile. As Figuras A.22 a A.26 descrevem o caso de uso 4, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

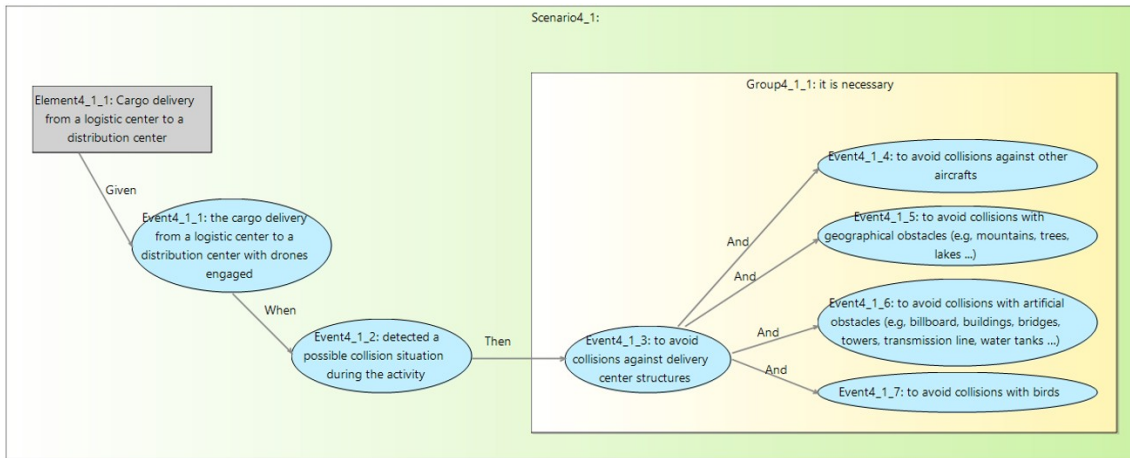
Narrative:

As <role> Airspace Regulator Entity.

I want <goal> the integration of UTM to logistic services of delivery into neighborhoods areas.

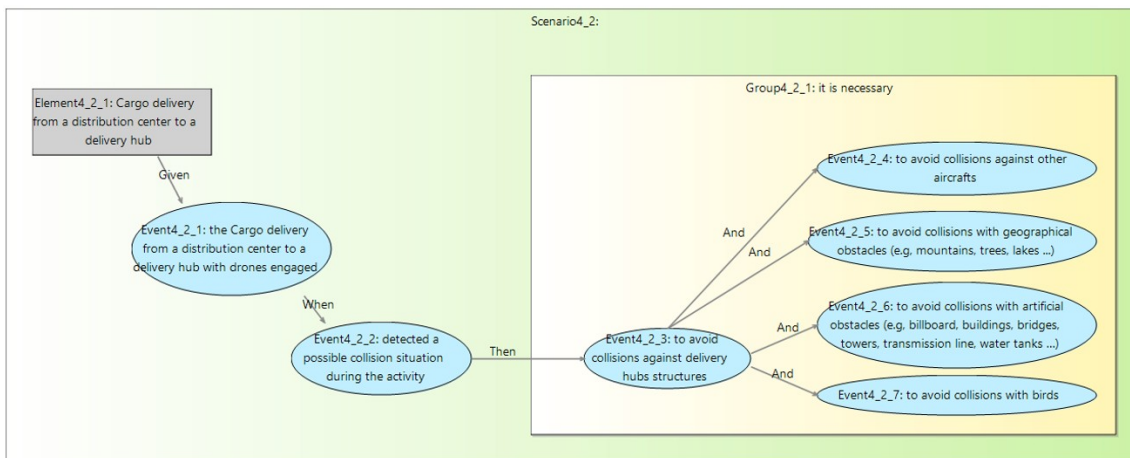
So that <benefit> I can assure safety, coordination, and effective services.

Figura A.22 - Cargo delivery from a logistic center to a distribution center.



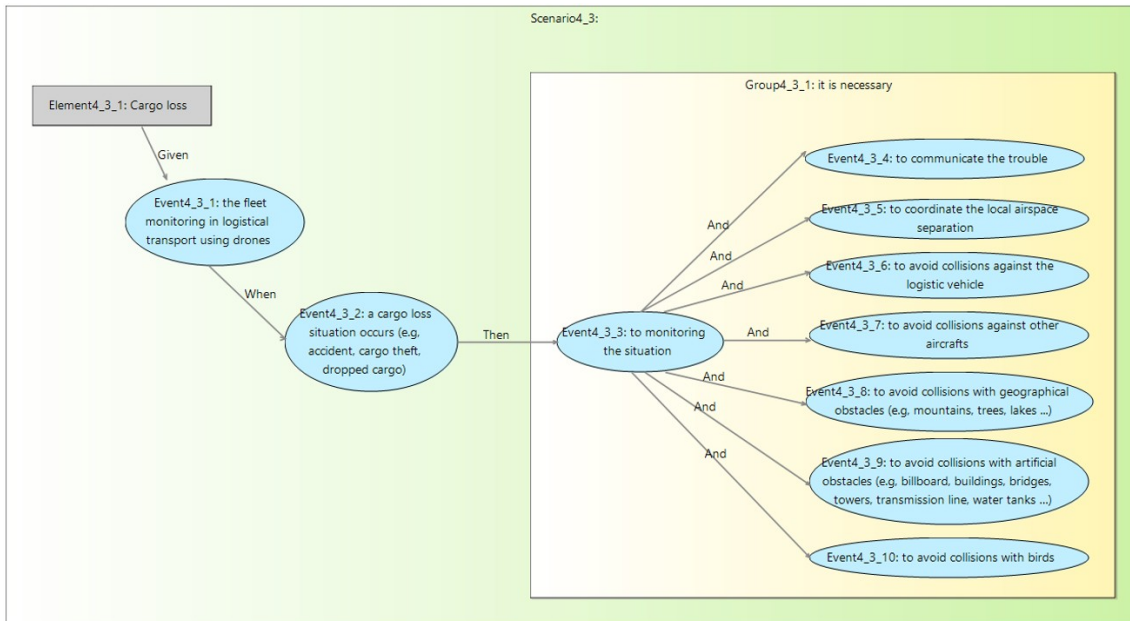
Fonte: Produção da autora.

Figura A.23 - Cargo delivery from a distribution center to a delivery hub.



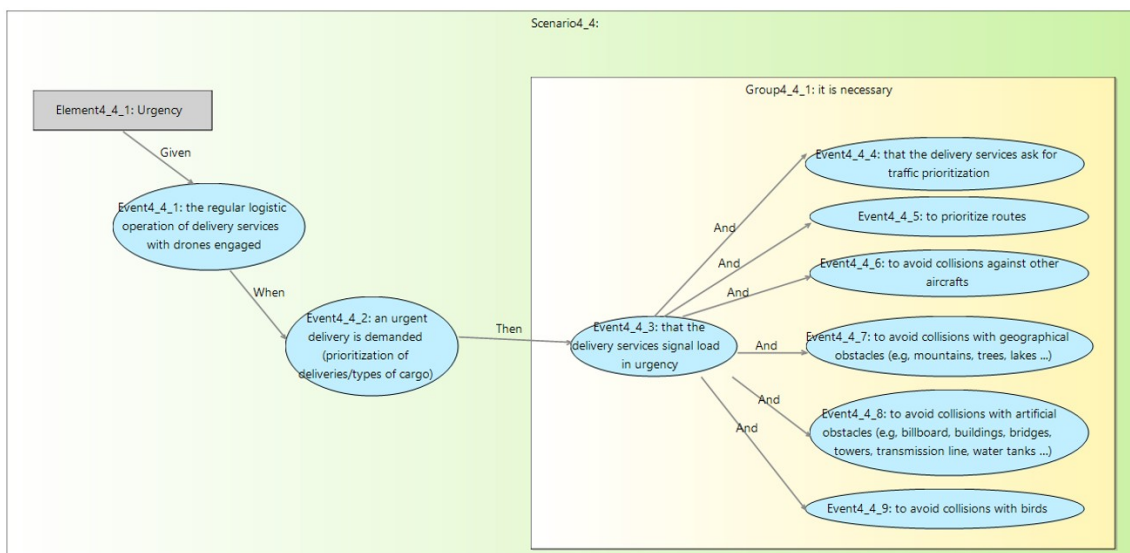
Fonte: Produção da autora.

Figura A.24 - Cargo loss.



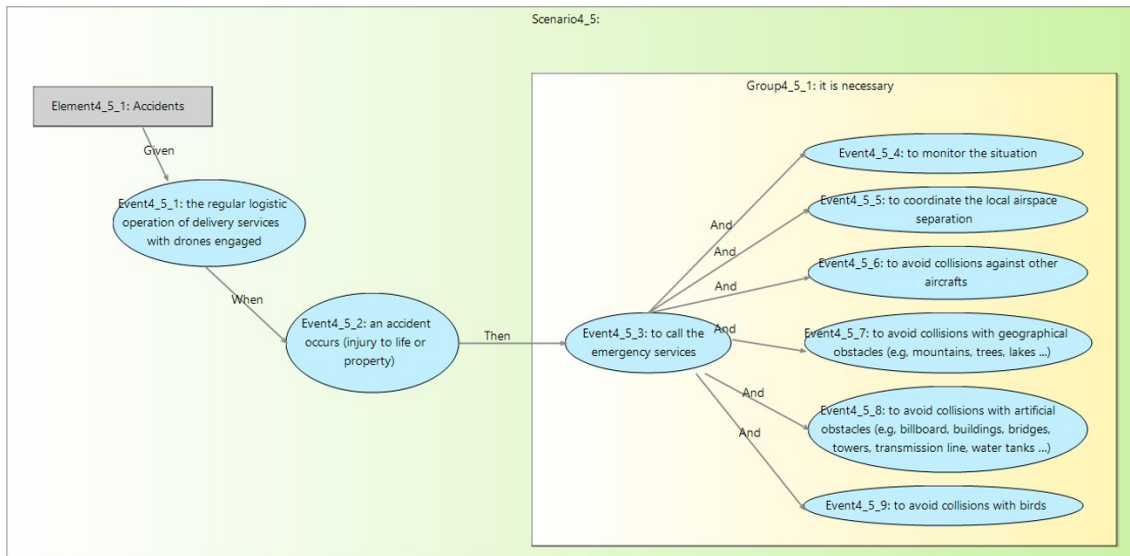
Fonte: Produção da autora.

Figura A.25 - Urgency.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.26 - Accidents.



Fonte: Produção da autora.

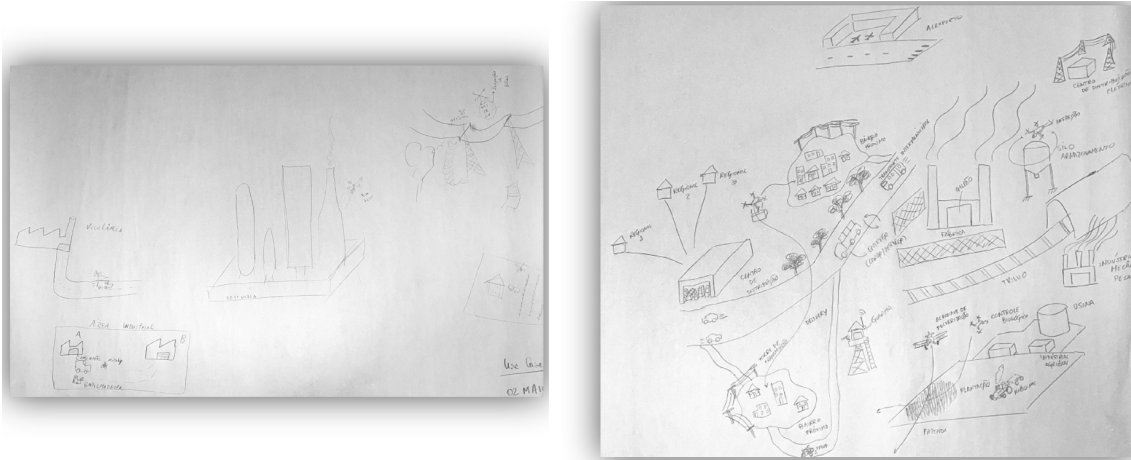
A.5 Caso de uso 5: *Safe integration of a logistic supply chain into industrial area*

O caso de uso 5 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer em áreas industriais onde drones possam ser usados para a cadeia de suprimentos.

A.5.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 5 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.27).

Figura A.27 - Caso de Uso 5.



Fonte: Produção da autora.

A.5.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella sytemigram-agile. As Figuras A.28 a A.33 descrevem o caso de uso 3, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (user needs).

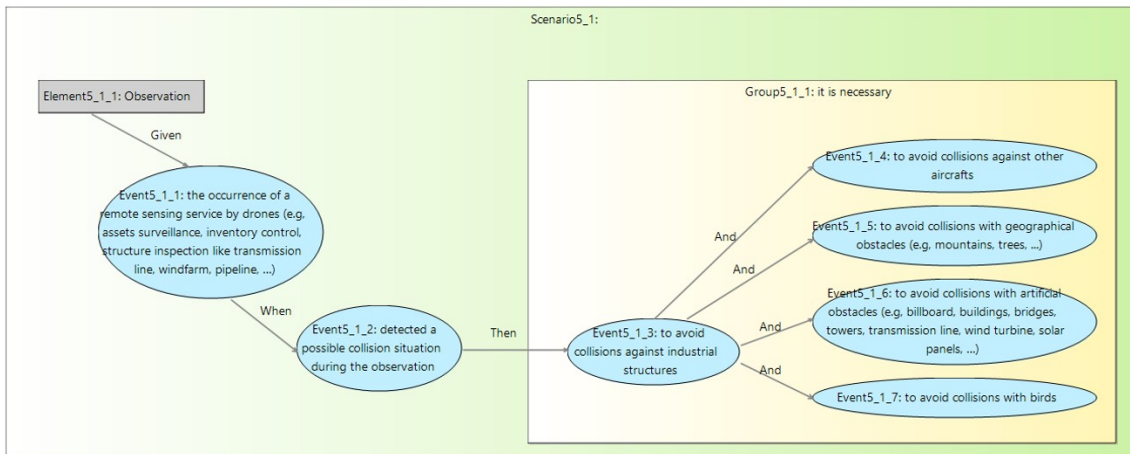
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity.*

I want <goal> *to enable UTM for logistic supply chain.*

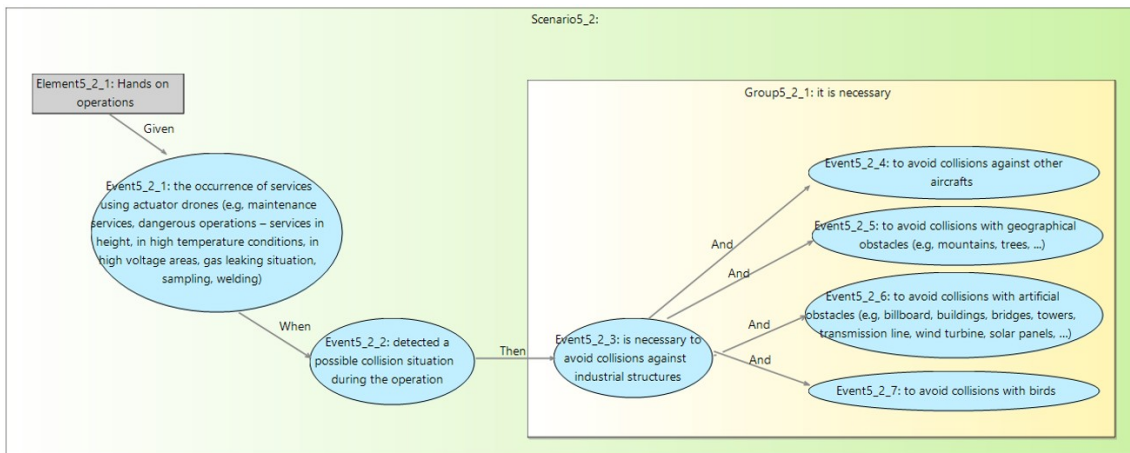
So that <benefit> *I can assure safe integration of the airspace traffic into industrial area.*

Figura A.28 - Observation.



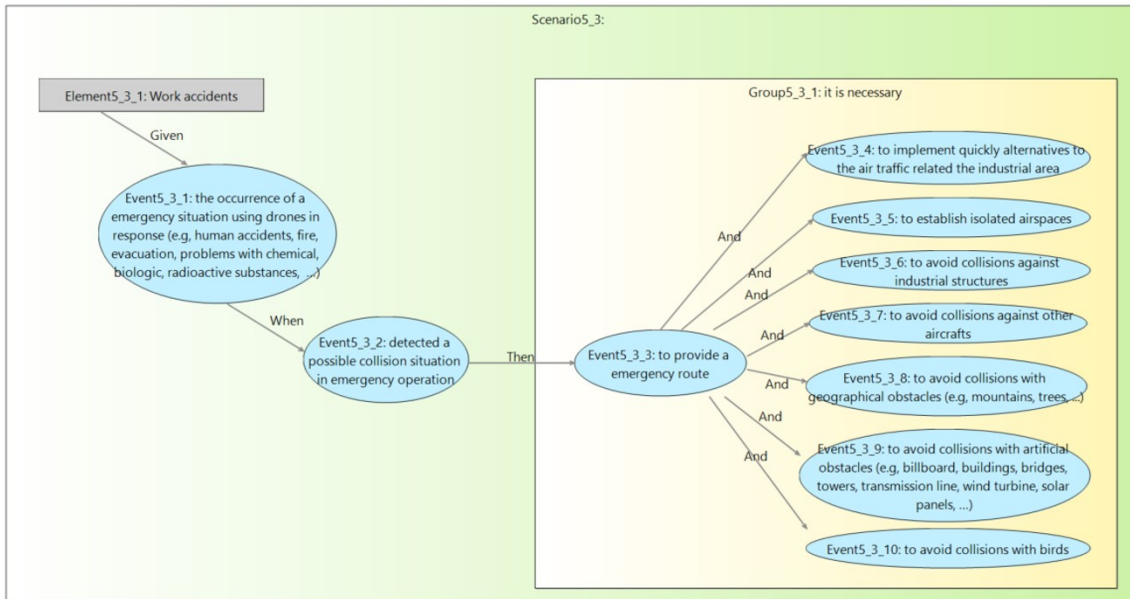
Fonte: Produção da autora.

Figura A.29 - Hands on operations.



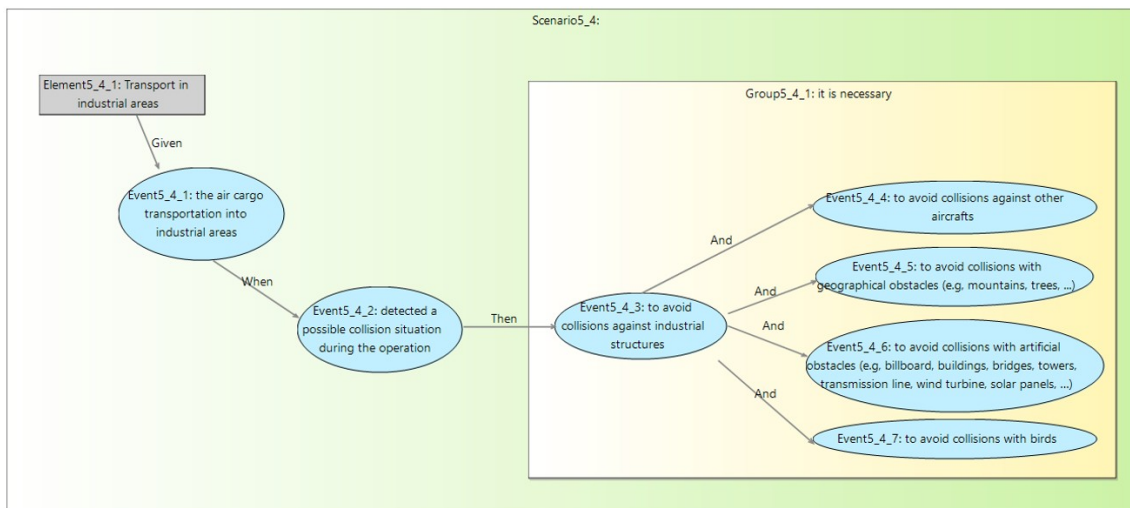
Fonte: Produção da autora.

Figura A.30 - Work accidents.



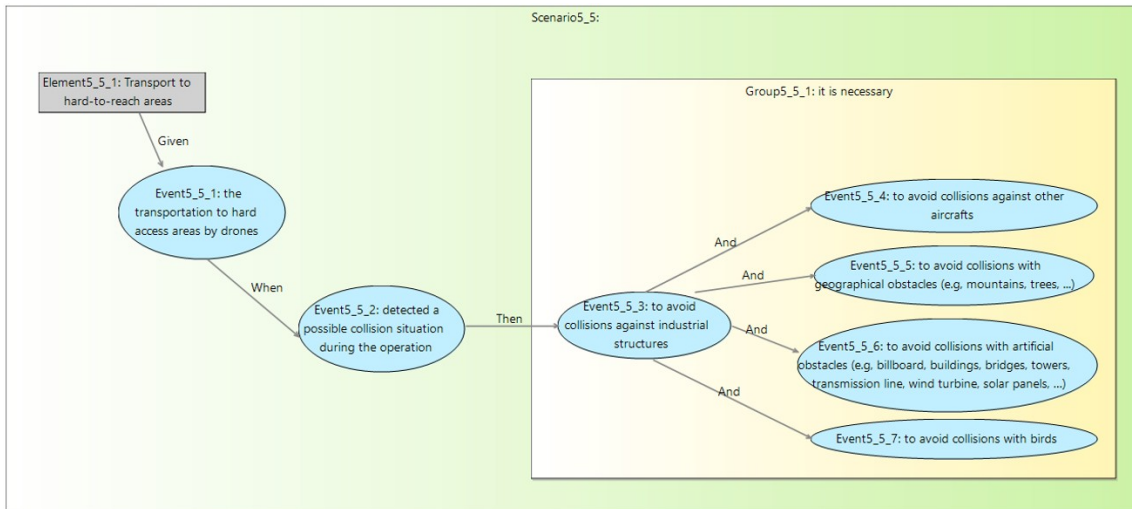
Fonte: Produção da autora.

Figura A.31 - Transport in industrial areas.



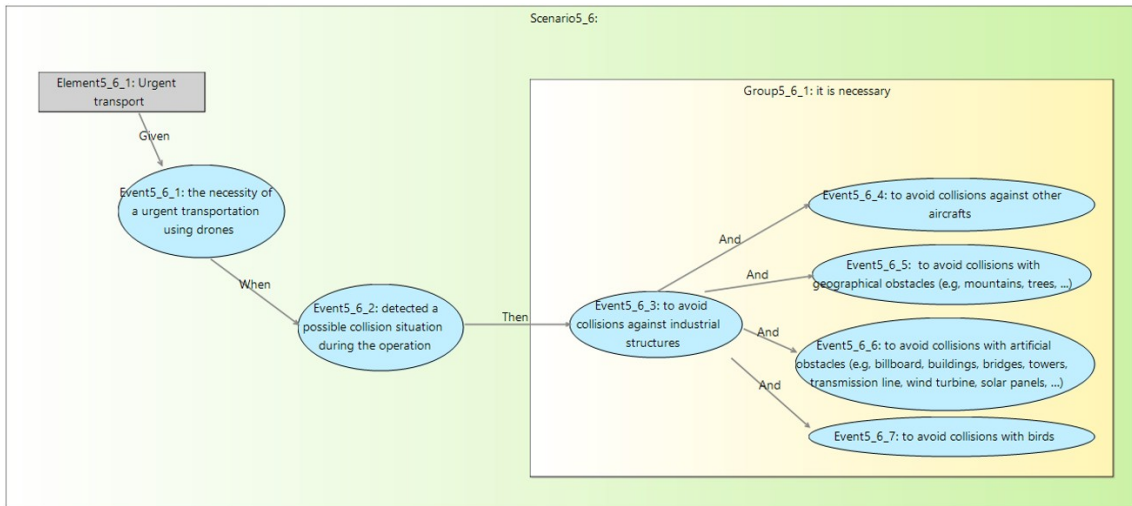
Fonte: Produção da autora.

Figura A.32 - Transport to hard-to-reach areas.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.33 - Urgent transport.



Fonte: Produção da autora.

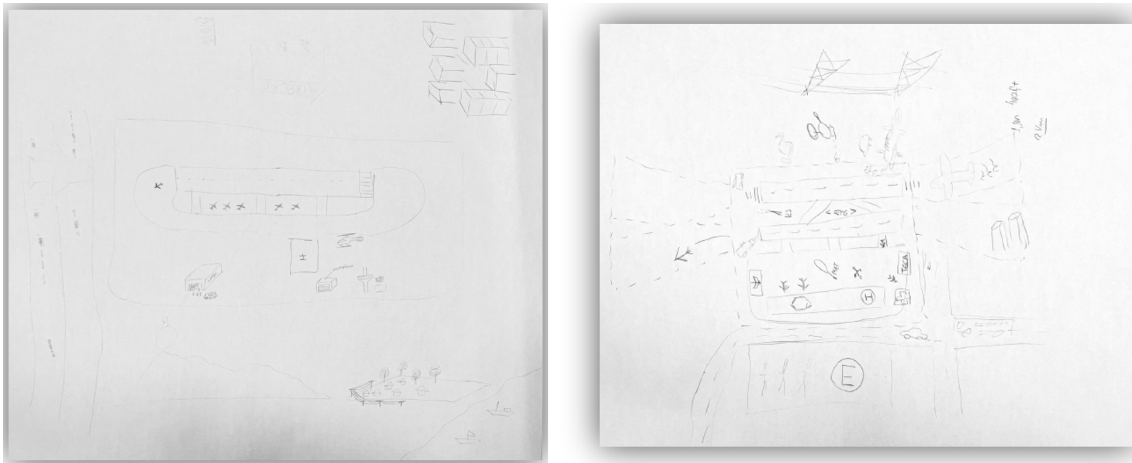
A.6 Caso de uso 6: *Safe integration of intensive airspace services in metropolitan area*

O caso de uso 6 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer no espaço aéreo perto de aeroportos.

A.6.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 6 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.34).

Figura A.34 - Caso de Uso 6.



Fonte: Produção da autora.

A.6.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella sytemigram-agile. As Figuras A.35 a A.39 descrevem o caso de uso 6, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

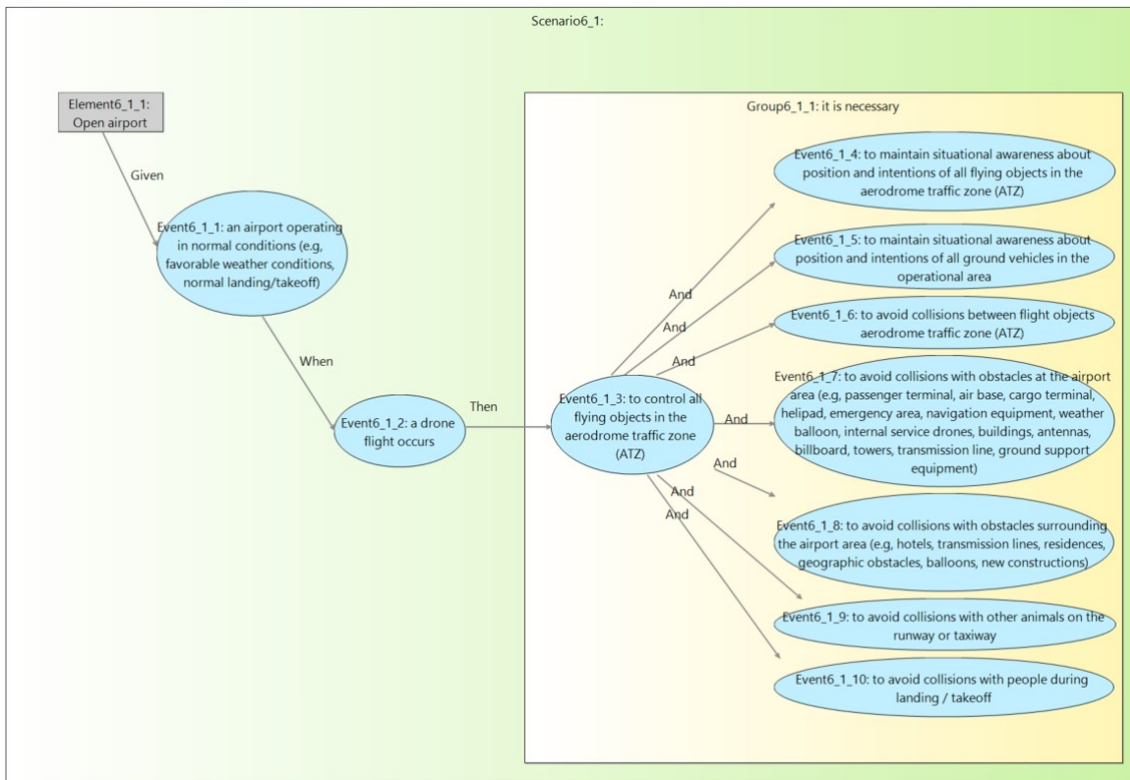
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity*

I want <goal> *the integration of UTM services closer to airport.*

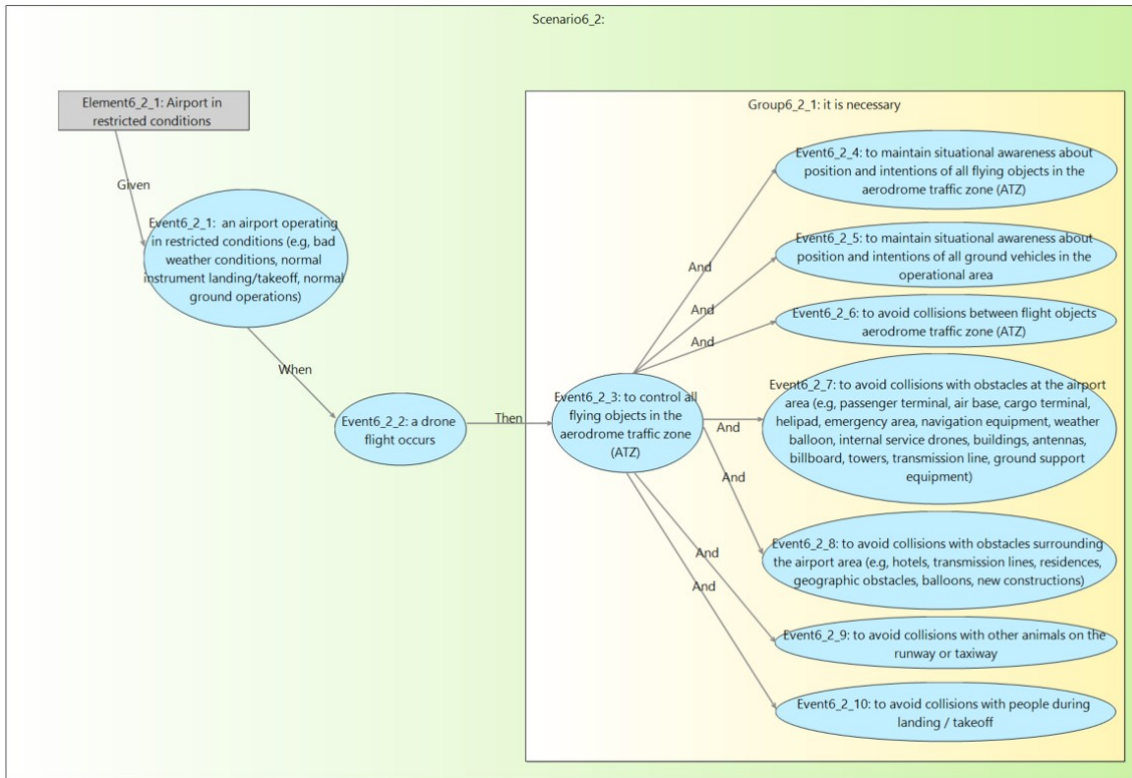
So that <benefit> *I can assure safety, coordination, and effective services.*

Figura A.35 - Open airport.



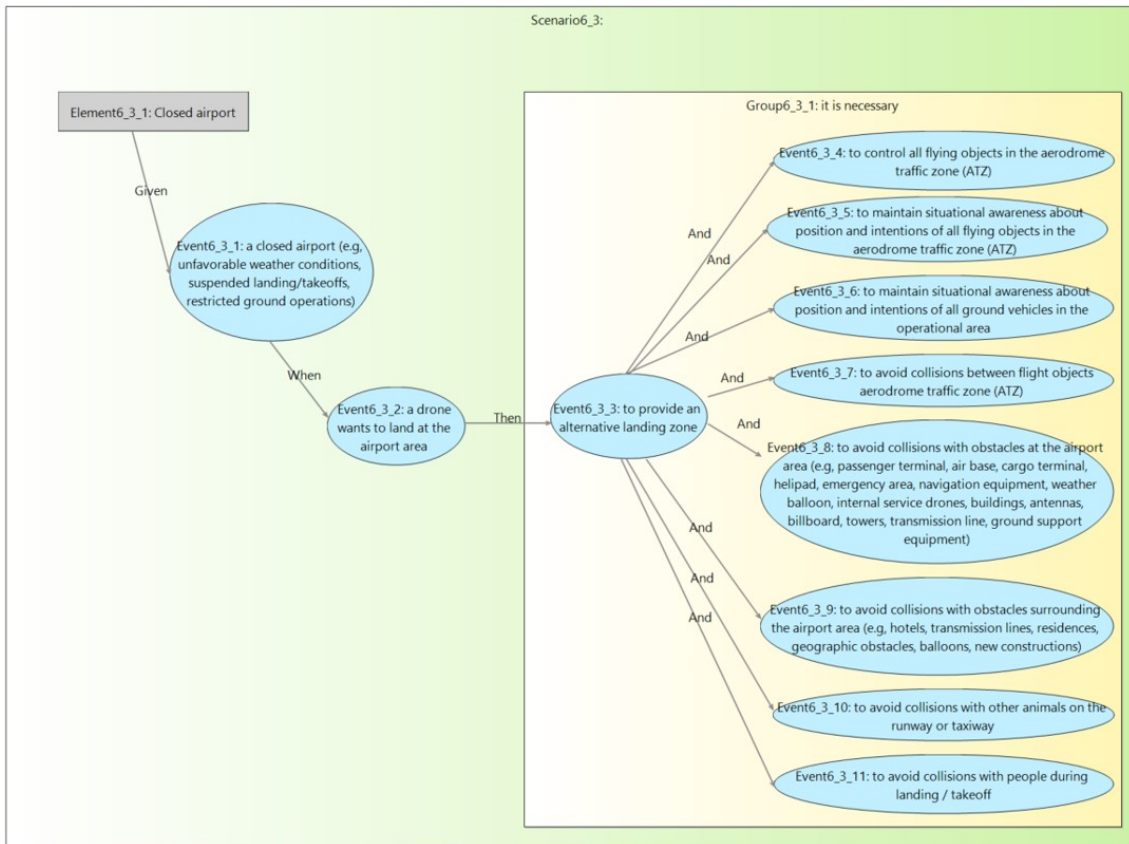
Fonte: Produção da autora.

Figura A.36 - Airport in restricted conditions.



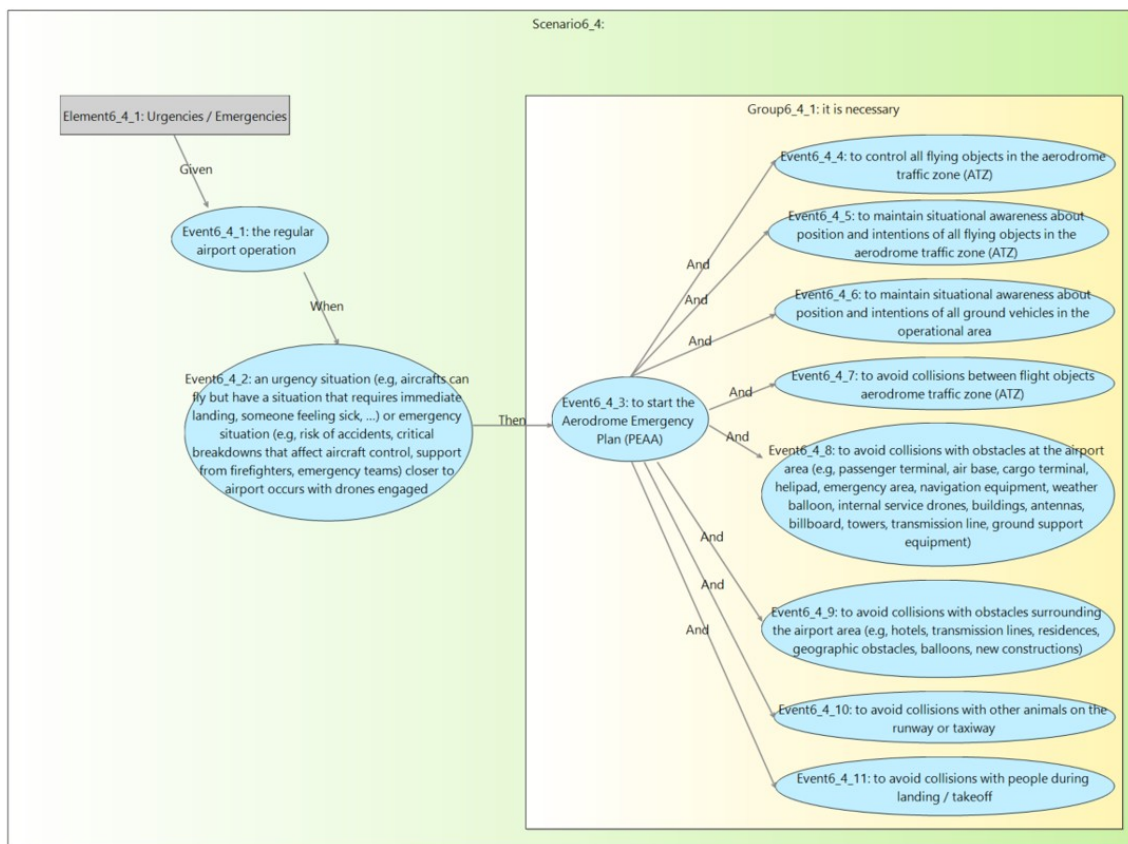
Fonte: Produção da autora.

Figura A.37 - Closed airport.



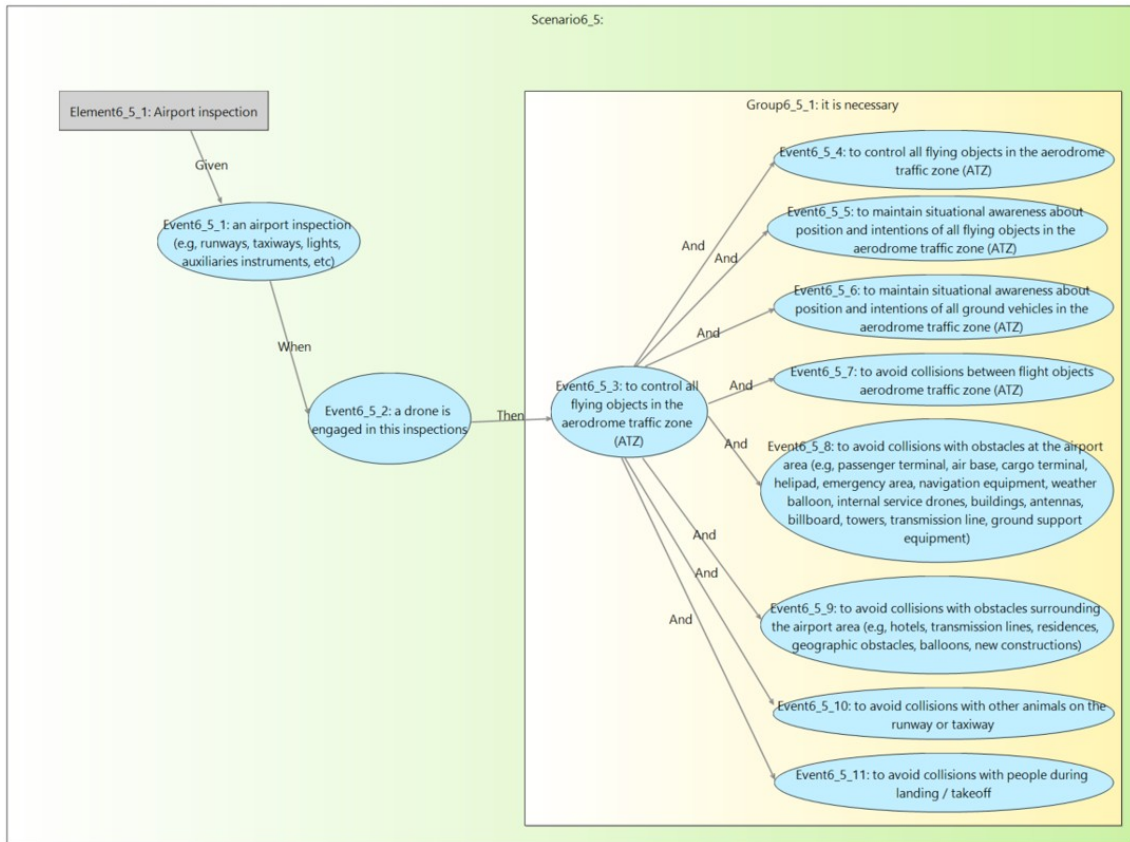
Fonte: Produção da autora.

Figura A.38 - Urgencies / Emergencies.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.39 - Airport inspection.



Fonte: Produção da autora.

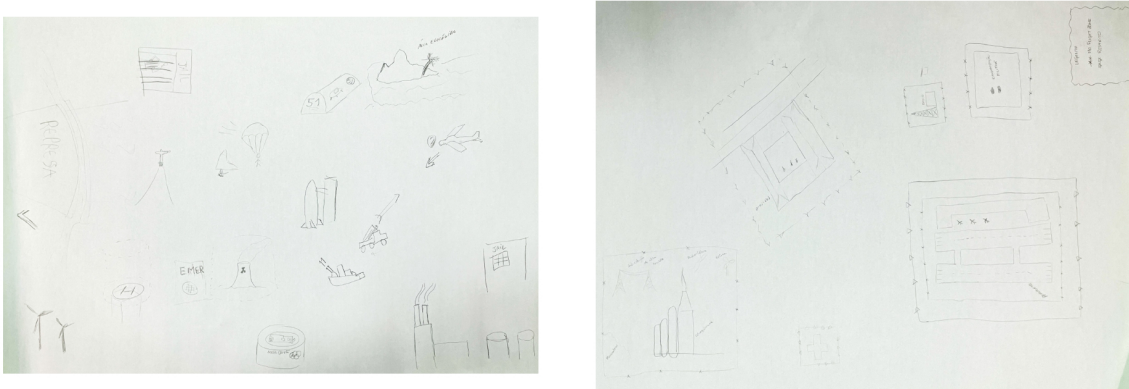
A.7 Caso de uso 7: *Safe integration of no-fly-zones*

O caso de uso 7 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer em zonas de exclusão aérea fora dos aeroportos.

A.7.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 7 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.40).

Figura A.40 - Caso de Uso 7.



Fonte: Produção da autora.

A.7.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella sytemigram-agile. As Figuras A.41 a A.45 descrevem o caso de uso 2, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

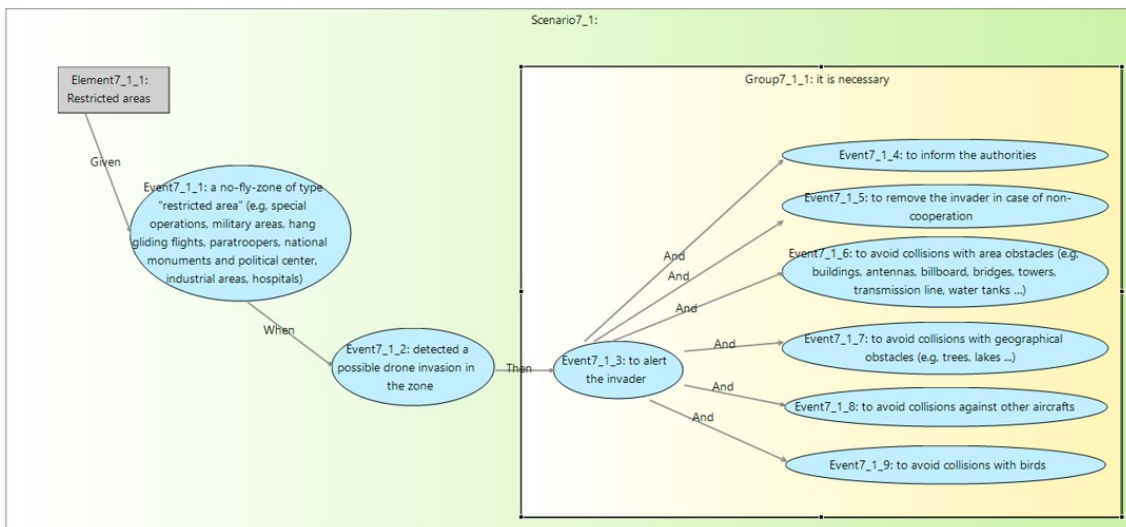
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity.*

I want <goal> *the integration of UTM services of no-fly-zones.*

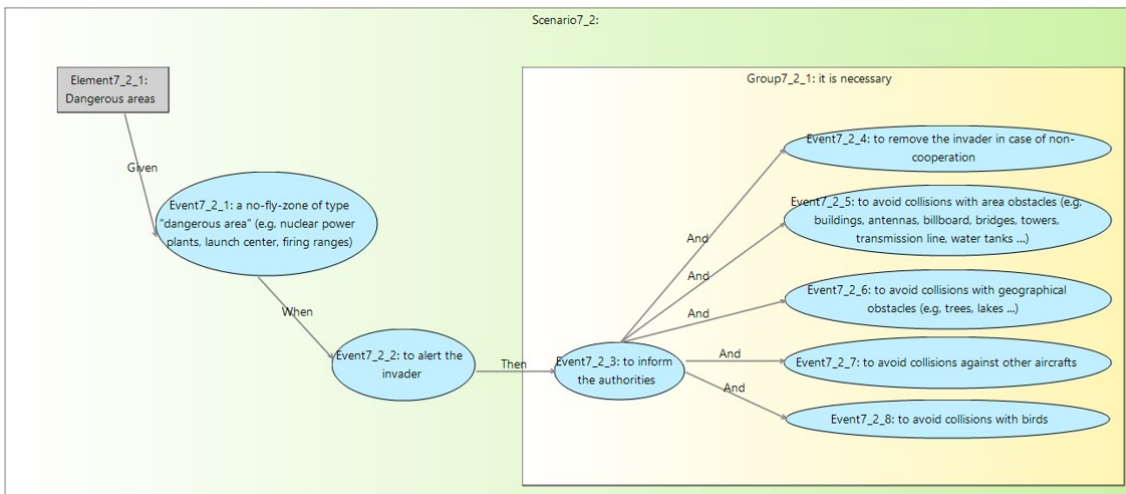
So that <benefit> *I can assure safety, coordination, and effective services.*

Figura A.41 - Restricted areas.



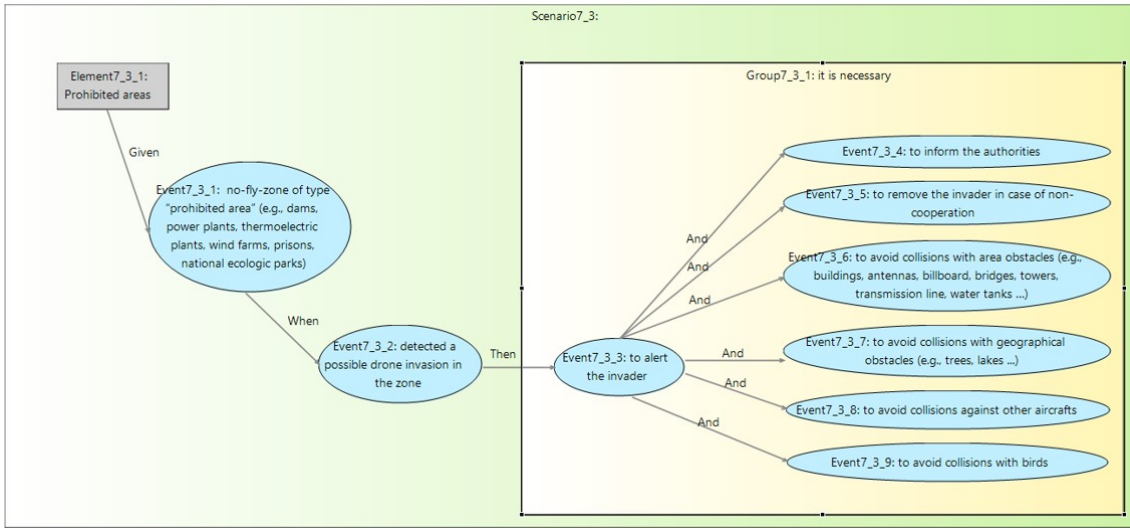
Fonte: Produção da autora.

Figura A.42 - Dangerous areas.



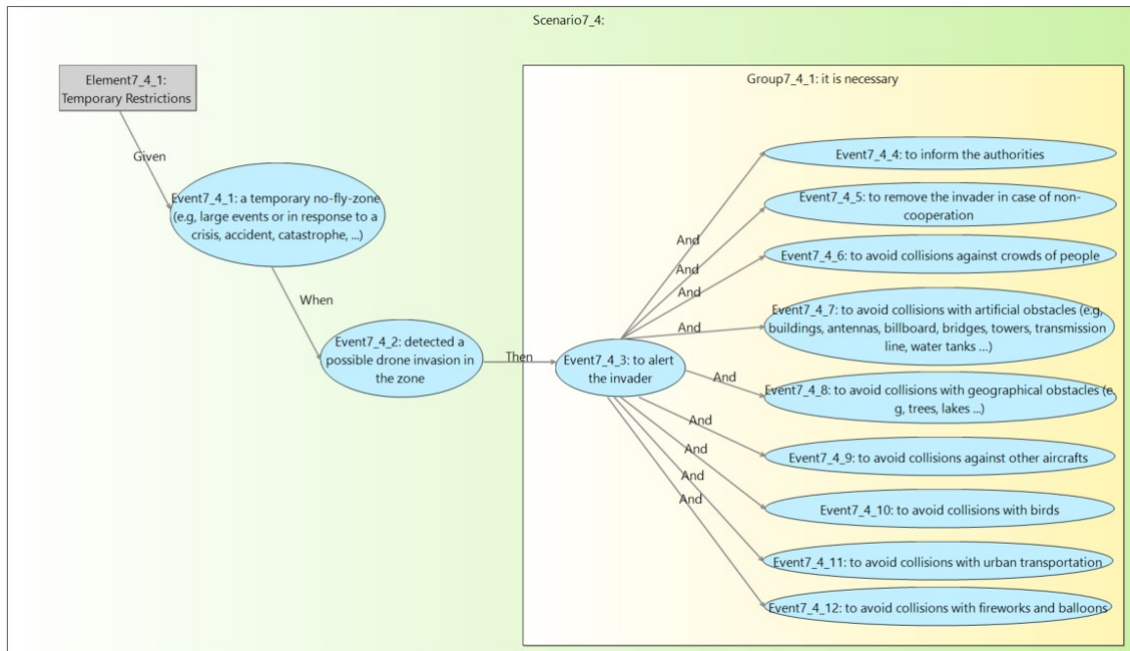
Fonte: Produção da autora.

Figura A.43 - Prohibited areas.



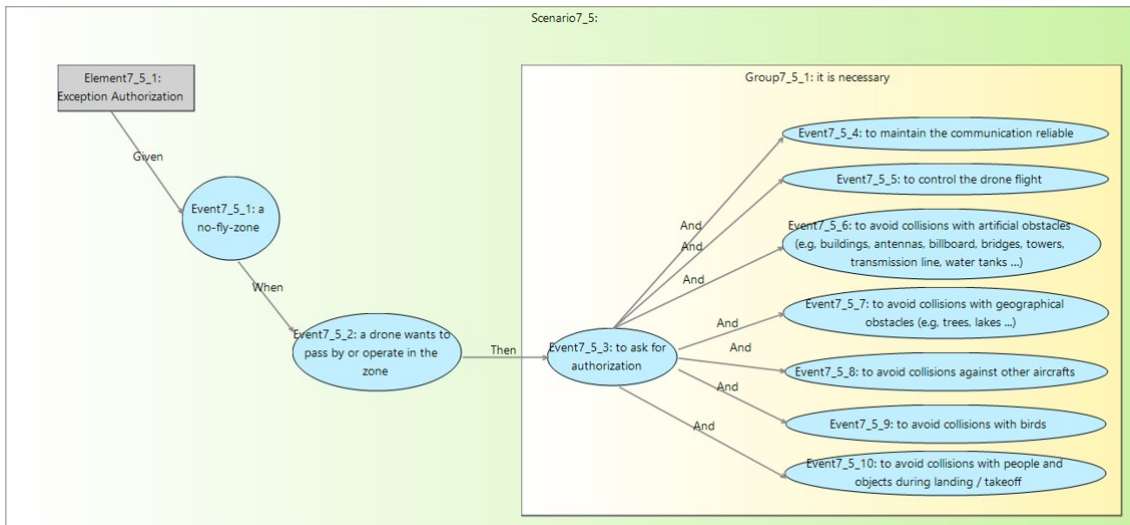
Fonte: Produção da autora.

Figura A.44 - Temporary restrictions.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.45 - Exception authorization.



Fonte: Produção da autora.

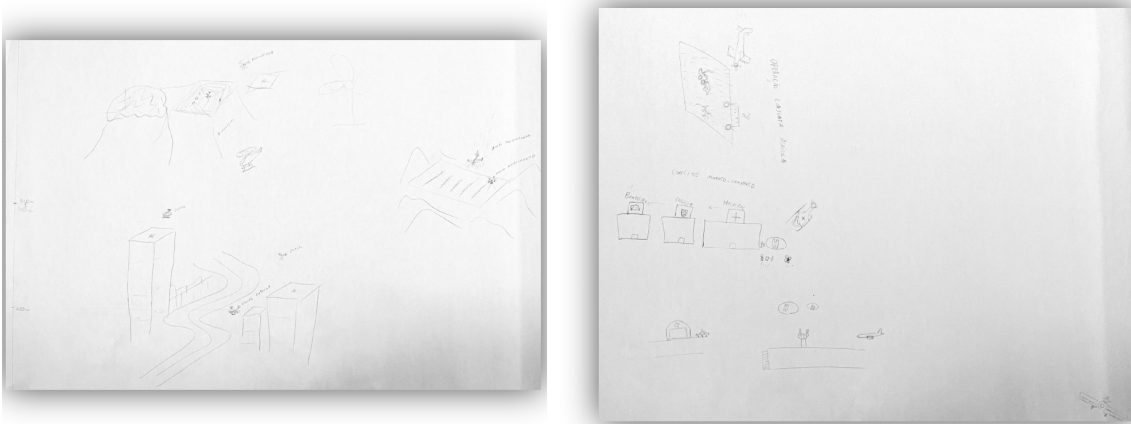
A.8 Caso de uso 8: *Safe integration of hybrid (manned and unmanned) services*

O caso de uso 8 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer no espaço aéreo em áreas com serviços híbridos.

A.8.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 8 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.46).

Figura A.46 - Caso de Uso 8.



Fonte: Produção da autora.

A.8.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella sytemigram-agile. As Figuras A.47 a A.53 descrevem o caso de uso 8, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

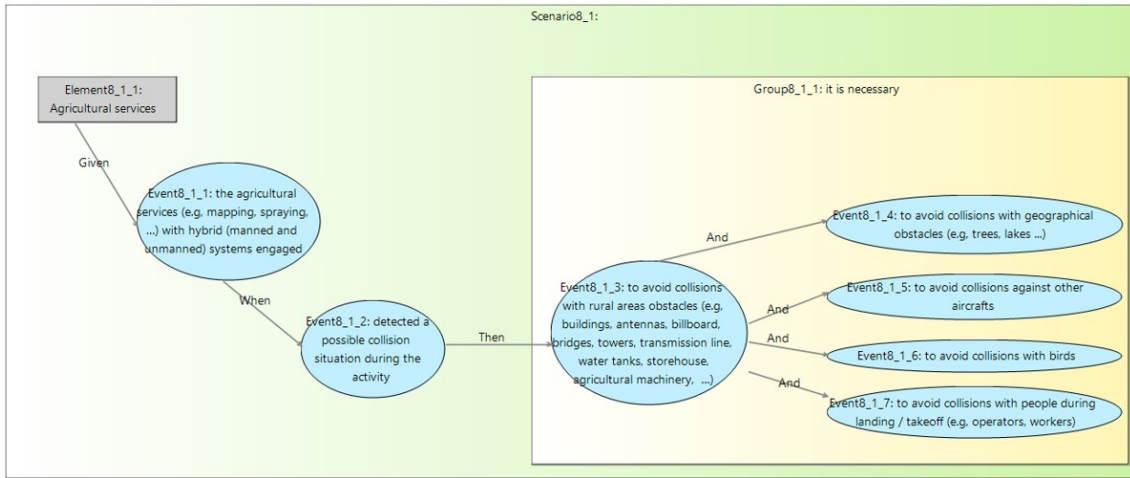
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity.*

I want <goal> *the integration of hybrid (manned and unmanned) services UTM on airspace.*

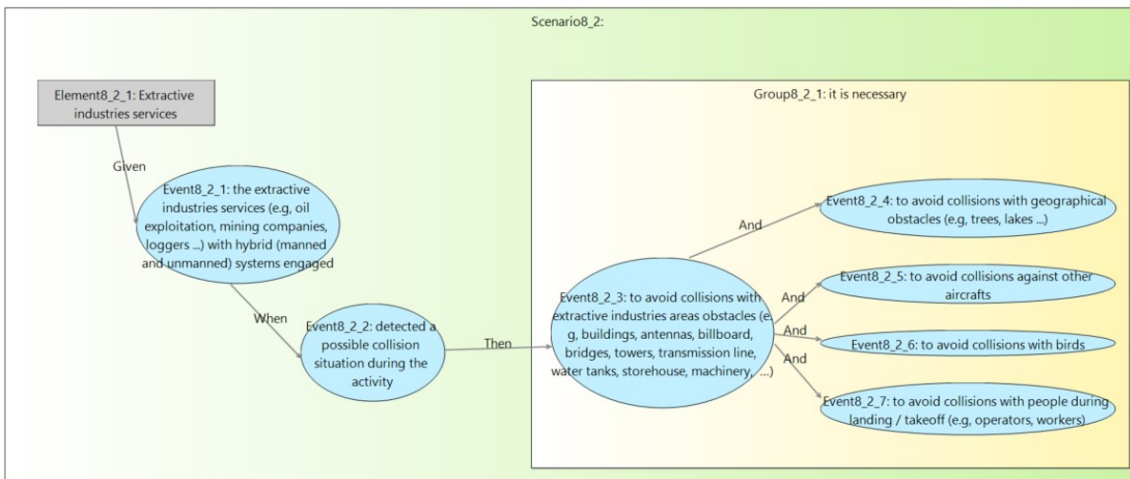
So that <benefit> *I can assure safety, coordination, and effective services.*

Figura A.47 - Agricultural services.



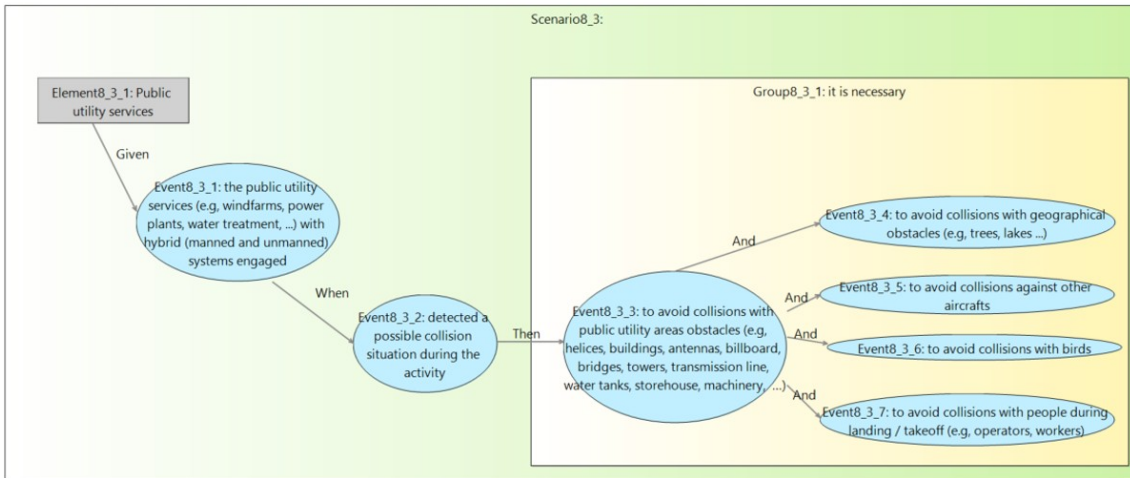
Fonte: Produção da autora.

Figura A.48 - Extractive industries services.



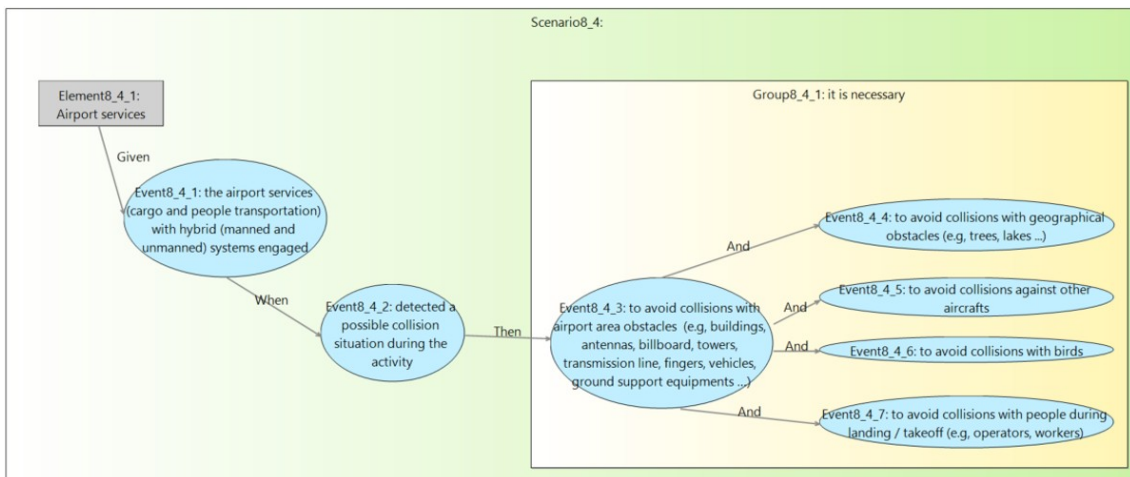
Fonte: Produção da autora.

Figura A.49 - Public utility services.



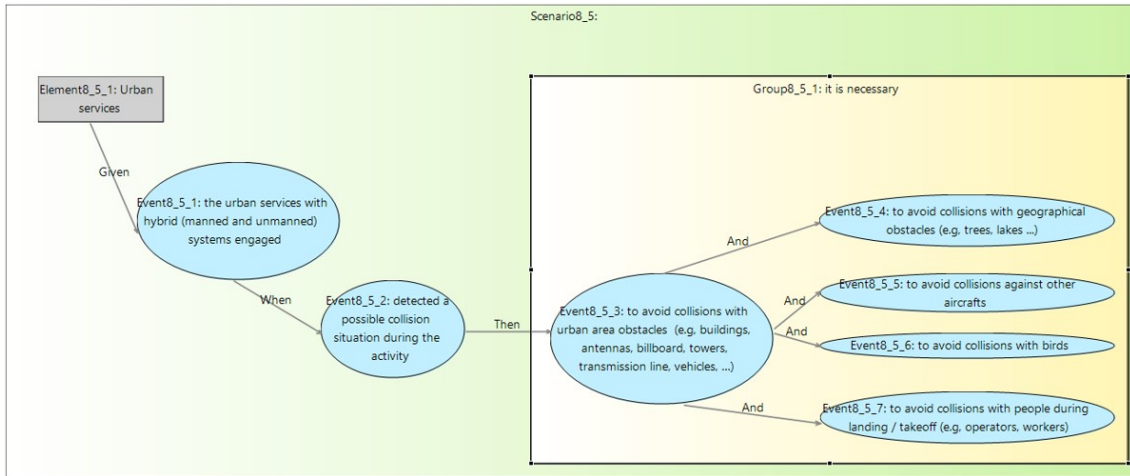
Fonte: Produção da autora.

Figura A.50 - Airport services.



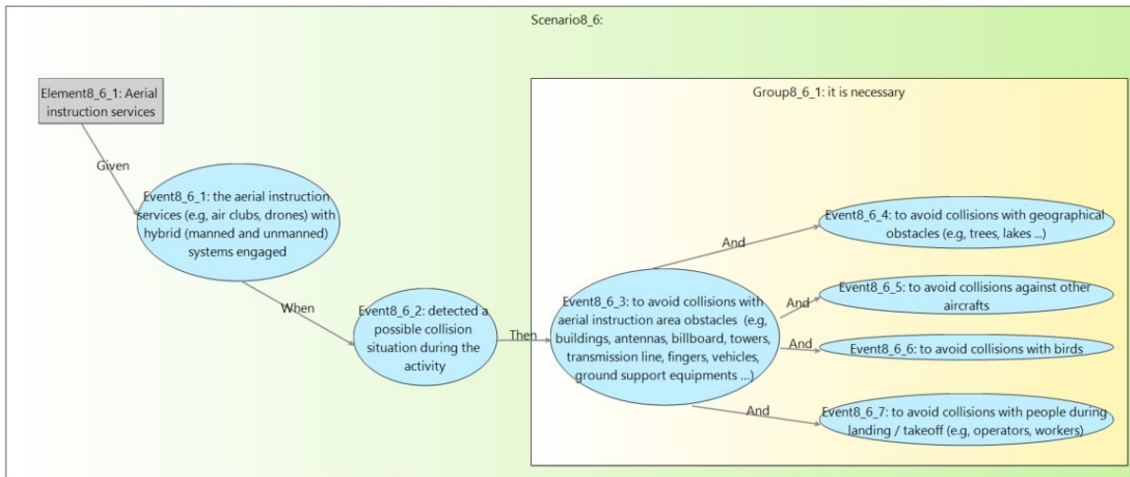
Fonte: Produção da autora.

Figura A.51 - Urban services.



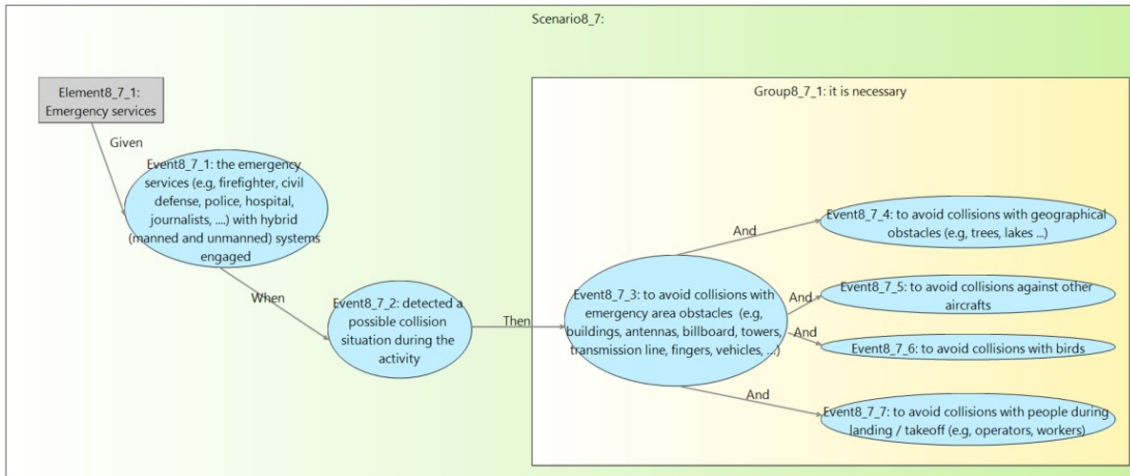
Fonte: Produção da autora.

Figura A.52 - Aerial instruction services.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.53 - Emergency services.



Fonte: Produção da autora.

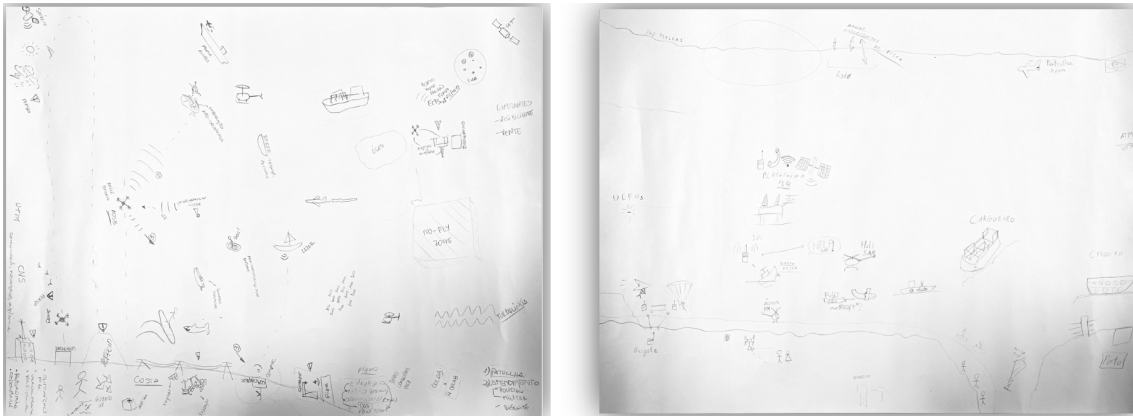
A.9 Caso de uso 9: *Safe integration of UTM services to maritime surveillance*

O caso de uso 9 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer na vigilância marítima.

A.9.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 9 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.54).

Figura A.54 - Caso de Uso 9.



Fonte: Produção da autora.

A.9.2 User-stories

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella systemigram-agile. As Figuras A.55 a A.60 descrevem o caso de uso 9, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (*user needs*).

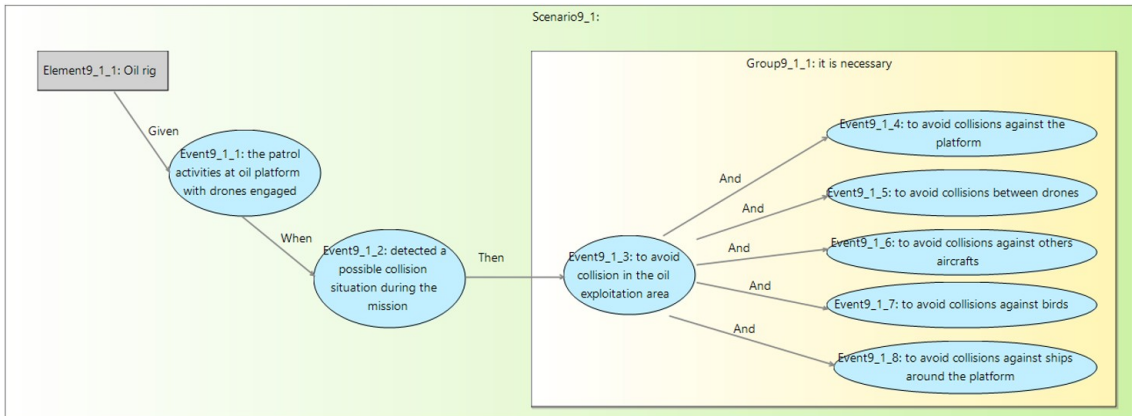
Narrative:

As <role> *Airspace Regulator Entity.*

I want <goal> *a coordinate maritime surveillance in the AJB (Brazilian Jurisdictional Waters).*

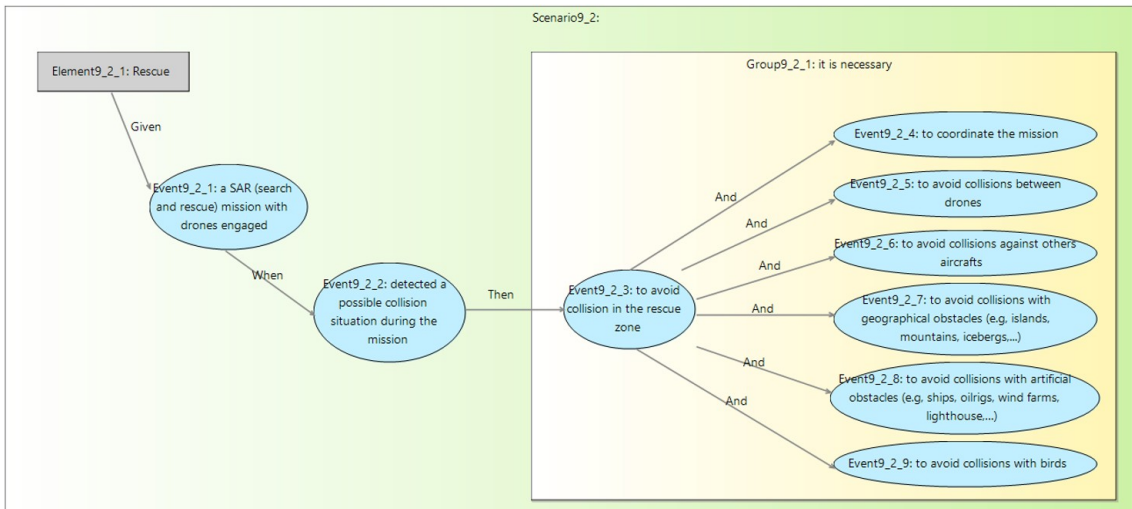
So that <benefit> *I can assure a situational awareness for a safe air traffic.*

Figura A.55 - Oil rig.



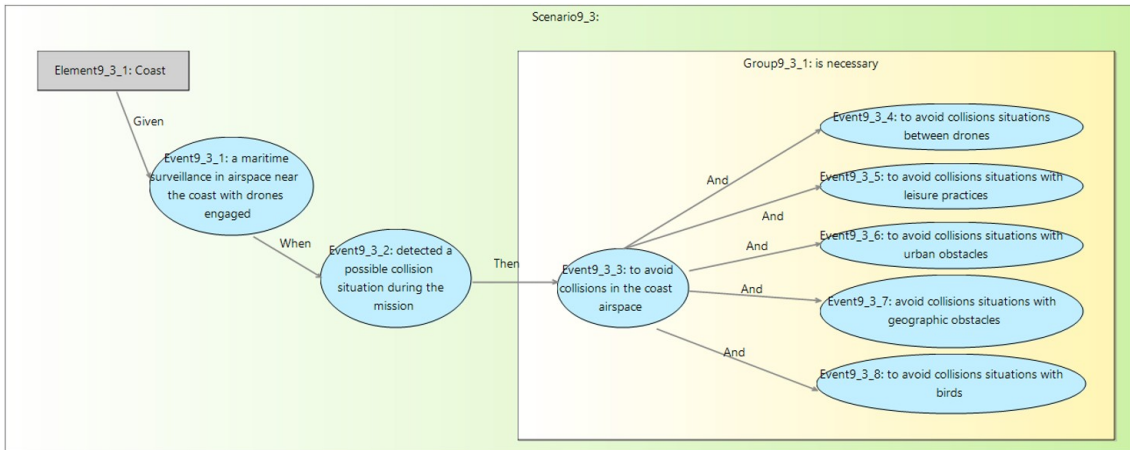
Fonte: Produção da autora.

Figura A.56 - Rescue.



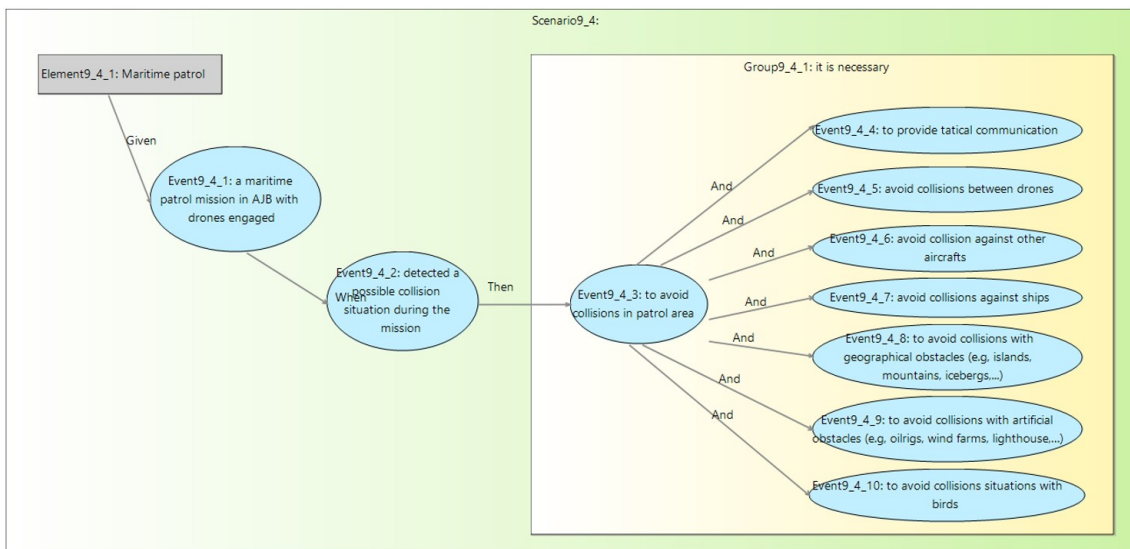
Fonte: Produção da autora.

Figura A.57 - Coast.



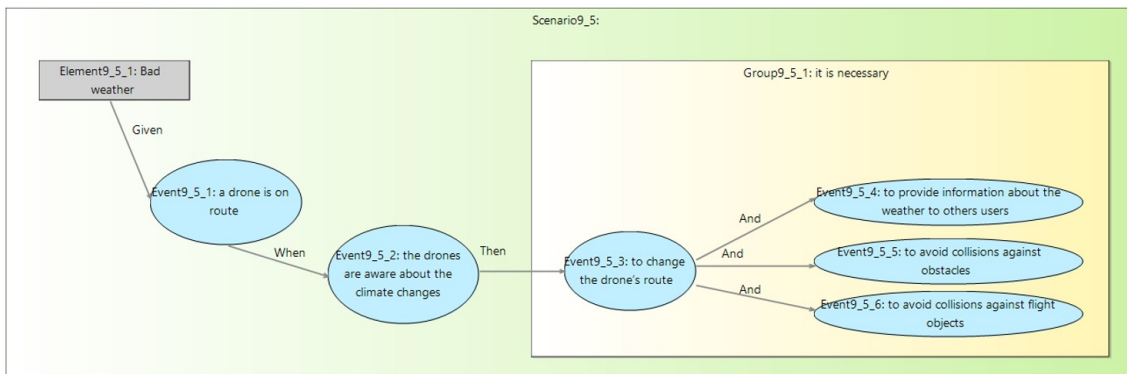
Fonte: Produção da autora.

Figura A.58 - Maritime patrol.



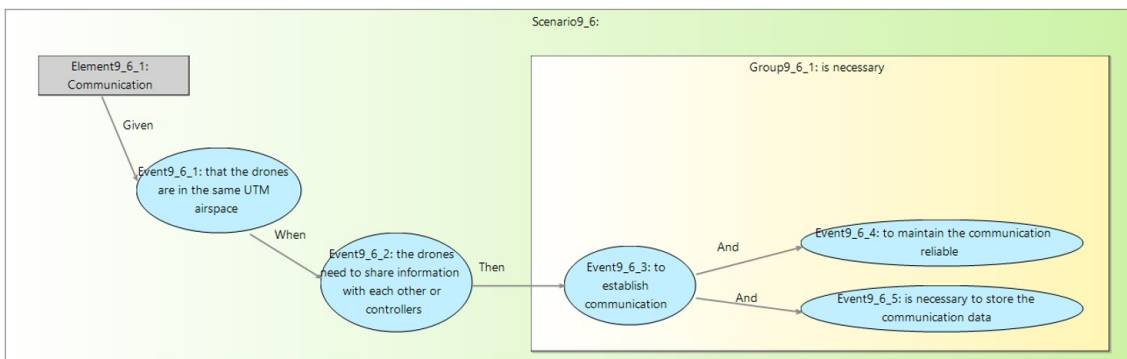
Fonte: Produção da autora.

Figura A.59 - Bad weather.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.60 - Communication.



Fonte: Produção da autora.

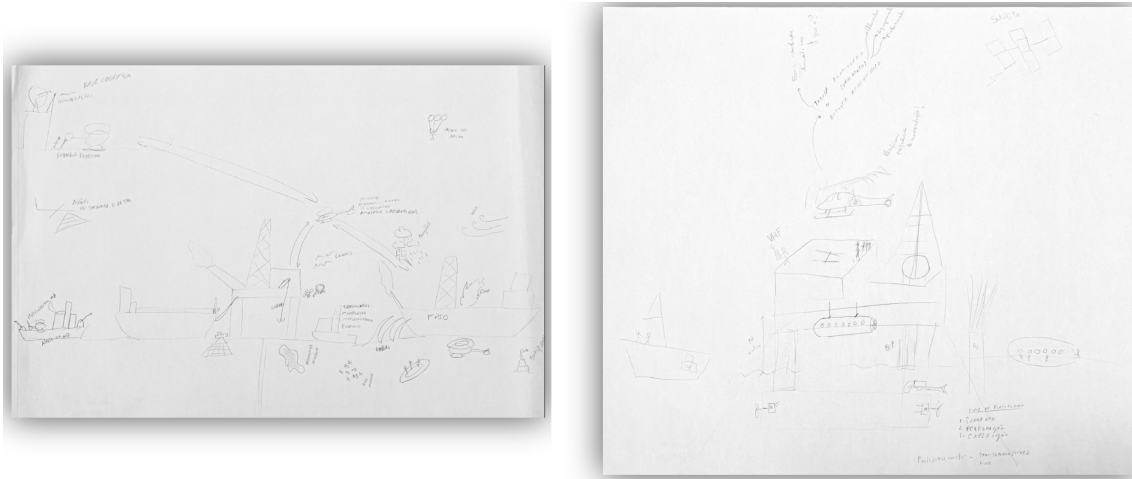
A.10 Caso de uso 10: *Safe integration of UTM services to UAV delivery into oil platform*

O caso de uso 10 abrange as situações problemáticas que podem ocorrer na entrega marítima de longa distância em plataformas de petróleo.

A.10.1 *Rich-pictures*

Em reunião para descrição do caso de uso 10 e levantamento de possíveis cenários, foram recolhidas duas figuras-ricas (Figura A.61).

Figura A.61 - Caso de Uso 10.



Fonte: Produção da autora.

A.10.2 *User-stories*

As figuras-ricas geraram os cenários que foram detalhados por meio de histórias de usuários, que inclui uma narrativa explicativa e uma descrição com auxílio do plugin Capella systemigram-agile. As Figuras A.62 a A.67 descrevem o caso de uso 3, que podem ser por fim transcritas em necessidades dos usuários (user needs).

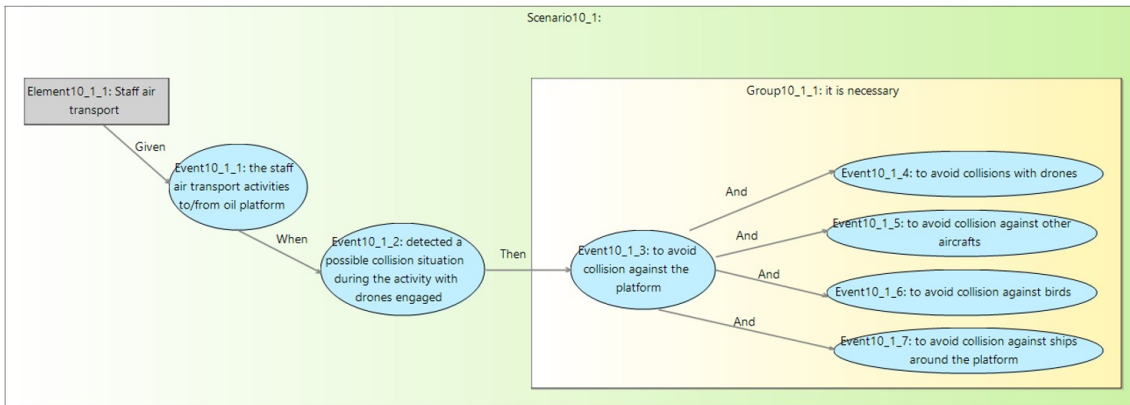
Narrative:

As <role> Airspace Regulator Entity.

I want <goal> the integration of UTM services to UAV delivery in offshore areas.

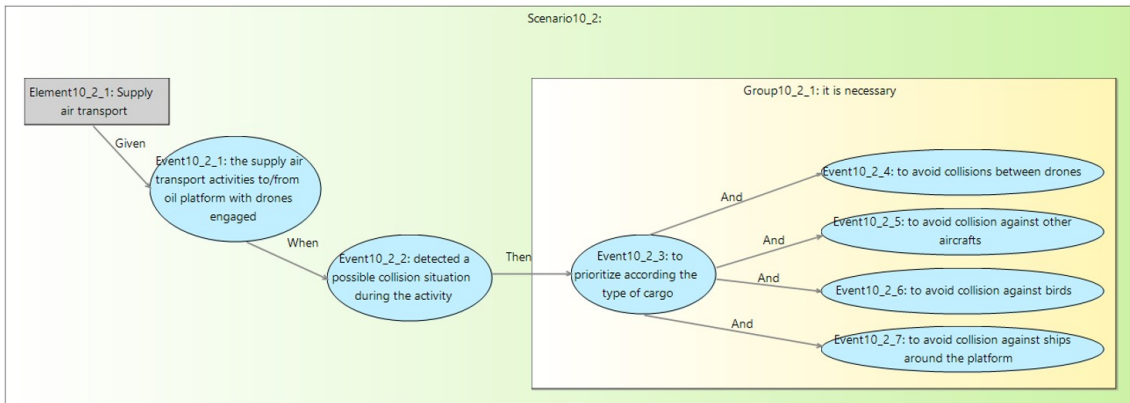
So that <benefit> I can assure safety, coordination, and efficient services.

Figura A.62 - Staff air transport.



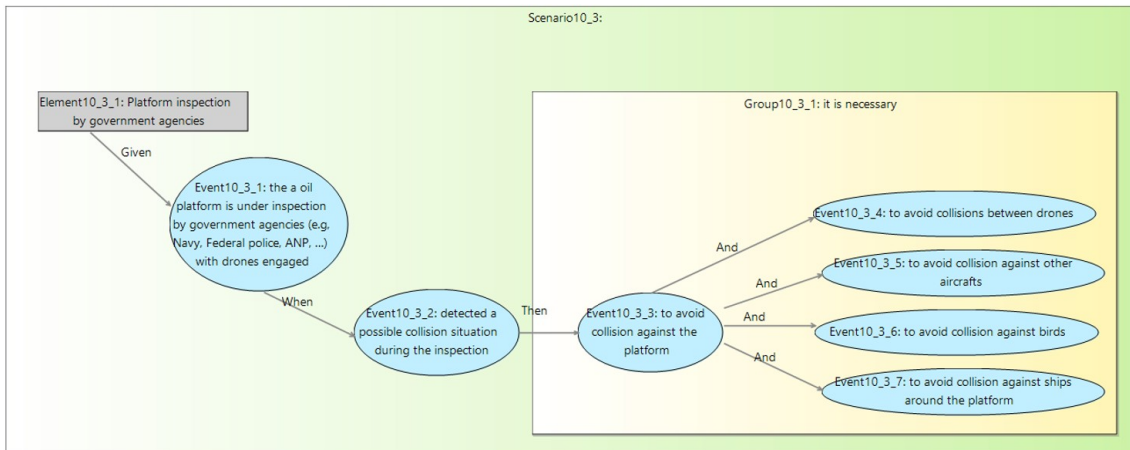
Fonte: Produção da autora.

Figura A.63 - Supply air transport.



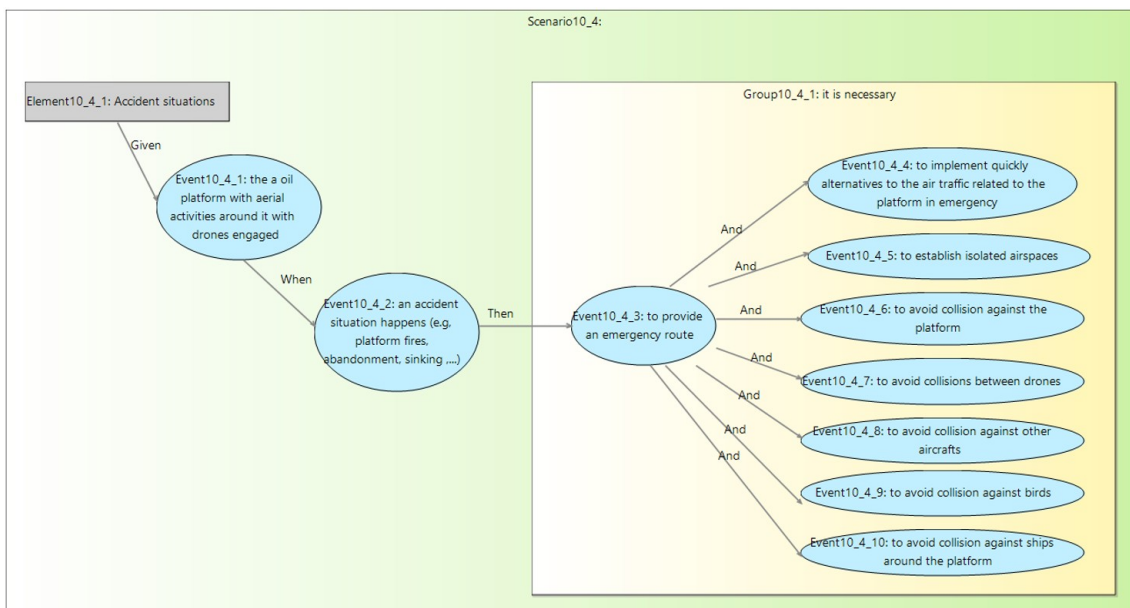
Fonte: Produção da autora.

Figura A.64 - Platform inspection by government agencies.



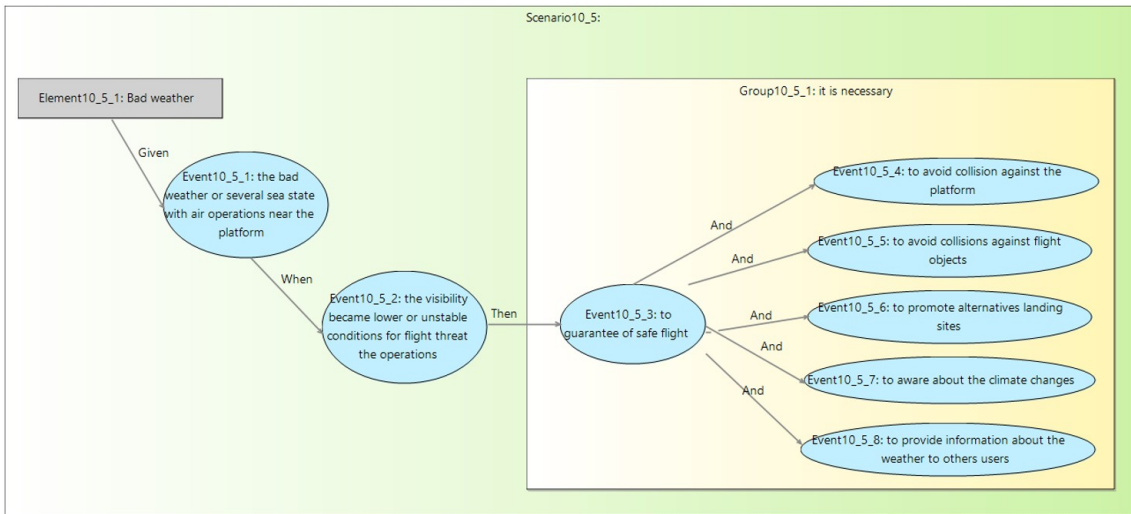
Fonte: Produção da autora.

Figura A.65 - Accident situations.



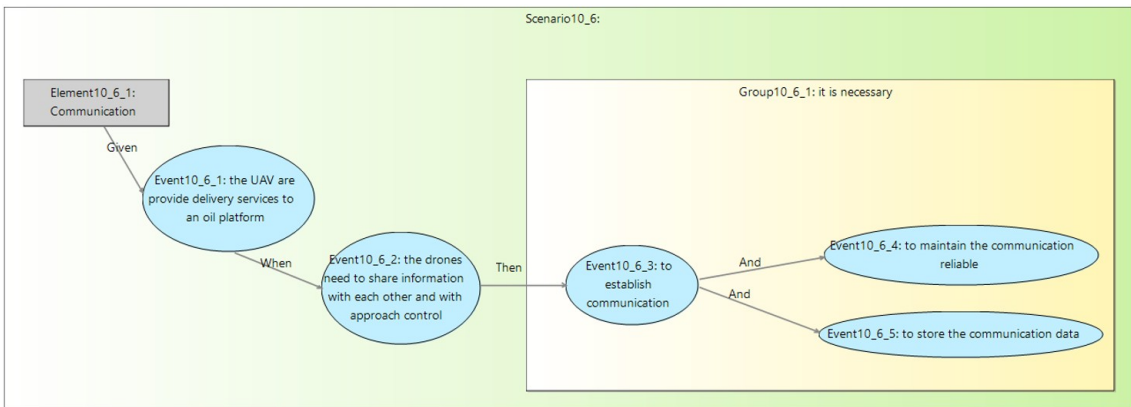
Fonte: Produção da autora.

Figura A.66 - Bad weather.



Fonte: Produção da autora.

Figura A.67 - Communication.



Fonte: Produção da autora.

ANEXO A - ARTIGOS PUBLICADOS

Este anexo apresenta os artigos publicados ao longo do trabalho de desenvolvimento da presente tese.

A.1 *Experiences with using ears for stakeholder requirements development of the safe integration of unmanned aircrafts in the airspace project*

Artigo publicado na Revista Observatório de La Economia Latinoamericana em janeiro de 2024.

Classificação Qualis: conceito A4 na Engenharia III – Qualis 2017-2020



Experiences with using ears for stakeholder requirements development of the safe integration of unmanned aircrafts in the airspace project

Experiências com o uso do ears para o desenvolvimento de requisitos das partes interessadas para a integração segura de aeronaves não tripuladas no projeto do espaço aéreo

DOI: 10.55905/oelv22n1-152

Recebimento dos originais: 01/12/2023

Aceitação para publicação: 02/01/2024

Priscila Renata Silva Barros

Doctoral Student in Space Engineering and Technology

Institution: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Address: Avenida dos Astronautas, 1758, Jd. Granja, São José dos Campos - SP,

CEP: 12227-010

E-mail: prirenata@gmail.com

Rebeca Camurça Coelho

M.Sc. Student in Space Systems, Testing and Launching Research

Institution: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Address: Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, São José dos

Campos - SP, CEP: 12228-900

E-mail: rebecacamurcac@gmail.com

Christopher Shneider Cerqueira

Ph.D. in Space Engineering and Technology

Institution: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Address: Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, São José dos

Campos - SP, CEP: 12228-900

E-mail: christopher.cerqueira@gp.ita.br

Geilson Loureiro

Ph.D. in Systems Engineering

Institution: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Address: Avenida dos Astronautas, 1758, Jd. Granja, São José dos Campos - SP,

CEP: 12227-010

E-mail: geilson.loureiro@inpe.br

ABSTRACT

Requirements permeate the entire lifecycle of a system or product, from identifying the stakeholders' needs to disposal, including verification and validation activities. Therefore, the process for the requirements development must be carefully observed and



established in order to ensure that the requirements are complete, consistent, and correct. The use of an appropriate predefined structure can improve the requirements' elicitation, enabling the reduction of ambiguities and the detection of duplications or omissions. Thus, this article proposes the use of syntax patterns during the development of the stakeholders' requirements in the context of an airspace project. The result of applying the proposal of this article in a real case was a list of initial requirements in standardized language with their traceability guaranteed.

Keywords: requirements, boilerplates, stakeholder.

RESUMO

Os requisitos permeiam todo o ciclo de vida de um sistema ou produto, desde a identificação das necessidades das partes interessadas até o descarte, incluindo atividades de verificação e validação. Portanto, o processo para o desenvolvimento de requisitos deve ser cuidadosamente observado e estabelecido para garantir que os requisitos sejam completos, consistentes e corretos. A utilização de uma estrutura pré-definida adequada pode melhorar a elicitação dos requisitos, possibilitando a redução de ambiguidades e a detecção de duplicações ou omissões. Assim, este artigo propõe a utilização de padrões de sintaxe durante o desenvolvimento dos requisitos dos interessados no contexto de um projeto de espaço aéreo. O resultado da aplicação da proposta deste artigo em um caso real foi uma lista de requisitos iniciais em linguagem padronizada com sua rastreabilidade garantida.

Palavras-chave: requisitos, padrões, partes interessadas.

1 INTRODUCTION

Well-written requirements are not only crucial for the development of a system or product, but they are also used along the entire life cycle.

For example, the Brazilian Army has an Evaluation Process for material for military use that has changed over the years. The Evaluation Center noticed that these changes increased requests for Test and Evaluation (T&E) activities, and also a significant growth in the number of requirements, thus incurring a greater demand for time to prepare the planning and difficulty in response to all Technical and Operational Evaluation requests.

According to the U.S. Department of Defense, Test and Evaluation is the process to assess the performance, reliability, and safety of a system or its components, which is part of the Systems Engineering Process proposed by DoD to identify the performance



and to assist the corrections needed during the development of a system (DoD, 2020). In general, the purpose of the T&E activity is to help reduce or manage the inherent risks in the procurement process, acting mainly through the provision of important information, which allows decision-makers to assess risk areas, maturity of the system, compliance with technical requirements, and whether a system is operationally effective, adequate, and survivable for its intended use.

T&E activities support the Verification and Validation (V&V) approach described by the Vee Model. By verification, the intent is to ensure the system is built right, which means that it meets its specified requirements, while validation refers to ensuring that the right system is built and fulfills its intended purpose when placed in its intended environment (FAA, 2020).

The T&E activities are fundamentally related to requirements. Therefore, the improvements over the years needed to align with a well-established process for a complete and representative set of requirements. Despite this, the United States Government Accountability Office (GAO) identifies several problems in acquisition programs related to requirements, such as challenges in setting achievable requirements for systems development and providing effective oversight during the development process, poor quality as the companies translate the high levels requirements into detailed or lower-level requirements for designer and developers, requirements documentation and traceability (GAO 2008, 2015).

Furthermore, several studies associate problematic aspects of requirements with the failure rate of projects, as stated in Moreira (2022) this goes far beyond only the success, goes cost-related, in which it is possible to provide greater attention to the initial phases of requirements elicitation to optimize the resources available, once the costs to remove defects is way more expensive on the final stages of the development of the system. An example of how it could be minimized by requirements capture process dedicated to consider the entire life cycle, all processes and people involved is the Requirements Concurrent Engineering Framework proposed by Zenun and Loureiro (2013) thinking to view the product and the development organization.



This article understands that there are many ways to improve requirements quality, and it chooses to work on using pre-established standards, rules, and structures that can minimize the occurrence of ambiguity and undue interpretations and guarantee the existence of defined characteristics. In this context, we propose the usage of the EARS - Easy Approach to Requirements Syntax implemented for Mavin (2009), to an ongoing Airspace Project. The EARS is a small set of structural rules developed to address eight common requirement problems, allowing all natural language requirements to be expressed in one of five simple templates.

This paper aims to propose the use of syntax patterns in the development of stakeholders' requirements. The authors suggest Predefined Natural Language Boilerplates for the stakeholders' requirements. The objective is to help improve the requirements elicitation process, ensuring completeness, consistency, and correctness while reducing ambiguities and detecting duplications or omissions. The paper also shares the result of applying this proposal in a real case: a list of initial requirements in a standardized language with their traceability guaranteed.

The overall structure of the study takes the following form: a preliminary overview of the real application case, a brief about the requirements hierarchy, and the use of boilerplates, in Section II. It will then proceed to a predefinition of natural language boilerplates in Section III, followed by an explanation of the experimental procedure in Section IV. Section V has the experimental analysis, and so finally, it concludes with the summary and future work, in Section VI.

2 PRELIMINARIES

2.1 SIMUA

Safe Integration of different Unmanned Aircraft into non-segregated airspace (SIMUA) is a project part of the joint Sweden-Brazil Air Domain Study (ADS).

The project's scope is to explore research activities considering the behavior of manned and unmanned aircraft operating alongside in an unsegregated airspace focusing on how to detect and avoid (DAA) collision situations to incorporate into Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). The main collision elements considered are conflicting



traffic, terrain and obstacles, dangerous weather conditions, ground operations, and airborne hazards.

The joint Sweden-Brazil Air Domain Study has participation, among other organizations, of the Aeronautics Institute of Technology (ITA), represented by professors, students, and fellows from the ITA Space Center (CEI).

This article focuses on the development of the stakeholders' requirements for SIMUA, based on the needs identified by the interested parties and the identified scenarios proposed in previous work.

The participants of the SIMUA project established Ten Use Cases that explain the system behavior from an operational perspective:

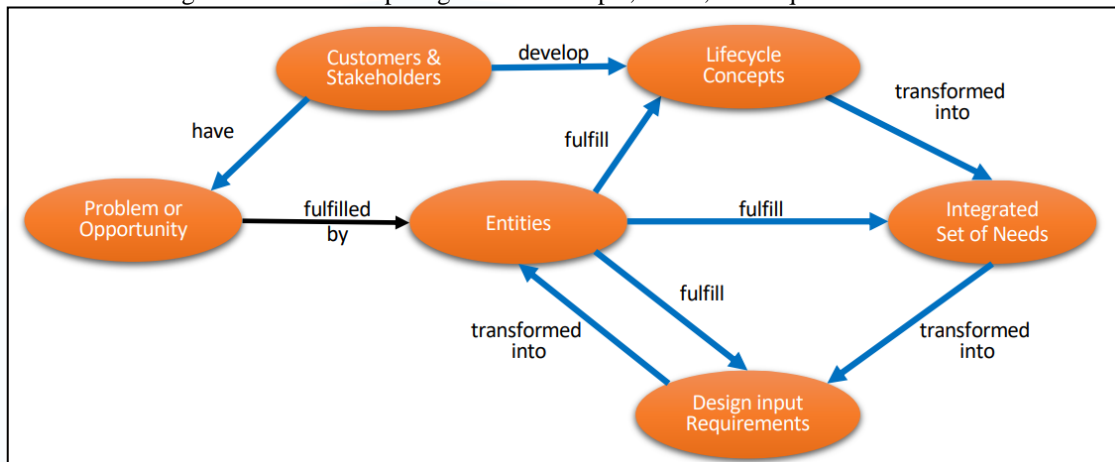
- 1) Safe integration of intensive airspace services on metropolitan area.
- 2) Safe integration of priority services into metropolitan area and close neighborhoods.
- 3) Safe integration of priority services into close neighborhoods.
- 4) Safe integration of a logistic service of delivery with delivery hubs into neighborhoods.
- 5) Safe integration of a logistic supply chain into an industrial area.
- 6) Safe integration of UTM closer to the airport.
- 7) Safe integration of no-fly-zones.
- 8) Safe integration of hybrid (manned and unmanned) services.
- 9) Safe integration of UTM services to maritime surveillance.
- 10) Safe integration of UTM services to UAV delivery into an oil platform.

2.2 REQUIREMENTS HIERARCHY

The International Council on Systems Engineering (INCOSE) considers that the definition and documentation of the requirements are more than just a writing procedure. In that way, it defines that once the customers and stakeholders develop a concept for a problem or opportunity identified, this concept is transformed into needs and then into requirements, as seen in Figure 1. For INCOSE, requirements are a formal textual

declaration that communicates what an entity shall do to fulfill the intended need (INCOSE, 2023).

Figure 1: Relationship diagram for concepts, needs, and requirements terms.



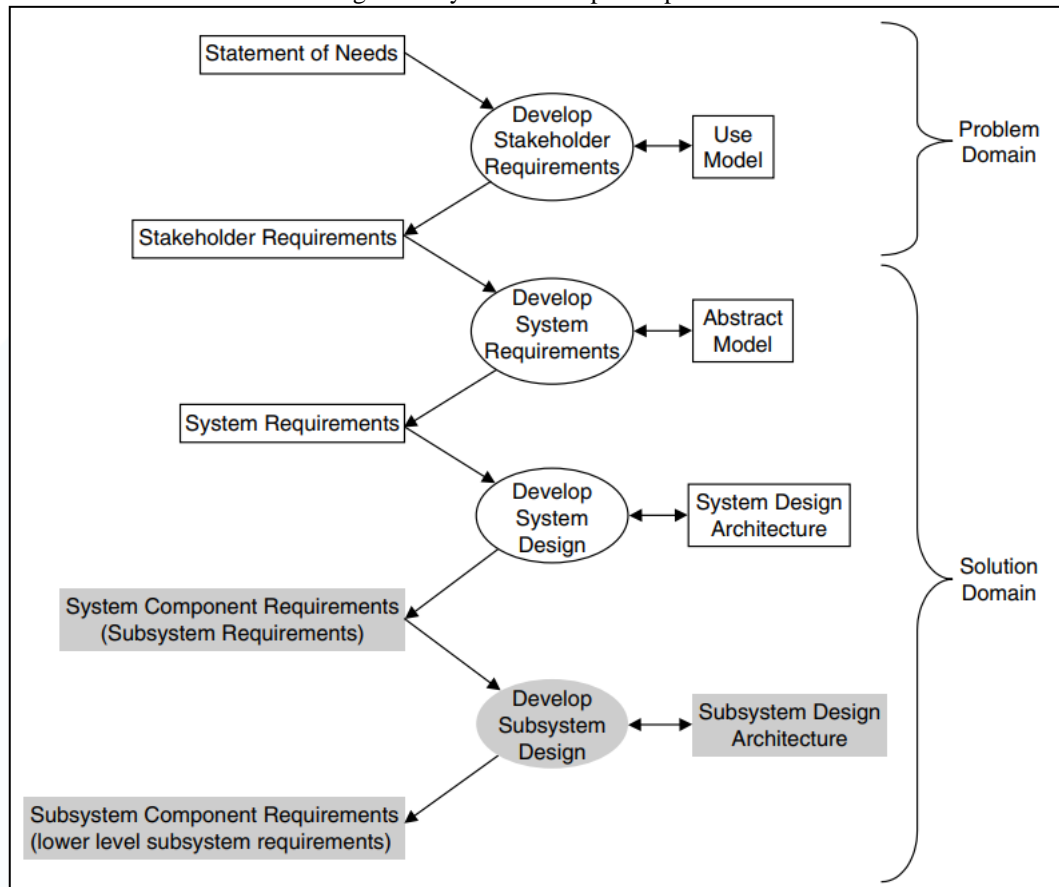
Source: INCOSE (2023).

Although, there is a successive abstraction level for requirements. The high-level requirements refer to the problem domain, defining the system in terms of the problem to be solved, and as it goes to the lower levels, it gives more details of the system's solution as shown in Figure 2.

This article focuses only on stakeholders' requirements, extracted from the stakeholders' needs, and represents what the stakeholders want to achieve by using the system.

Additionally, it is important to mention that a good requirement states something that is necessary, verifiable, and attainable (HOOKS, 1994).

Figure 2: System development process.



Source: DICK et al. (2017)

2.3 BOILERPLATES

The language used for expressing requirements will depend on the abstraction level, once stakeholders' requirements focus on capabilities the system provides and its constraints, and the system's requirements focus on the functions and constraints performed by the system (DICK et al., 2017)

A boilerplate is a natural language pattern to restrict the sentence syntax to a predefined one. The use of boilerplates on writing requirements provides a simple and effective approach, and it can result in better requirements quality (ARORA, 2014)

According to Dick et al. (2017), the stakeholders' requirements boilerplate should have the following structure: *The <stakeholder type> shall be able to <capability>*.

Additionally, once there are performance constraints associated with the requirement, it should follow: *The <stakeholder type> shall be able to <capability>*

within <performance> of <event> while <operational condition>, or there are constraints that follow: *The <stakeholder> shall not be placed in breach of <applicable law>*.

On the other side, EARS is a study developed according to the authors' perception, that the use of unstructured natural language in the writing of stakeholder requirements is not adequate for expressing requirements (MAVIN, 2009).

As shown in Table 1, EARS proposed one generic syntax pattern for the stakeholders' requirements, and then five specialized templates for ubiquitous requirements, event-driven requirements, unwanted behaviors, state-driven requirements, and optional features. Moreover, EARS patterns can be combined to support complex requirements.

Table 1: EARS syntax patterns

Type	Description	Syntax pattern
Generic	A simplified structure that forces the author to state all conditions related to the requirement.	<i><optional preconditions> <optional trigger> the <system name> shall <system response></i>
Ubiquitous	There is no preconditions or trigger, so it should be always active.	<i>The <system name> shall <system response></i>
Event-driven	Initiated only When the trigger is detected at the system boundary.	<i>WHEN <optional preconditions> <trigger> the <system name> shall <system response></i>
Unwanted behaviors	Describes the situations unwanted, such as failures, waivers, and interaction with other systems.	<i>IF <optional preconditions> <trigger>, THEN the <system name> shall <system response></i>
State-driven	Active while the system is in a defined state.	<i>WHILE <in a specific state> the <system name> shall <system response></i>
Optional features	Applicable only in systems that include a particular feature.	<i>WHERE <feature is included> the <system name> shall <system response></i>
Complex	Combination of the keywords When, While, and Where.	<i>WHILE <pre-condition> WHEN <trigger> the <system name> shall <system response></i>

Source: Authors (2023)

3 PREDEFINED NL BOILERPLATES

In this section, it is reported the description of Predefined Natural Language Boilerplates for the stakeholders' requirements. It is important to mention that the main



goal of this study is to check the possibility to develop the stakeholder requirements for SIMUA. Therefore, the stakeholders' needs are not the main purpose of this article, being only mentioned.

3.1 STAKEHOLDERS REQUIREMENTS

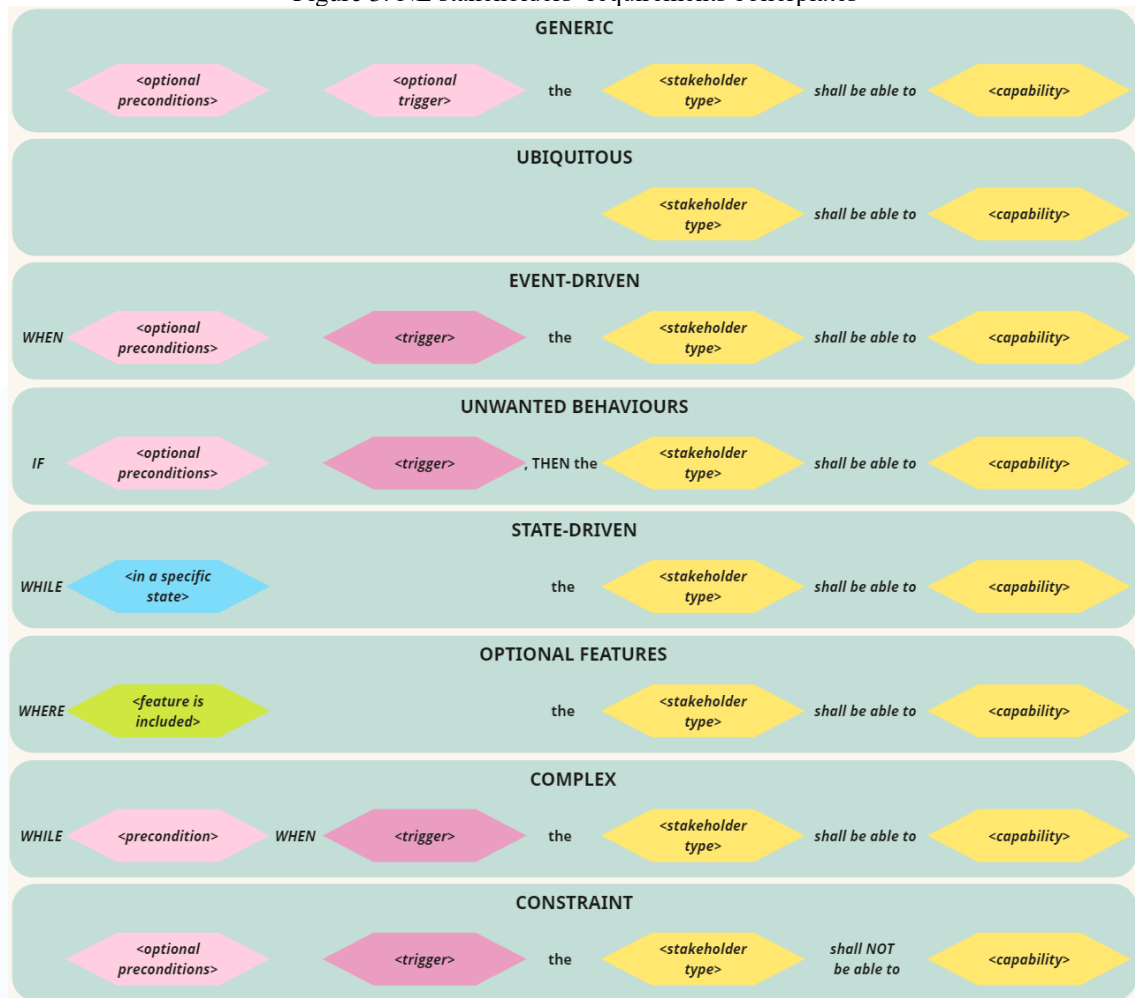
Our proposed Natural Language Requirements Boilerplates were motivated by the works presented by Mavin et al. (2009) and Dick et al. (2017), which have been used by other researchers and organizations to do so.

Firstly, the semi-structured requirement syntax proposed by the EARS modeling notation considers the actor of the sentence as *system name*. (MAVIN et al., 2009)

On the other hand, since it is on a stakeholder requirement level, the actors should be a stakeholder type, while the system response also should be a capability achieved using the system. (DICK et al., 2017)

The resulting predefined NL requirements boilerplates are presented in Table 2, where the “< >” represents the gaps to be filled appropriately by the one using the boilerplates.

Figure 3: NL stakeholders' requirements boilerplates



Source: Authors (2023)

4 EXPERIMENTAL CONDUCT

The needs were previously elicited using a multimethodology approach described in a preprint version (Barros et al., in press), characterized by applying Soft Operational Research into the ITA CONCEPTIO Laboratory Framework (CERQUEIRA, 2023). In that each identified need was described also with the use of predefined NL, the boilerplates <GIVEN>, <WHEN>, <THEN> and <AND>.

At first, the stakeholders identify about 5 (five) or 6 (six) scenarios for each of the 10 (ten) Use Cases enumerated for SIMUA. After that, they brainstormed the needs for all the scenarios, and then the facilitator wrote the needs in terms of the proposed NL, as

shown in Table 2 for the first scenario of Use Case 1: Safe integration of intensive airspace services on metropolitan area.

Table 2: Needs elicited for scenario 1 of the SIMUA use case 1

SIMUA UC1	Scenario1: Utility services			
SIMUA NEED 1.1.1	GIVEN the usage of drones for utility services on metropolitan areas (e.g., surveillance of urban planning, urban waste monitoring, urban traffic monitoring)	WHEN a possible collision situation during the activity is detected	THEN it is necessary	to avoid collisions with metropolitan area obstacles (e.g., buildings, antennas, billboards, bridges, towers, transmission lines, water tanks)
SIMUA NEED N1.1.2				to avoid collisions with geographical obstacles (e.g., trees, lakes)
SIMUA NEED N1.1.3				to avoid collisions against other aircraft
SIMUA NEED N1.1.4				to avoid collisions with birds

Source: Authors (2023)

It's crucial to emphasize that identifying stakeholders beforehand is a significant activity. Since the actor is a stakeholder type, it's essential to ensure that all possible stakeholders are identified for SIMUA:

- 1) Regulation authorities (high command, air traffic controller)
- 2) Intermediator company (according to the CONOPS BR UTM)
- 3) Manufacturer
- 4) Business Company (food delivery, logistic companies)
- 5) Pilot (drone, airplane, helicopter, other)
- 6) General Population

Then, each need was transformed into a requirement using the NL requirements boilerplates. In the end, were developed 30 (thirty) stakeholders' requirements, as presented in Table 3.



Table 3: Examples of developed requirements

Id	Description
SIMUA_ USERREQ_001	WHILE <engaging drones on a mission> WHEN <detected a possible collision situation> THE <drone pilot> SHALL BE ABLE TO <avoid collision with artificial obstacles in the area>
SIMUA_ USERREQ_009	WHILE <drone's landing> WHEN <detected a possible collision situation> THE <drone pilot> SHALL BE ABLE TO <avoid collision with people>
SIMUA_ USERREQ_010	THE <regulation authorities> SHALL BE ABLE TO < coordinate the drone's mission>
SIMUA_ USERREQ_011	THE <regulation authorities> SHALL BE ABLE TO <monitor the coordination of all drones>
SIMUA_ USERREQ_030	THE < regulation authorities > SHALL BE ABLE TO < remove a flying system of a no-fly-zone >

Source: Authors (2023)

5 EXPERIMENTAL ANALYSIS

Although SIMUA is a project currently being developed at ITA, the purpose of using it as a case study was to evaluate the possibility of usage of the NL requirements boilerplates and to check the need for more predefined types.

From the authors' point of view, practically, the proposed boilerplates were helpful in the writing exercise and provided feasible traceability from the needs to the requirements since the needs were also using a NL pattern.

Figure 4 shows the origin of each requirement concerning stakeholder needs described through a label that identifies the use case and scenario to which it belongs. This helps to relate the specific stakeholder needs that are being addressed by each requirement.

Figure 4: Requirements traceability

#	UC 1	UC 2		UC 9	UC 10
SIMUA_USERREQ_001	UC 1 - Scenario 1_3 UC 1 - Scenario 2_3/8 UC 1 - Scenario 3_5 UC 1 - Scenario 4_3/8 UC 1 - Scenario 5_4/8 UC 1 - Scenario 6_4/8 UC 1 - Scenario 7_7/11 UC 1 - Scenario 8_4/8	UC 2 - Scenario 1_6/11 UC 2 - Scenario 2_6/11 UC 2 - Scenario 3_6/11 UC 2 - Scenario 4_6/11 UC 2 - Scenario 5_6/10		UC 9 - Scenario 1_3/4/8 UC 9 - Scenario 2_3/8 UC 9 - Scenario 3_3/6 UC 9 - Scenario 4_3/7/9 UC 9 - Scenario 5_5/6	UC 10 - Scenario 1_3/7 UC 10 - Scenario 2_7 UC 10 - Scenario 3_3/7 UC 10 - Scenario 4_6/10 UC 10 - Scenario 5_4/5
SIMUA_USERREQ_002	UC 1 - Scenario 1_4 UC 1 - Scenario 2_4 UC 1 - Scenario 3_6 UC 1 - Scenario 4_4 UC 1 - Scenario 5_5 UC 1 - Scenario 6_5 UC 1 - Scenario 7_8 UC 1 - Scenario 8_5	UC 2 - Scenario 1_7 UC 2 - Scenario 2_7 UC 2 - Scenario 3_7 UC 2 - Scenario 4_7 UC 2 - Scenario 5_7	...	UC 9 - Scenario 2_7 UC 9 - Scenario 3_7 UC 9 - Scenario 4_8 UC 9 - Scenario 5_5/6	
SIMUA_USERREQ_003	UC 1 - Scenario 1_5 UC 1 - Scenario 2_5 UC 1 - Scenario 3_7 UC 1 - Scenario 4_5 UC 1 - Scenario 5_6 UC 1 - Scenario 6_6 UC 1 - Scenario 7_9 UC 1 - Scenario 8_6	UC 2 - Scenario 1_8 UC 2 - Scenario 2_8 UC 2 - Scenario 3_8 UC 2 - Scenario 4_8 UC 2 - Scenario 5_5		UC 9 - Scenario 1_5 UC 9 - Scenario 2_5 UC 9 - Scenario 3_4 UC 9 - Scenario 4_5 UC 9 - Scenario 5_5/6	UC 10 - Scenario 1_4 UC 10 - Scenario 2_4 UC 10 - Scenario 3_4 UC 10 - Scenario 4_7
SIMUA_USERREQ_004	UC 1 - Scenario 1_5 UC 1 - Scenario 2_5 UC 1 - Scenario 3_7 UC 1 - Scenario 4_5 UC 1 - Scenario 5_6 UC 1 - Scenario 6_6 UC 1 - Scenario 7_9 UC 1 - Scenario 8_6	UC 2 - Scenario 1_8 UC 2 - Scenario 2_8 UC 2 - Scenario 3_8 UC 2 - Scenario 4_8 UC 2 - Scenario 5_5	...	UC 9 - Scenario 1_6 UC 9 - Scenario 2_6 UC 9 - Scenario 4_6 UC 9 - Scenario 5_5/6	UC 10 - Scenario 1_5 UC 10 - Scenario 2_5 UC 10 - Scenario 3_5 UC 10 - Scenario 4_8
SIMUA_USERREQ_005	UC 1 - Scenario 1_6 UC 1 - Scenario 2_6 UC 1 - Scenario 3_8 UC 1 - Scenario 4_6 UC 1 - Scenario 5_7 UC 1 - Scenario 6_7 UC 1 - Scenario 7_10 UC 1 - Scenario 8_7	UC 2 - Scenario 1_9 UC 2 - Scenario 2_9 UC 2 - Scenario 3_9 UC 2 - Scenario 4_9 UC 2 - Scenario 5_8		UC 9 - Scenario 1_7 UC 9 - Scenario 2_9 UC 9 - Scenario 3_8 UC 9 - Scenario 4_10 UC 9 - Scenario 5_5/6	UC 10 - Scenario 1_6 UC 10 - Scenario 2_6 UC 10 - Scenario 3_6 UC 10 - Scenario 4_9

Source: Authors (2023)

6 SUMMARY AND FUTURE WORK

In this paper, our application of the predefined NL stakeholders' requirements boilerplates, the main goal was to facilitate this process and provide better quality requirements.

This paper met its objectives in the sense that it enhanced the process of gathering and writing requirements from stakeholders. This was accomplished by utilizing a standardized language through predetermined boilerplates tailored to the stakeholders' requirements. The practical implications of this proposal were observed in the real project SIMUA, where traceability with the stakeholders' needs was preserved and it was possible to note an improvement in completeness, consistency, correctness, and reduction in ambiguities, duplications, and omissions as expected.



The main focus was only on the requirements statement, but in further works, we consider giving more attention to the requirements attributes, such as rationale, V&V methods, and acceptance criteria.

Additionally, more work should be done on the constraints requirements boilerplates since our case study did not have any of this type. And the following steps are to propose the system's requirements boilerplates and check its application on SIMUA as well.

It is also identified as a future work the possibility to model SIMUA using a tool of Model-Based Systems Engineering and then evaluate the completeness and traceability of the requirements developed, individually and the set of requirements.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper's authors would like to thank the specialists from ICEA (Brazilian Airspace Control Institute) with the participation of Maj Cristian Smidt, XMOBOTS with the participation of Decio Gomes, ATECH with the participation of Agenir de Carvalho Dias, Saab with the participation of Dr. Lars Kroon, LFV (Swedish Airspace Controllers) with the participation of Björn Stavas and Anders Carson, and LiU (Linkoping University) with the participation of Prof. Jonas Lundberg.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CAPES) – Finance Code 88882.444449/2019-01; and Fundação Casimiro Montenegro, Termo de Execução Descentralizada – ITA ICEA – Detect and Avoid - Finance Code nº 00131/2023.



REFERENCES

Arora, C.; Sabetzadeh, M.; Briand L. C.; Zimmer, F. Requirement boilerplates: Transition from manually-enforced to automatically-verifiable natural language patterns. In: IEEE 4th International Workshop on Requirements Patterns (RePa), Karlskrona, Sweden, 2014.

Barros, P.; Camurça, R.; Cerqueira, C; Loureiro, G. Using Controlled Natural Language to Capture Problem States from Stakeholders and Transform them into Models. In press. Cerqueira, C. Class notes. 2023. Available in < <http://cscerqueira.com.br/wp-content/uploads/2023/07/TE-2652023-01-INTRODUCAO-AO-CURSO-v2.pdf> >.

Dick, J.; Hull, E.; Jackson, K. Requirements Engineering. Fourth Edition. Springer. 2017.

DoD. U.S. Department of Defense. DoD Instruction 5000.89 - Test and Evaluation. 2020.

FAA. Federal Aviation Administration. Test and Evaluation Handbook. Air Traffic Systems T&E Services, ANG-E5. 2020.

GAO. U.S. Government Accountability Office. Best Practices. Increased Focus on Requirements and Oversight Needed to Improve DOD's Acquisition Environment and Weapon System Quality. 2008.

GAO. U.S. Government Accountability Office. Military Service Chiefs' Concerns Reflect Need to Better Define Requirements before Programs Start. 2015.

Hooks, I. Writing good requirements. In: INCOSE International Symposium. 1994.

INCOSE. Guide to Writing Requirements. INCOSE-TP-2010-006-04| VERS/REV:4. 2023

Mavin, A.; Wilkinson, P.; Harwood, A.; Novak, M. Easy Approach to Requirements Syntax. In: 17th IEEE International Requirements Engineering Conference. IEEE, 2009.

Moreira, G; Cerqueira, C; Pleffken, D. Aplicando Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos para suportar Projetos Aeroespaciais Militares no Brasil. In: Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa (SIGE). 2022.

Zenun, M N; Loureiro, G. A Framework for Requirements Concurrent Engineering. In: Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment: Proceedings of the 19th ISPE International Conference on Concurrent Engineering. Springer London, 2013.

A.2 Utilização de métodos de estruturação de problemas na definição da missão de sistemas: Uma tese em consolidação

Artigo apresentado no CBS 2022 - Congresso Brasileiro de Sistemas em novembro de 2022.

UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTRUTURAÇÃO DE PROBLEMAS NA DEFINIÇÃO DA MISSÃO DE SISTEMAS: UMA TESE EM CONSOLIDAÇÃO

*USE OF PROBLEMS STRUCTURING METHODS IN THE SYSTEMS MISSION DEFINITION:
A THESIS IN PROGRESS*

Área temática: Inovação Sistêmica.

Modalidade: Artigo Completo

Priscila Renata Barros Cardoso¹

Christopher Shneider Cerqueira²

Geilson Loureiro³

Resumo: O artigo pretende incentivar o uso de Métodos de Estruturação de Problemas na definição de missões de sistemas espaciais. Para tal, demonstra a usabilidade da Pesquisa Operacional “Soft” ao intuito de saber mais sobre o que se espera no desenvolvimento de um sistema, e como ela poderia ser útil quando incorporada à concepção inicial de Engenharia de Sistemas. Ilustra a composição de uma multimetodologia, combinando partes da SSM (Soft Systems Methodology), que se mostrou eficiente em obter informações sobre como seria a situação atual e desejada na construção de um sistema, e a SODA (Strategic Options Development Analysis) para selecionar quais necessidades poderiam ser priorizadas. Os resultados sugerem similaridades entre a aplicação das metodologias propostas à Estruturação de Problemas e as fases iniciais da Engenharia de Sistemas, quando utilizadas para auxiliar esta etapa de projeto, permitindo maior participação dos interessados no sistema, que são capazes de expor com mais clareza suas necessidades e colaborar com a concepção para as definições iniciais, gerando comprometimento, bem como uma argumentação robusta para as importantes decisões que definiram qual sistema seria a partir daqui modelado.

Palavras-chave: Engenharia de Sistemas. Métodos de Estruturação de Problemas. Multimetodologia.

1 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Doutoranda em Engenharia e Tecnologia Espaciais – Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE/ETE
E-mail:prirenata@gmail.com

2 ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Doutorado Engenharia e Tecnologia Espaciais, INPE, Brasil. E-mail: christopher.cerqueira@gp.ita.br

3 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Pós-Doutorado Julius-Maximilians - Würzburg, Alemanha. Pós-Doutorado Massachusetts Institute of Technology, MIT, Estados Unidos. Doutorado Systems Engineering. Loughborough University, LBO, Inglaterra. E-mail: geilson.loureiro@inpe.br

Abstract: The article intends to encourage the use of Problem Structuring Methods to define space systems missions. Therefore, it demonstrates the usability of “Soft” Operational Research to learn more about what is expected in the development of a system and how it could be useful when incorporated into the initial conception of Systems Engineering. It illustrates the composition of a multimethodology combining parts of the SSM - Soft System Methodology, which proved to be efficient in eliciting information about current and desired situation in the construction of a system, and SODA - Strategic Options Development Analysis to select which needs could be prioritized. The results suggest similarities between the application of the proposed methodologies to Problem Structuring and the initial phases of Systems Engineering when used to assist the design phase, they allow greater participation of stakeholders who can both, more clearly expose their needs and collaborate if involved with the conception for the initial definitions, generating commitment, as well as a robust argumentation for the important decisions that defined which system would be modeled from here.

Keywords: Systems Engineering. Problem Structuring Methods. Multimethodology.

Introdução

No desenvolvimento de sistemas, em especial sistemas complexos, existe a preocupação em prol de atender as necessidades dos interessados, os que afetam ou serão afetados pelo sistema quando construído, e abranger de forma contributiva desde os donos, engenheiros, técnicos, desenvolvedores, facilitadores, decisores, pessoas do entorno, e todos mais; assim como gerenciar todo o esforço de desenvolvimento, para adequar ao escopo e recursos, financeiros, de tempo, pessoal, ao nível tecnológico. Para tal, a Engenharia de Sistemas é a atual e abrangente forma de contemplar as necessárias premissas para o ciclo de vida completo do produto, desde sua concepção ao descarte.

Em um passo para a evolução da aplicação da Engenharia de Sistemas, as fases embora já bem delimitadas e descritas de diversas formas em processos desenhados por cada empresa que se propõe a utilizá-la, para algumas das fases são raramente encontradas com clareza sugestões de ferramentas que possam auxiliar a prática desta abordagem. Neste ponto, uma das fases em que se teve esta percepção foi a primeira fase de Definição do Problema, que antecede a fase concreta da Definição do Sistema.

A Definição do Problema na Engenharia de Sistemas pode ser nitidamente um caso de Estruturação de Problemas, que nos remete instintivamente a métodos recomendados na Pesquisa Operacional dita ‘Soft’, que proporcionam uma compreensão ampla antes da proposta de soluções. E assim este trabalho é parte integrante de uma tese em consolidação que busca métodos de Estruturação de problemas que possam auxiliar as fases iniciais da Engenharia de Sistemas.

A título de antecipação do trabalho que vem sendo executado, neste artigo será brevemente apresentada uma multimetodologia possível, a utilização de partes da SSM (*Soft Systems Methodology*) e a SODA (*Strategic Options Development Analysis*) na fase de Definição da Missão da Engenharia de Sistemas.

Referencial teórico

Pela definição oficial do Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas, a Engenharia de Sistemas é uma abordagem transdisciplinar e integrativa para permitir a realização, uso e descarte bem-sucedidos de ‘*engineered systems*’, usando princípios e conceitos de sistemas e métodos científicos, tecnológicos e de gerenciamento. O INCOSE complementa explicando os termos *engineering* e *engineered* em seu sentido mais amplo: “a ação de trabalhar habilmente para realizar algo”. ‘*Engineered systems*’ podem ser compostos por qualquer uma ou todas as pessoas, produtos, serviços, informações, processos e elementos naturais. (INCOSE, 2021)

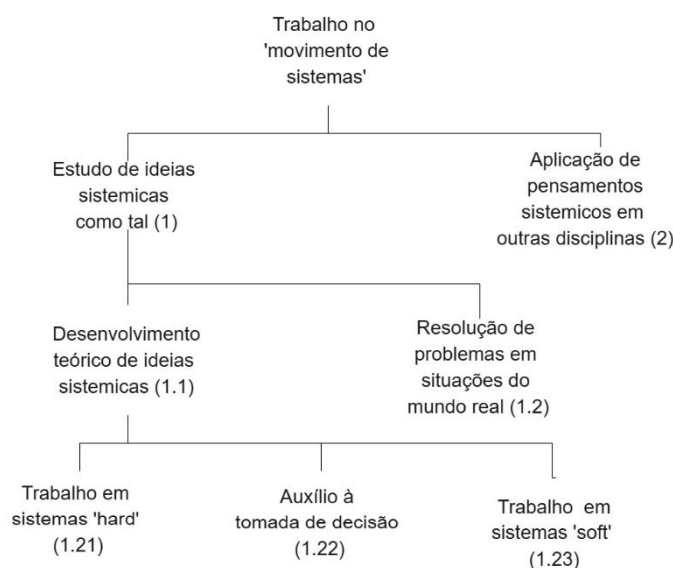
Sillitto et al. (2018) escrevem sobre três domínios onde a abordagem de Engenharia de Sistemas deve ser aplicada: para compreender a situação-problema; ao desenho e análise do sistema de solução; e à organização e processos envolvidos na transformação. E sugere para o domínio do problema o uso de métodos e ferramentas de construção de modelos compartilhados apropriados para permitir a grupo transdisciplinar delimitar o problema, citando como exemplo entre outros o Soft Systems Metodologia (SSM).

Figura 1. Tríade da Engenharia de Sistemas.



Fonte: Adaptada de Sillitto et al. (2018).

Checkland e Haynes (1994), elucidaram sobre variedades de pensamento sistêmico, a figura 2 apresenta as vertentes do movimento de sistemas onde eles citaram exemplos de cada ramo: (1.1) Cibernética, Teoria da hierarquia, Teoria do controle, Teoria da informação; (1.21) Engenharia de Sistemas, Análise de sistemas informáticos; (1.22) Análise de sistemas, Pesquisa Operacional Clássica; (1.23) Soft Systems Methodology, Dinâmica de Sistemas.

Figura 2. Variedades de pensamentos sistêmicos no movimento sistêmico.

Fonte: Traduzida de Checkland e Haynes (2019).

Abordagens de uma vertente podem apoiar as demais. Específico a este artigo duas metodologias para abordagem 'soft' de trabalho em sistemas são sugeridas, a *Soft Systems Methodology* (SSM) e a *Strategic Options Development Analysis* (SODA).

A *Soft Systems Methodology* (SSM) é uma metodologia de abordagem dita 'soft' pois trabalha com problemas não rígidos, isto é ainda não-estruturados, que necessitam de uma clareza inicial para então se buscar uma solução. O SSM se baseia na aprendizagem emergente de uma exploração do problema, estruturando a discussão sobre este para a construção de modelos sobre a situação e como ela poderia ser transformada.

A SSM, desenvolvida por Peter Checkland e seus colegas da Lancaster University, vista como Método de Estruturação de Problemas (PSM) que é uma classe de abordagens qualitativas de modelagem de Pesquisa Operacional, possui a característica de lidar com situações que envolvem diferentes atores com diferentes valores, percepções e experiências para produzir uma maior visão sobre a área do problema. Na SSM ao contrário da metodologia de sistemas 'Hard', a saída é o aspecto de aprendizagem que leva a ações, sabendo que isso levará não à solução, mas para uma situação alterada e um novo aprendizado. Assim, a metodologia é um 'mosaico de atividades em vez de uma sequência necessária de eventos'; envolve um número de pessoas engajadas em um debate dialético, e é um processo contínuo (CHECKLAND e POULTER, 2020).

Smith e Shaw apresentam uma revisão de literatura sobre características dos Métodos de Estruturação de Problemas PSM.

O *Strategic Options Development Analysis* (SODA) é uma metodologia que utiliza a representação gráfica da situação problemática através de mapas afim de explorar as suas ramificações em uma rede de meios-fins, em opções, metas ou objetivos. Como os mapas são construídos pelos facilitadores em conjunto com os donos do problema, estes se sentem representados na definição do problema. As análises dos mapas podem ser realizadas por inspeção visual ou por softwares específicos de mapeamento causal. O processo SODA visa ajudar o grupo ou

indivíduo a aprender sobre a situação-problema e chegarem a acordos com o encontro de soluções mais criativas que são mais prováveis de serem implementadas por incluir dimensões sociais mais ricas (ACKERMANN e EDEN, 2020).

Abuabara (2021) realizou um levantamento bibliográfico de aplicações SODA, onde cita 3 documentos encontrados na base de dados *Scopus* e 4 na *Web of Science* para a área de Engenharia de Sistemas.

Desde suas primeiras aplicações tanto o SSM quanto o SODA foram evoluindo em facilidades no seu uso. Uma importante reconfiguração do método foi a elaborada por Georgiou (2012) que criou os SODA T-maps, que são mapas SODA utilizados para a seleção de transformações provenientes do SSM.

Após uma leitura extensiva para seleção de artigos através de pesquisa bibliográfica realizada nos bancos de dados da *Scopus* e *Web of Science* com a *string* de busca mais aderente (“*System*enginee**” AND “*Soft Systems Methodology*”) aplicada ao título, resumo e palavras-chave, no período dos últimos 20 anos, nos idiomas inglês e espanhol, foram encontrados respectivamente 40 e 16 documentos; destes, o artigo que despertou maior interesse por se mostrar mais próximo da ideia aqui trabalhada foi o de Cloutier et. al (2015), que apresentou um método para capturar um problema através de *systemigrams* em uma metodologia derivada da SSM chamada BSSM (*Boardman Soft Systems Methodology*)” e depois traduzindo diretamente os *systemigrams* em diagramas *SysML*.

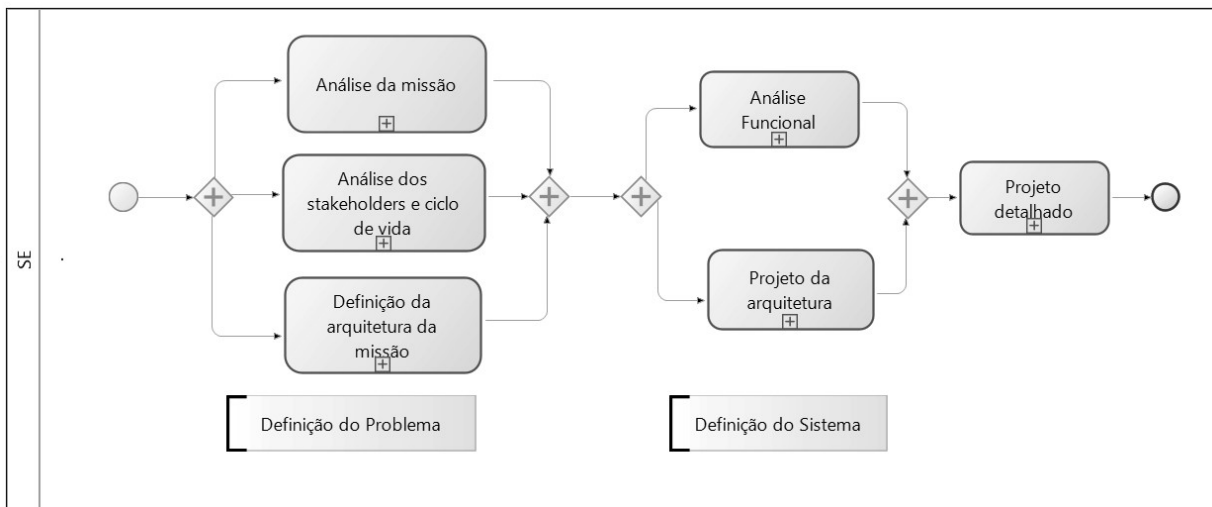
Além dos *systemigrams*, Yearworth et al. (2014) apresentam uma lista de técnicas de investigação racionais e criativas para a investigação do problema, abordagens não estruturadas ou semiestruturadas, que poderiam apoiar/substituir diagramação de figuras-ricas no SSM e melhorar a comunicação da compreensão para todos envolvidos.

Na seção seguinte deste artigo será apresentada uma proposta semelhante a esta, utilizando o *Soft Systems Methodology* para vislumbrar um problema com uma estrutura eficaz que facilite a transferência das informações desse problema capturado para a próxima fase da Engenharia de Sistemas, porém acrescentando uma fase de seleção das necessidades através do *Strategic Options Development Analysis* para auxiliar na definição da missão.

Procedimentos metodológicos

Nesta seção será apresentada uma proposta multimetodológica para auxílio à fase inicial da Engenharia de Sistemas. Tomando-se como base um consolidado Processo de Referência de Engenharia Simultânea de Sistemas.

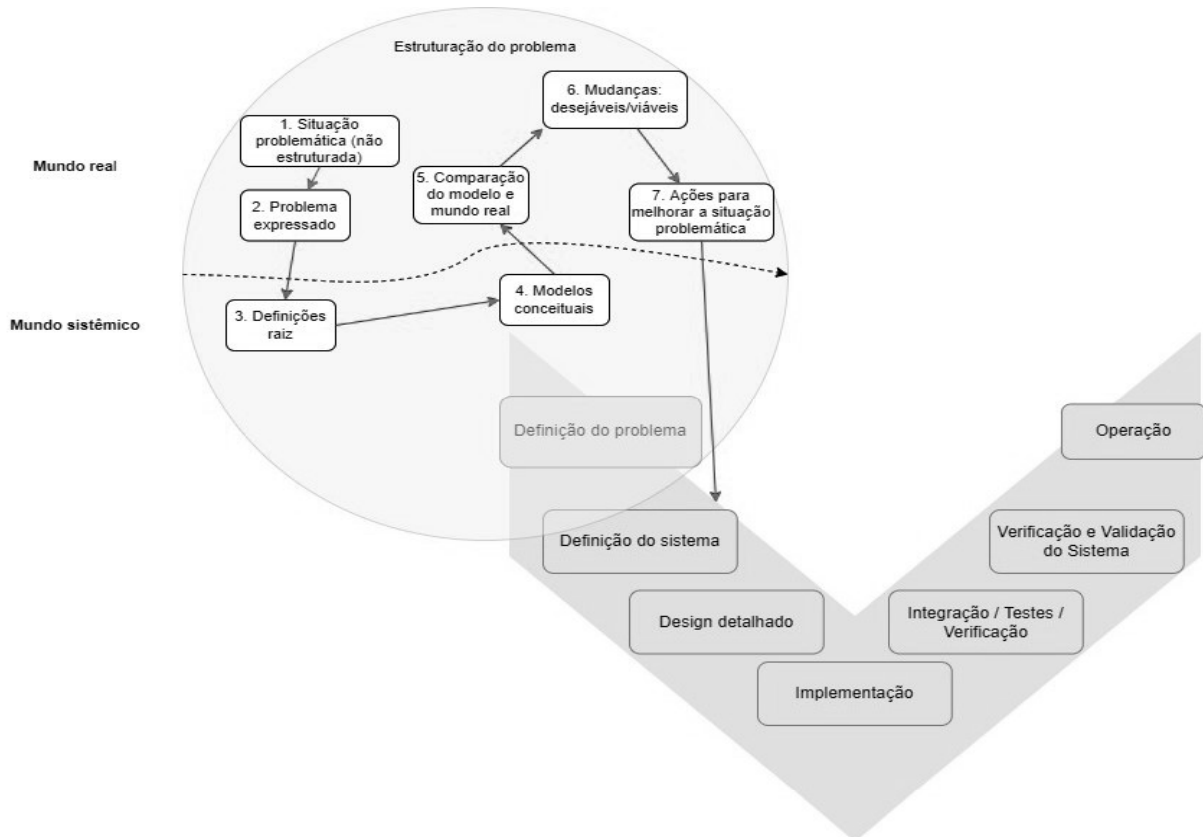
Figura 3. Processo de Referência Engenharia Simultânea de Sistemas.



Fonte: Elaborada pelos autores. Adaptada de Loureiro (2021).

É possível aferir possíveis contribuições na Definição do Problema/ Definição de Missão do Sistema, caracterizada pelos três primeiros blocos de atividades: Análise de Missão; Análise dos *Stakeholders* e Ciclo de Vida; e, Definição da Arquitetura da Missão.

Figura 4. SSM na Definição do Problema Modelo V da Engenharia de Sistemas.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A proposta é na fase inicial da Engenharia de Sistemas, a Definição do Problema / Missão do Sistema, realizar uma Estruturação do Problema com o *Soft Systems Methodology* (SSM) e utilizar a *Strategic Options Development Analysis* (SODA) como auxílio em algumas definições. Com base no SSM ilustrado na figura 2, as etapas:

1. Temos uma situação problemática, não-estruturada.

Esta situação que gerou o impulso inicial de desenvolvimento de um sistema, que neste ponto ainda não se conhece qual será;

2. O problema é expressado.

Os interessados no sistema vão expor seus desejos e necessidades, assim como o contexto. Nota-se aqui uma semelhança ao AS-IS da Engenharia de Sistemas, que apresenta a situação atual, e assim nesta etapa os autores sugerem o uso de diagramas que possibilitem a captura de informações com clareza, facilitando o processo de entrevistas com os *stakeholders*, de maneira que eles sintam que suas falas estão sendo consideradas e as veja como úteis, promovendo uma relação contributiva entre facilitadores e *stakeholders*. Os diagramas podem ser qualquer que o facilitador se sinta confortável no uso para que a atividade de elicitação seja frutífera, tais como figura-rica, *dialogue mapping*, *systemigram*, ou outro que possa capturar as falas de todos e quando ilustrados possam ser confirmadas as informações validando com eles.

3. Definições raiz.

Com a captura de todas as informações, seja através dos *stakeholders*, de documentos ou qualquer fonte de informação válida para o entendimento do problema, pode-se utilizar o mnemônico CATWOE para listar os Clientes, Atores, Transformações, Visão do mundo, Donos e Ambiente do problema e descrever definições raiz, que contribuiriam ao TO-BE da Engenharia de Sistemas, isto é, as transformações aqui encontradas ditam qual seria a nova situação desejada através após a construção de um sistema.

4. São construídos modelos conceituais, também podendo ser usado um *systemigram*.

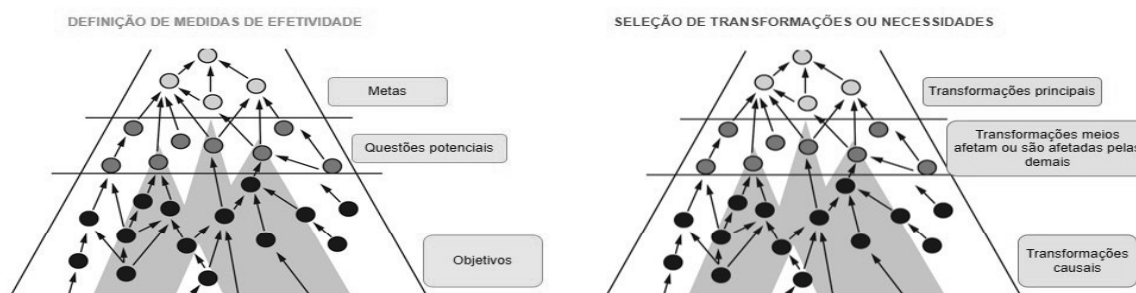
Esta fase poderia corresponder ao CONOPS (Conceito de operações) da Engenharia de Sistemas.

5. Comparação do modelo com o mundo real. Aqui é realizada uma comparação entre o problema expressado (no item 2) e os modelos conceituais (do item 4).

6. Mudanças sistematicamente desejáveis e culturalmente viáveis. São contempladas as transformações a serem atendidas pelo sistema.

7. Ações para melhorar a situação problemática. Deste ponto poderiam ser gerados os requisitos que serão base para a próxima etapa da Engenharia de Sistemas, finalizando a Definição do Problema e iniciando a Definição do Sistema.

A figura 5 ilustra duas sugestões de inclusão da SODA - *Strategic Options Development Analysis* no apoio ao processo de Engenharia de Sistemas adicionais nesta proposta: I) SODA para a definição de Medidas de Efetividade (MoE) e II) SODA T-Maps para a seleção das transformações ou necessidades prioritárias a serem atendidas com a construção do sistema de interesse.

Figura 5. Proposta adicional de uso do SODA e SODA T-Maps.

Fonte: Elaborada pelos autores. Adaptada de Ackermann e Eden (2020).

Sugestão I) O SODA para a definição de Medidas de Efetividade (MoE)

Medidas de efetividade são métricas utilizadas na Engenharia de Sistemas com as quais é possível verificar se o sistema desenvolvido pelo esforço técnico atende o definido como esperado pelos proponentes do problema. Estas medidas são especificadas na definição do problema. Recomenda-se como leitura complementar sobre as MoEs a Norma para aplicação e gerenciamento do Processo de Engenharia de Sistemas da IEEE (2005).

Na elicitação das MoEs encontrar-se-ia uma das sugestões de possível uso da metodologia SODA como um recurso onde a construção de um mapa SODA poderia iluminar as metas e objetivos, e assim contribuir para a identificação de métricas, capacidades e restrições em uma forma colaborativa.

Esta contribuição poderia ser viável para auxiliar a etapa 5 do SSM.

Sugestão II) O SODA T-Maps para a seleção das transformações ou necessidades prioritárias a serem atendidas com a construção do sistema de interesse.

As transformações no SSM expõem as mudanças de uma situação atual para uma situação desejada.

O desenvolvimento de um sistema seria ao propósito de promover as transformações desejadas, mas talvez construtivamente não seja possível o atendimento de todas. De tal modo, é adequado o uso de um método que apoie a seleção de quais transformações ou quais as necessidades advindas dos *stakeholders*, que estão incorporadas nestas, são prioritárias para serem contempladas no desenvolvimento do sistema.

Georgiou (2012) desenvolveu uma re-configuração do SSM que propõe exatamente o uso de mapas SODA para a seleção de transformações provenientes do SSM, ao qual chamou de SODA T-maps.

Esta contribuição poderia ser viável para auxiliar a etapa 6 do SSM.

Resultados e discussão

A construção de uma multimetodologia implica no conhecimento da estrutura das diferentes metodologias afim de que cada uma se interligue no ponto exato para ter seu papel no apoio ao processo base, neste caso o Processo de referência da Engenharia de Sistemas.

As metodologias podem ser usadas sequencialmente ou em paralelo. Na construção da proposta deste artigo notou-se grandes semelhanças em atividades e ferramentas utilizadas na Engenharia de Sistemas e nos métodos de Estruturação de Problemas, isto pode ser até mesmo atribuído ao enfoque sistêmico da *Soft Systems Methodology* e da Engenharia de sistemas que advém de uma mesma vertente epistemológica.

O paralelismo desta proposta multimetodológica irá propiciar um intercâmbio de informações entre as equipes de desenvolvimento, engenheiros, decisores, facilitadores que podem utilizar esta fonte recursos gerados para seu próprio ambiente usual.

Considerações Finais

A multimetodologia proposta neste artigo é parte de uma tese em consolidação que vem estudando Métodos de Estruturação de Problemas, total ou em partes, que possam auxiliar as fases iniciais da Engenharia de Sistemas. Como continuidade deste trabalho, os autores vêm desenvolvendo uma aplicação prática para demonstração do que se propõe, estudando outros métodos para compor propostas multimetodológicas e a orquestração com *Model-based Systems Engineering*.

Agradecimentos

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Ao INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Ao CEI – Centro Espacial do Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

Referências

ABUABARA, Leila; PAUCAR-CACERES, Alberto. Surveying applications of strategic options development and analysis (SODA) from 1989 to 2018. **European Journal of Operational Research**, v. 292, n. 3, p. 1051-1065, 2021.

ACKERMANN, Fran; EDEN, Colin. Strategic options development and analysis. In: **Systems approaches to making change: A practical guide**. Springer, London, 2020. p. 139-199.

CHECKLAND, Peter; POULTER, John. Soft systems methodology. In: **Systems approaches to making change: A practical guide**. Springer, London, 2020. p. 201-253.

CHECKLAND, Peter B.; HAYNES, Michael G. Varieties of systems thinking: the case of soft systems methodology. In: **System Dynamics Review**, 10(2-3), 189–197, 1994.

CLOUTIER, Robert et al. Transitioning systems thinking to model-based systems engineering: Systemigrams to SysML models. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, v. 45, n. 4, p. 662-674, 2015, doi: 10.1109/TSMC.2014.2379657

GEORGIU, Ion. Messing about in transformations: Structured systemic planning for systemic solutions to system-

ic problems. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 2, p. 392-406, 2012.

IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process,” in *IEEE Std 1220-2005 (Revision of IEEE Std 1220-1998)*, vol., no., pp.1-96, 9 Sept. 2005.

INCOSE. INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING. Systems Engineering: What is Systems Engineering? 2021 Disponível em: <https://www.incose.org/systems-engineering>. Acesso em: 18 set. 2022.

SILLITTO, Hillary et al. Envisioning systems engineering as a transdisciplinary venture. **Insight**, v. 21, n. 3, p. 52-61, 2018.

SMITH, Chris M.; SHAW, Duncan. The characteristics of problem structuring methods: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 274, n. 2, p. 403-416, 2019.

YEARWORTH, Michael; EDWARDS, Gordon. On the desirability of integrating research methods into overall systems approaches in the training of engineers: analysis using SSM. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 31, n. 1, p. 47-66, 2014.

A.3 Pesquisa operacional comportamental na engenharia de sistemas espaciais

Artigo apresentado no 12^o *Workshop* em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE) em novembro de 2021.



Pesquisa Operacional Comportamental na Engenharia de Sistemas Espaciais

Priscila Renata Barros Cardoso ¹, Ygor Logullo ²,
Christopher Shneider Cerqueira ³, Geilson Loureiro ⁴

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluna de Doutorado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

²Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluno de Mestrado do curso Pesquisa Operacional.

³Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil
Centro Espacial ITA - CEI.

⁴Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais - ETE.

priscila.barros@inpe.br

Resumo. *Este artigo intenciona apresentar a Pesquisa Operacional Comportamental e iminentes contribuições advindas de estudos que contemplem os vieses passíveis de afetar o desenvolvimento de Sistemas Espaciais. O trabalho é parte de uma revisão sistemática do tema, destacando alguns artigos base para um aprofundamento visando atitudes de mitigação destes efeitos. Como resultado tem-se a ciência desta nova linha dentro da Pesquisa Operacional expandindo as fronteiras de conhecimento ao englobar os aspectos humanos na Engenharia de Sistemas Espaciais.*

Palavras-chave: Pesquisa Operacional Comportamental; BOR; Behavioral OR; Engenharia de Sistema Espaciais.

1. Introdução

Ao longo de todo o ciclo de vida na Engenharia de Sistemas são necessárias diversas tomadas de decisões pelos especialistas, engenheiros e todos os demais interessados no desenvolvimento do sistema. As decisões apesar de terem seu caráter centrado na busca do melhor sistema possível para atender as necessidades dos stakeholders, muitas vezes não detém-se a utilizar exclusivamente métodos de otimização sem considerar a subjetividade relativa ao envolvimento humano na construção e uso do sistema que será construído. No projeto podem surgir vieses cognitivos que inviabilizem a sequência ilesa e direcionem para uma arquitetura final recorrente limitada em criatividade de novas soluções, oportunidades de melhorias, economia de recursos, ou até mesmo comprometam por fim o atendimento ou modifiquem as expectativas dos stakeholders.

Kahneman (2012) escreveu sobre duas formas de pensar intrínsecas à mente humana, uma rápida e outra devagar, às quais uma seria mais intuitiva e emocional e outra mais lógica. O



autor, ganhador do Prêmio Nobel de Economia por contrapor a ideia da tomada de decisões essencialmente racional, discorreu sobre alguns dos vieses, impactando estudos em diversas áreas.

Na Engenharia de Sistemas, o SEBok (2021) cita que o viés cognitivo pode distorcer seriamente as tomadas de decisões, e que essas decisões equivocadas teriam contribuído para grandes catástrofes, como Challenger e Columbia. Também indica os artigos de Jackson (2017), Jackson e Harel (2017) e Jackson (2018) onde são considerados os vieses cognitivos na Engenharia de Sistemas.

O objetivo deste trabalho consiste em a partir desta preocupação evidenciada nas referências de Engenharia de Sistemas atuais, explorar alguns artigos que poderiam destacar atenção a estes aspectos humanos, exaltando a importância destas influências e como mitigar os efeitos indesejados.

2. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi uma revisão sistemática sobre o tema Pesquisa Operacional Comportamental.

Revisões Sistemáticas têm como objetivo apresentar uma avaliação a respeito de um tópico de pesquisa, fazendo uso de uma metodologia de revisão confiável, rigorosa e que permita auditoria. (KITCHENHAM, 2004).

Para a revisão definiu-se a pesquisa bibliográfica nas bases de dados Scopus e Web of Science e a busca foi realizada com a string "Behavi* Operatio* Research" nos títulos, resumos e palavras-chave.

Com o resultado inicial observou-se a incidência de artigos a partir de 2011, limitando então o escopo da pesquisa à última década.

Dos títulos resultantes procedeu-se a escolha de critérios para a seleção ou exclusão dos artigos para leitura dos resumos.

Os artigos elegíveis para a revisão no nosso estudo atendem aos seguintes critérios:

- a) artigos de revistas científicas, excetuando neste momento livros, capítulos de livros, teses ou dissertações;
- b) artigos em língua inglesa;
- c) disponíveis para leitura;
- d) artigos de interesse para a área de engenharia e/ou decisão;
- e) artigos duplicados.

Destes, foram lidos os resumos e selecionados os artigos de interesse para leitura completa, que compõe o resultado deste artigo.

3. Resultados e Discussão

Sobre o tema em si, Pesquisa Operacional Comportamental, temos dois livros importantes como referência White et al. (2020) e Kunc, Malpass e White (2016).

Ademais, na pesquisa bibliográfica foram encontrados 66 documentos na base de dados Scopus e 72 na base Web of Science.

Na seleção de documentos foram excluídos, seguindo os critérios definidos para esta revisão sistemática, 2 livros, 11 capítulos de livros e 2 editoriais. Também foram agrupados 39 artigos duplicados. Reduzindo então a 98 artigos para a leitura dos resumos.



Pode-se observar (Figura 1) um crescente interesse no tema com o aumento de publicações.

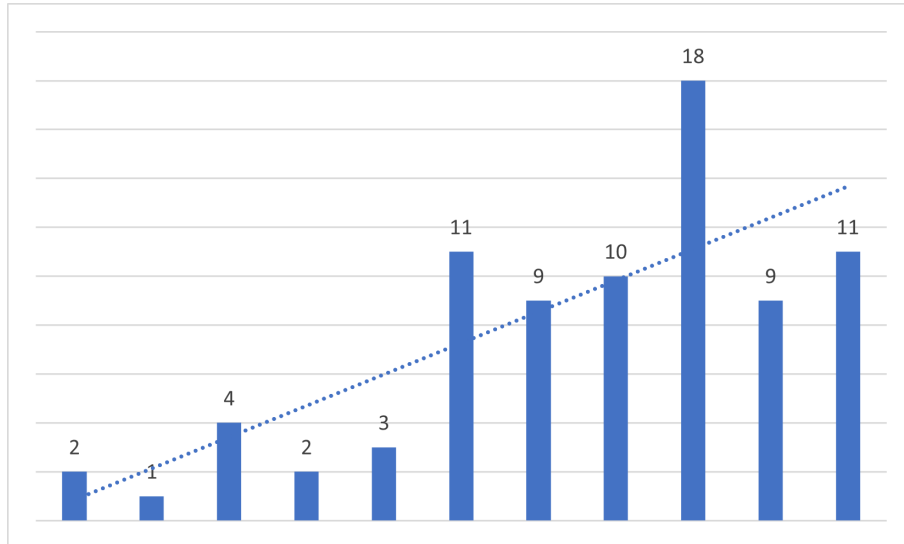


Figura 1. Número de publicações por ano. [Fonte: Scopus e Web of Science]

Alguns recortes dos artigos encontrados por intermédio desta revisão:

Hämäläinen, Luoma e Saarinen (2013) descrevem que os vieses cognitivos na tomada de decisão estão relacionados com os julgamentos dos decisores mas também à forma como os problemas de decisão são formulados, e que vieses motivacionais podem influenciar a qualidade da modelagem por distorcer os parâmetros da elicitação e o julgamento dos especialistas.

Em Pesquisa Operacional, o objetivo é ajudar as pessoas na resolução de problemas, mas de alguma forma nos parece terem sido omitidos os indivíduos, os proprietários de problemas e especialistas da 'PO', que estão envolvidos no processo. (HÄMÄLÄINEN, 2015)

Os artigos Montibeller e Winterfeldt (2015b) e Montibeller e Winterfeldt (2015a) se aprofundam nos vieses e na mitigação de vieses, prevenção ou redução (debiasing), em especial na tomada de decisão. Os autores reportam que um viés cognitivo é uma discrepância sistemática entre a resposta "correta" em uma tarefa de julgamento, dada por uma regra normativa formal, e uma resposta real do decisor ou especialista para tal tarefa. Como evitar efeitos comportamentais, por exemplo, por debiasing é uma questão de pesquisa em aberto e muito interessante.

White (2016) aborda a necessidade da construção de uma base teórica convincente para a Pesquisa Operacional Comportamental. Neste sentido Becker (2016) propõe algumas definições e alerta para armadilhas na fase de desenvolvimento.

White, Burger e Yearworth (2016) interconectam Behavioral OR com PSM, as principais preocupações teóricas e metodológicas que precisam ser apreciadas no estudo das intervenções ao utilizar Métodos de Estruturação de Problemas.

Brocklesby (2016) mostra que o apelo particular da Pesquisa Operacional Comportamental (BOR) reside na sua capacidade de fortalecer a ponte entre a Pesquisa Operacional acadêmica e sua prática profissional na qual os desafios humanos e sociais podem ser tão importantes quanto os intelectuais e técnicos.



Hämäläinen e Lahtinen (2016) falam sobre os caminhos alternativos que podem ser seguidos no processo de modelagem e solução de problemas na prática da Pesquisa Operacional.

Durbach e Montibeller (2019) exploram como a BOR pode utilizar a disponibilidade cada vez maior de grandes conjuntos de dados que armazenam os julgamentos dos usuários e escolhas.

E por fim, atendendo ao interesse de pesquisa, completou-se as escolhas dos autores com o artigo de Siebert, Kunz e Rolf (2020) que introduziram o conceito da Tomada de Decisão Proativa, recente na Pesquisa Operacional Comportamental e na Análise de Decisão, aborda a tomada de decisão eficaz durante sua fase de geração de alternativas.

4. Conclusão

Ainda há muito o que entender sobre o comportamento humano e sua influência no mundo das ciências ditas “exatas”. Temos a abertura para conciliar conceitos da psicologia humana à Pesquisa Operacional é um grande avanço na aproximação de melhores processos de modelagem e resolução de problemas essenciais à Engenharia de Sistemas Complexos tais como os Espaciais. Este trabalho direcionou, com uma revisão sistemática, futuros estudos aos quais também poderão ser explorados complementarmente outros artigos não incluídos nesta seleção prioritária dos autores, além das citações de alguns destes.

Agradecimentos:

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro na oportunidade de realizar este trabalho.

À Professora Doutora Mischel Carmen Belderrain por apresentar em suas aulas a BOR, despertando o interesse de estudo.

Referências

- BECKER, K. H. An outlook on behavioural or–three tasks, three pitfalls, one definition. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 249, n. 3, p. 806–815, 2016.
- BROCKLESBY, J. The what, the why and the how of behavioural operational research—an invitation to potential sceptics. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 249, n. 3, p. 796–805, 2016.
- DURBACH, I. N.; MONTIBELLER, G. Behavioural analytics: Exploring judgments and choices in large data sets. *Journal of the Operational Research Society*, Taylor & Francis, v. 70, n. 2, p. 255–268, 2019.
- HÄMÄLÄINEN, R. P. Behavioural issues in environmental modelling—the missing perspective. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 73, p. 244–253, 2015.
- HÄMÄLÄINEN, R. P.; LAHTINEN, T. J. Path dependence in operational research—how the modeling process can influence the results. *Operations research perspectives*, Elsevier, v. 3, p. 14–20, 2016.
- HÄMÄLÄINEN, R. P.; LUOMA, J.; SAARINEN, E. On the importance of behavioral operational research: The case of understanding and communicating about dynamic systems. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 228, n. 3, p. 623–634, 2013.
- JACKSON, S. Irrationality in decision making: A systems engineering perspective. *Insight*, v. 20, n. 4, p. 74, 2017.
- JACKSON, S. Cognitive bias: A game changer for decision management? *Insight*, p. 41–42, 2018.
- JACKSON, S.; HAREL, A. Systems engineering decisions analysis can benefit from the added consideration of cognitive sciences. *Systems Engineering*, v. 55, 2017.
- KAHNEMAN, D. *Rápido e devagar: duas formas de pensar*. [S.l.]: Objetiva, 2012.



KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004.

KUNC, M.; MALPASS, J.; WHITE, L. *Behavioral operational research: Theory, methodology and practice*. [S.l.]: Springer, 2016.

MONTIBELLER, G.; WINTERFELDT, D. V. Cognitive and motivational biases in decision and risk analysis. *Risk analysis*, Wiley Online Library, v. 35, n. 7, p. 1230–1251, 2015.

MONTIBELLER, G.; WINTERFELDT, D. von. Biases and debiasing in multi-criteria decision analysis. In: IEEE. *2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences*. [S.l.], 2015. p. 1218–1226.

SEBok. *Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge*. [S.l.], 2021. Disponível em: https://www.sebokwiki.org/wiki/Decision_Management. Acesso em: 17 out. 2021.

SIEBERT, J. U.; KUNZ, R. E.; ROLF, P. Effects of proactive decision making on life satisfaction. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 280, n. 3, p. 1171–1187, 2020.

WHITE, L. Behavioural operational research: Towards a framework for understanding behaviour in or interventions. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 249, n. 3, p. 827–841, 2016.

WHITE, L.; BURGER, K.; YEARWORTH, M. Understanding behaviour in problem structuring methods interventions with activity theory. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 249, n. 3, p. 983–1004, 2016.

WHITE, L. et al. *Behavioral operational research: Theory, Methodology and Practice*. 1. ed. [S.l.]: Springer, 2020. ISBN 978-1-137-53551-1.

A.4 Identification and classification of stakeholders needs using Dialogue Mapping and AHP-sort

Artigo apresentado INSID Meeting INnovation for Systems Information and Decision meeting em dezembro de 2020.

Identification and classification of stakeholders needs using Dialogue Mapping and AHP-sort

Priscila Renata Barros Cardoso¹, Mischel Carmen Neyra Belderrain²,
Geilson Loureiro¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, Brazil.

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, São José dos Campos – SP, Brazil. priscila.barros@inpe.br, carmen@ita.br,

geilson@lit.inpe.br

Abstract. The development of a product or service usually involves several stakeholders. Each one of them wants his/her desires to be achieved by translating his/her needs into requirements. Regardless of the nature of the product, the classification of stakeholders needs is a process that deserves an adequate definition of what will be developed despite the subjectivity, conflicting interests and behavioral biases that could misguide the project. In the development of complex systems, such as satellites, a transformation from needs into requirements occurs in the Systems Engineering process. The current proposal aims at identifying and classifying stakeholders needs with a Problem Structuring Method - PSM in order to translate the expectations of stakeholders and their mental models into needs described in written. This proposal also aims at separating these needs into classes composed by similarities using a Multicriteria Decision Method - MCDA. The recommended methodology is:

(1) Structure the Problem with the Dialogue Mapping, which are maps that capture and record a wide range of information using the question-based information system (IBIS); and (2) Support Decision Making by classifying the identified needs using the AHP-Sort, an adaptation of the AHP method for classification problems. Finally, there will be classes of needs to which the decision can be developed in a single project or can be discarded if they do not fit the criteria established by the decision makers in the classification.

Keywords: MCDA; PSM; AHP-Sort; Dialogue Mapping; Requirements Engineering.

Acknowledgement

To CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) for supporting this research project.

A.5 Participação feminina no CubeDesign: uma competição latino-americana para desenvolvimento de nanossatélites

Poster apresentado no Simpósio Brasileiro Mulheres em STEM (SMSTEM) em março de 2020.

117 Participação Feminina no CubeDesign: Uma Competição Latino-Americana para Desenvolvimento de Nanossatélites

Italo Pinto Rodrigues

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

RESUMO ESTENDIDO

A engenharia, área profusamente masculina, vem passando por grandes transformações, incluindo a maior participação feminina em papéis atribuídos tipicamente aos homens. Apesar disso, ainda é perceptível a diferença na quantidade de profissionais de cada gênero. São diversos os fatores que influenciam a desigualdade de gêneros na Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM), dentre os quais pode-se citar vieses inconscientes, barreiras sociais, interrupção de trabalho no início da carreira profissional, menor remuneração salarial e falta de motivação resultando em alta taxa de abandono da área (SONI; ALIAJ, 2016).

De modo a incentivar a participação feminina de maneira mais pervasiva na área da ciência e tecnologia, diversos eventos vêm sendo realizados com essa abordagem (CIÊNCIA EXPLICA, 2018; ABC, 2019). Tais eventos vislumbram promover a diversidade, como é o caso do CubeDesign, uma competição latino-americana que visa promover a divulgação científica e o desenvolvimento tecnológico.

O CubeDesign é direcionado às diversas etapas da vida acadêmica, incluindo modalidades para ensino fundamental, médio, e graduação. Após duas edições do CubeDesign pôde-se observar um aumento da representatividade feminina, tanto entre os competidores quanto na comissão organizadora, tornando o evento mais diversificado.

A segunda edição do evento CubeDesign, realizado nos dias 24 a 27 de julho de 2019 no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, teve um total de 121 competidores, distribuídos em três modalidades: Mock-up (ensino fundamental), CanSat (ensino médio e graduação) e CubeSat (graduação). A Figura 1 apresenta a proporção entre os

gêneros masculino e feminino na competição, levando em consideração as três categorias e a comissão organizadora que contou com 31 integrantes.

O desenvolvimento de nanossatélites, incluindo os CubeSats, têm uma prospecção acelerada, como ilustrado no gráfico da Figura 2, onde pode-se observar uma previsão crescente de lançamentos, para tal, será necessário desde o presente e em um futuro próximo a capacitação de um grande número de profissionais com conhecimento e habilidades que não podem ser limitados a um gênero. Assim destaca-se a importância de eventos como o CubeDesign, que proporcionam uma experiência para estudantes vivenciarem o ambiente de desenvolvimento, motivando o engajamento de estudantes em relação à área espacial e, que adicionalmente para as competidoras presentes seja a oportunidade de inspiração ao terem contato com mulheres que já atuam na área.

Este trabalho propõe apresentar o crescimento na participação e o papel das mulheres na competição, bem como as perspectivas da organização em tornar a competição cada vez mais igualitária.

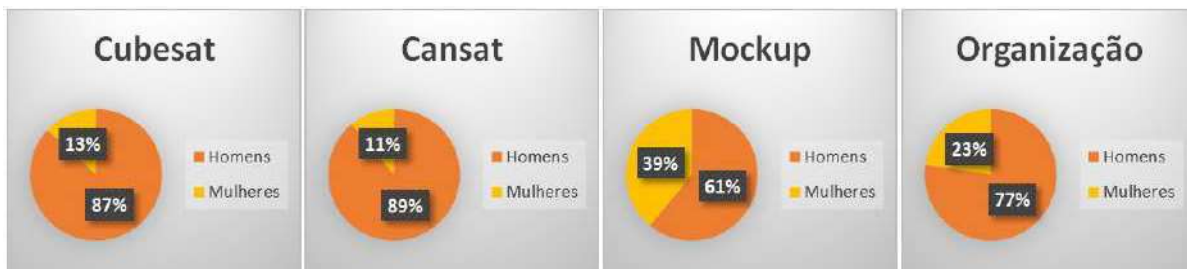


Figura 1: Composição de participantes no CubeDesign por gênero.

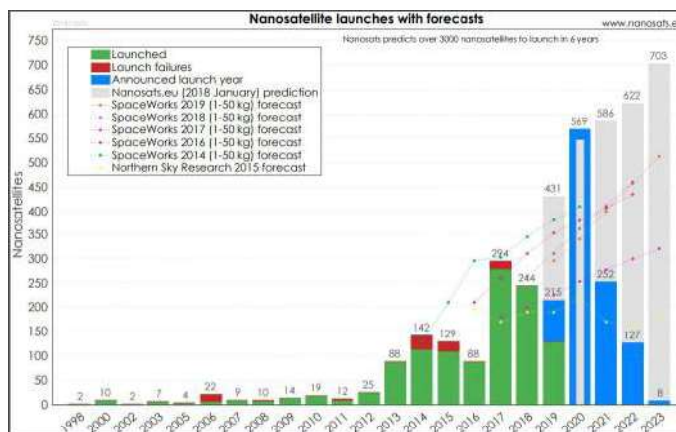


Figura 2: Lançamentos de nanossatélites. Fonte: (KULU, 2019).

MEMBROS DA EQUIPE

Jenny Carolina Robledo Asencio – INPE;

Priscila Renata Barros Cardoso – INPE;

Jeanne Samara Dos Santos Lima – INPE;

Gabriella Carneiro Junqueira – INPE; Walter Abrahao dos Santos – INPE.

REFERÊNCIAS

ABC. *FÓRUM MUNDIAL PARA MULHERES NA CIÊNCIA | BRASIL 2020*. 2019.

Disponível em: <http://www.abc.org.br/evento/wfwsbr20/>. 1

CIÊNCIA EXPLICA. *I Congresso de Mulheres na Ciência da UFMG*. 2018. Disponível em:

<http://www.cienciaexplica.com.br/eventos/i-congresso-de-mulheres-na-ciencia/>. Online; accessed July 1, 2019. 1.

KULU, E. *Nanosats Database*. 2019 Disponível em: <https://www.nanosats.eu/>. Acesso em nov. de 2019. 2

SONI, A.; ALIAJ, B. *Strategies to Promote Women Participation in the Space Community*.

2016. Upload de IAC. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/31-0771360_Strategies_to_promote_women_participation_in_the_space_community.

Acesso em nov. de 2019. 7 slides. 1

A.6 Modelo para seleção de portfólio de projetos de cubesats

Artigo apresentado no 11^o *Workshop* em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE) em agosto de 2020.



Modelo para seleção de portfólio de projetos de Cubesats

Priscila Renata Barros Cardoso¹, Christopher Shneider Cerqueira², Geilson Loureiro³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluna de Doutorado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil
Centro Espacial ITA.

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Professor no curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

priscila.barros@inpe.br

Resumo. *O aumento cada vez mais expressivo de projetos de pequenos satélites, tecnologia que vem permitindo a difusão do conhecimento em satélites, despertando o interesse e a introdução de novos atores na área espacial, tais como, universidades e empresas de desenvolvimento de tecnologias diversas, desponta a necessidade da seleção de projetos desejáveis e viáveis para desenvolvimento. Este artigo apresenta uma sugestão de método para seleção de portfólio de projetos de cubesats, que pode ser utilizado do mesmo modo a outros pequenos satélites, com o objetivo de auxiliar empresas com potencial de financiamento ou de desenvolvimento a escolherem de maneira estruturada a quais destinarem seus recursos e esforços. Para tal, propõe-se utilizar uma metodologia de auxílio à tomada de decisões, o AHP-Sort, uma variante da metodologia AHP, para classificação. Através de um exemplo de aplicação do método apresenta-se a proposta e salienta-se a necessidade da participação dos especialistas e stakeholders na definição dos critérios e nos julgamentos que irão propiciar a seleção adequada.*

Palavras-chave: AHP-Sort; Cubesats; MCDA; Portfólio de Projetos; Small satellites.

1. Introdução

Este artigo apresenta um modelo para seleção de portfólio de projetos, adaptável às características, valores e interesses da instituição que o use para este intuito.

A motivação inicial deste estudo foi a necessidade identificada de selecionar conjuntos de projetos de pequenos satélites, haja visto o crescente número de entrantes nesta vertente espacial, o que propiciará um número de propostas cada vez maior a serem avaliadas quanto a sua viabilidade e interesse. Nota-se o fato por exemplo, em iniciativas como as chamadas de projetos da *NASA's CubeSat Launch Initiative* [NASA 2020], que selecionam propostas de instituições educacionais, organizações sem fins lucrativos e centros da NASA para serem lançadas como carga úteis adicionais com as missões espaciais planejadas lideradas pela NASA, outras agências governamentais dos EUA ou organizações comerciais, onde até o momento, foram selecionadas 192 missões cubesat com mais de 100 lançamentos no espaço por meio de oportunidades de compartilhamento de viagens, certamente onde deve ter sido utilizada alguma metodologia para cada seleção.



E assim, o objetivo principal deste trabalho é auxiliar a tomada de decisão à respeito de quais projetos cubesats devem ser conduzidos prioritariamente, de acordo com a identificação da relevância de cada critério estabelecido pelos interessados no projeto.

Portifólio de projetos

Algumas organizações podem empregar o uso de um portfólio de projetos para efetivamente gerenciar vários programas e projetos em andamento num determinado momento. Sendo projeto definido como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único. [PMI 2017]

Existe vasta literatura a respeito de seleção de portfólio de projetos, muitos dos quais utilizam alguma Metodologia de Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) para incluir os interessados nos projetos no processo de escolha, reduzir a subjetividade e dar credibilidade e rastreabilidade às escolhas feitas.

MCDA

A Análise Multicritério de Apoio à Decisão, com suas metodologias, advém da Pesquisa Operacional, que busca encontrar soluções aos problemas do mundo através de modelos.

As metodologias podem auxiliar em diferentes problemáticas de decisão, descritas por [Roy and Bouyssou 1993]:

1. Problemas de escolha (*choice problem*), onde o objetivo é selecionar a melhor opção ou reduzir o grupo de opções.
2. Problemas de classificação (*sorting problem*), nos quais as opções são classificadas em grupos ordenados e predefinidos, chamados categorias ou classes. O objetivo é reagrupar as opções com comportamentos ou características semelhantes.
3. Problemas de ordenação (*ranking problem*), nesta as opções são ordenadas por meio de pontuações ou comparações.
4. Problemas de descrição (*description problem*), que tem como objetivo descrever opções e suas consequências.

Além destas tradicionais, existem outras problemáticas de decisão postuladas pelos pesquisadores da área ao longo do tempo ou até combinações delas, cada qual com metodologias dedicadas desenvolvidas para auxiliar seu tratamento.

AHP-Sort

Para problemas de classificação, como o problema que temos neste artigo, um dos métodos de possível utilização é o AHP- Sort, uma ainda pouco explorada variante do AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

O AHP original, foi desenvolvido por Thomas Saaty e apresentado no livro [Saaty 1980], sendo até hoje um dos métodos de análise de decisão mais difundidos e utilizados em problemas de escolha, como o de escolha de projetos, porém, este artigo apresenta uma nova proposta, a utilização do AHP-Sort por identificar que o problema de seleção de portfólio de projetos pode ser tratado como um problema de classificação ao invés do habitual problema de escolha de projetos, visto que podemos tratar como conjuntos de projetos, isto auxiliaria inclusive os julgamentos dos decisores quando possuem um número grande de propostas, agrupando-os pelas características semelhantes.



Cubesats

Neste artigo optou-se exemplificar o modelo proposto com pequenos satélites do tipo cubesats.

Os cubesats são satélites artificiais com tamanho bem reduzido, o tipo mais habitual dos nanosatélites (categoria de satélites com massa de 1 a 10kg) [Poghosyan and Golkar 2017], formado por cubos de 10 cm x 10 cm denominada unidade 1U, podendo ter tamanhos múltiplos a esta unidade sendo comuns 1U, 2U, 3U, 6U, 8U e 12U. A figura 1 apresenta os tipos de nanosatélites, entre os quais os cubesats, já lançados (em verde) e não lançados (em azul) até a presente data.

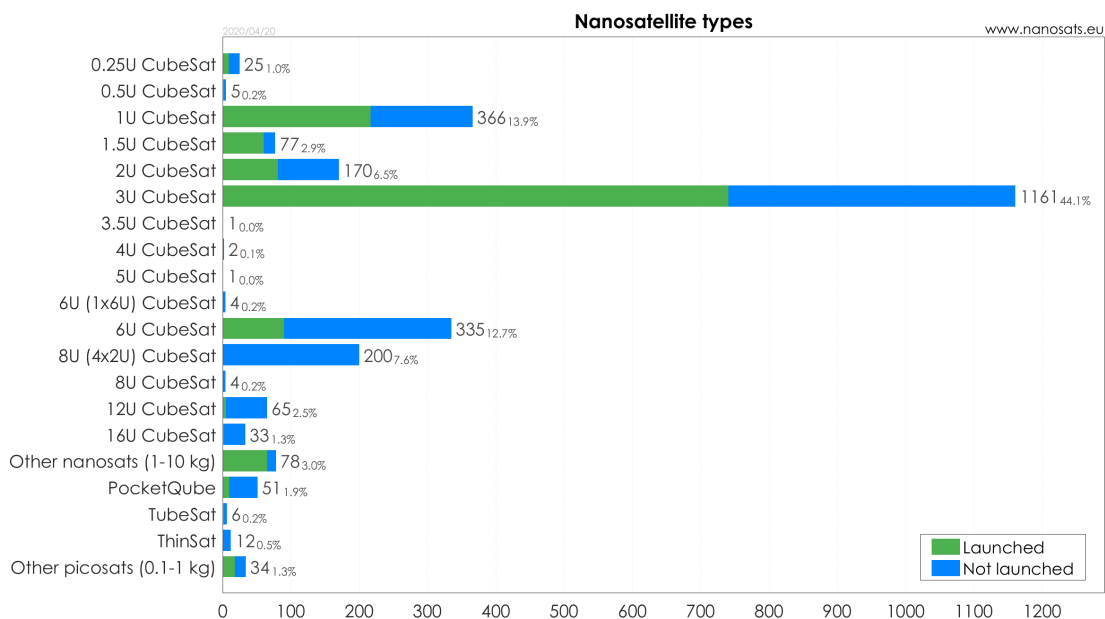


Figura 1. Tipos de Nanosatélites. Fonte: [Nanosats Database 2020]

Devido ao seu tamanho, são geralmente uma plataforma de baixo custo, que pode ser utilizada para uma variedade de aplicações, de maneira educacional atraindo alunos para as áreas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), de pesquisa ou industrial oferecendo soluções para alguns dos desafios atuais na área espacial.

Em síntese, este trabalho propõe um método utilizando uma metodologia de Apoio à Decisão (MCDA), que auxilie a seleção de portfólio de projetos de Cubesats.

2. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu na aplicação do AHP-sort para a classificação de uma gama de projetos de cubesats, como ilustra a figura 2.

Foram seguidos os seguintes passos, conforme [Ishizaka and Nemery 2013]:

A) Definição do problema

- 1- Definição do objetivo, critérios e alternativas.
- 2- Definição de categorias (classes).
- 3- Definição do perfil de cada classe.

245

B) Avaliações

- 4- Avaliação par-a-par a importância dos critérios e derivação de pesos



- 5- Comparação em uma matriz pareada um único candidato a ser classificado com perfis limitantes ou centrais para cada critério para derivar prioridades locais para cada critério
- 6- Agregação das prioridades locais ponderadas, que fornecem uma prioridade global de cada alternativa.

C) Atribuição às classes

7- Atribuição da alternativa à sua classe, através da prioridade global.

8- Repetição das etapas 5 a 7 para cada alternativa a ser classificada.

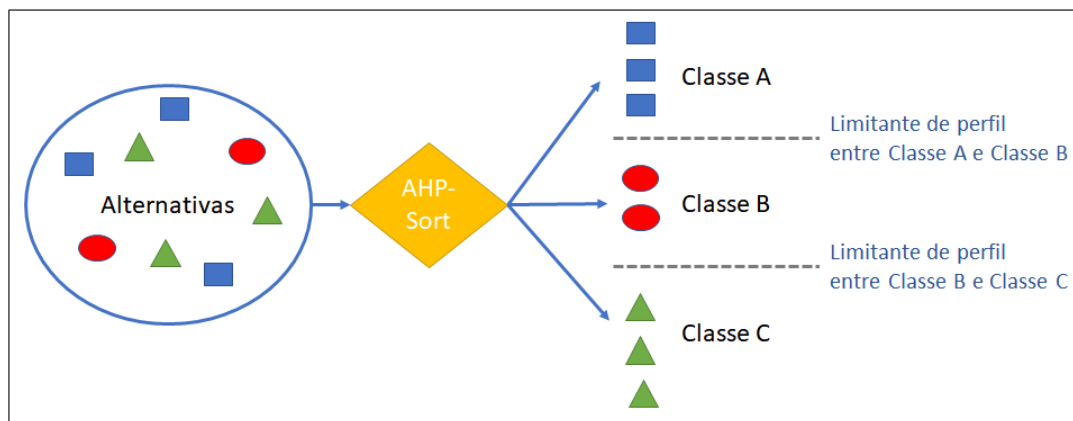


Figura 2. AHP-Sort para problemas de classificação. Adaptado de Fonte: [Ishizaka et al. 2012]

Para detalhamento dos passos e aprofundamento no método recomenda-se as referências [Ishizaka et al. 2012], [Ishizaka and Nemery 2013], [Gujansky 2014], [Gujansky and Belderrain 2014]

Para este artigo todos os passos foram feitos ilustrativamente, com sugestões e julgamentos hipotéticos, para a construção de um modelo que possa ser aplicado de forma real da mesma forma, porém utilizando o conhecimento dos especialistas para todas as definições e o julgamento dos stakeholders.

3. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta a aplicação do modelo passo-a-passo com um exemplo.

Passo 1 - Definição do objetivo, critérios e alternativas.

Objetivo: Classificar projetos cubesats.

Crítérios: Tipo de missão, Tamanho, Custo estimado, Órbita de interesse, nível de Maturidade Tecnológica. Estes critérios devem ser melhor definidos pelos especialistas segundo as características dos projetos que desejam.

Alternativas: Para exemplo serão utilizados Cubesats x, y, z, w, com características diferentes. A tabela 1 apresenta uma lista de cubesats fictícios usados neste teste do modelo, em um caso real, aqui seriam os dados verdadeiros das propostas de cubesats em estudo.



Tabela 1: Cubesats em estudo.

Alternativas	Critérios				
	Missão	Tamanho	Custo	Órbita de interesse	Maturidade
Cubesat x	Científica	4U	5.000	450Km	TRL6
Cubesat w	Científica	8U	100.000	200Km	TRL2
Cubesat y	Exploratória	3U	80.000	600Km	TRL4
Cubesat z	Desenv. tecnológico	2U	10.000	450Km	TRL3

Passo 2 - Definição de categorias (classes)

Classe A = Projetos prioritários, que seriam os mais indicados a serem conduzidos;

Classe B = Projetos secundários, que seriam os projetos que não são os que mais se adequam aos interesses dos decisores, mas que poderiam ser executados em uma próxima etapa ou em uma nova seleção.

Classe C = Projetos sobressalentes, que seriam os projetos a serem desqualificados.

Passo 3 - Definição do perfil de cada classe (Figura 3).

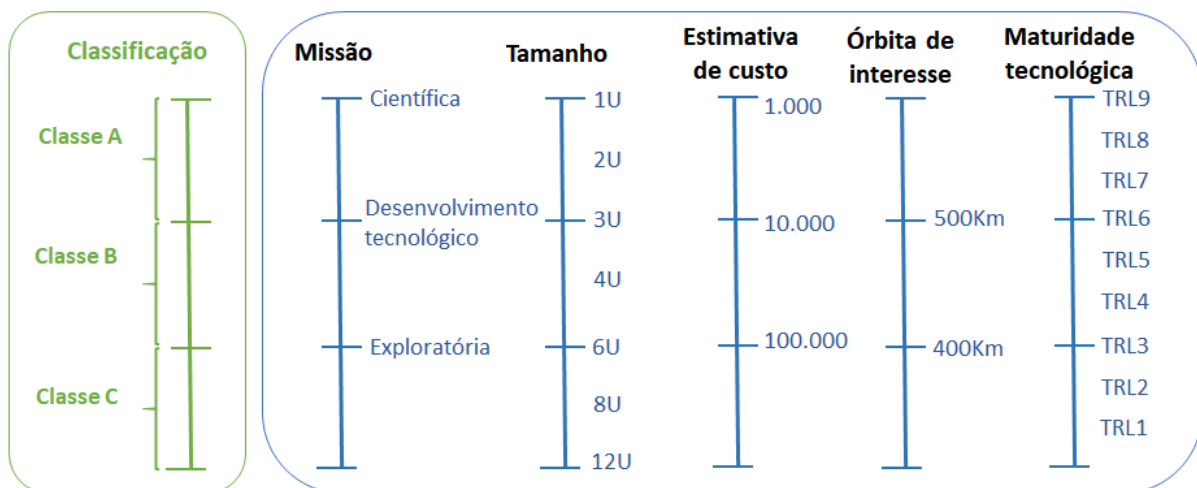


Figura 3. Definição dos perfis das classes.

Passo 4 - Avaliação par-a-par a importância dos critérios e derivação de pesos

Neste passo da metodologia, utilizou-se o apoio computacional do software Superdecisions [Creative Decisions Foundation 2020] (Figura 4) para facilitar visualmente o julgamento dos critérios de comparação pelos decisores.

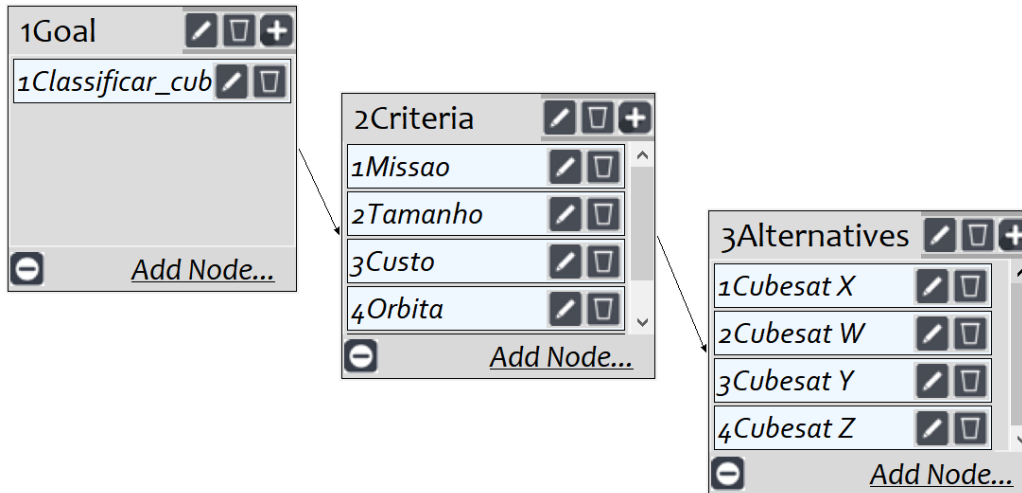


Figura 4. Hierarquia no software superdecisions.

1.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Tamanho
2.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Custo
3.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Orbita
4.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade
5.	2Tamanho	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Custo
6.	2Tamanho	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Orbita
7.	2Tamanho	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade
8.	3Custo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Orbita
9.	3Custo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade
10.	4Orbita	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade

Figura 5. Julgamento dos critérios par-a-par.

Os critérios foram avaliados par-a-par (Figura 5), utilizando a Escala fundamental de Saaty (Tabela 2).

Tabela 2: Escala fundamental de Saaty

Importância	Definição
1	Igual preferência
2	Igual a moderadamente mais preferida
3	Moderadamente mais preferida
4	Moderadamente a fortemente mais preferida
5	Fortemente mais preferida
6	Fortemente a muito fortemente mais preferida
7	Muito fortemente preferida
8	Muito fortemente a extremamente mais preferida
9	Extremamente mais preferida



Gerando os seguintes pesos para os critérios (Figura 6).

Inconsistency: 0.04708		
1Missao		0.26125
2Tamanho		0.06105
3Custo		0.15336
4Orbita		0.40954
5Maturida~		0.11480

Figura 6. Pesos gerados de cada critério.

Estes pesos indicam a importância de cada critério, qual terá maior influência sobre o resultado final da classificação. A inconsistência é um índice que deve ser menor que 0.1, como no exemplo 0.04708, se fosse maior que 0.1 indicaria que as avaliações foram incoerentes.

Passo 5 - Comparação em uma matriz pareada, único candidato a ser classificado com perfis limitantes para cada critério derivando prioridades locais para cada critério (Figura 7).

		Limites Classe A/B										Limites Classe A/B																										
Alternativas	>	Missão Desenvolvimento Tecnológico											<	Tamanho 3U																								
		Cubesat x	científica	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	4U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	científica	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	8U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,111111111
Cubesat y	exploratória	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,166666667	3U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5
Cubesat z	desenv. tecn.	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	2U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333
...																																						
		Limites Classe B/C										Limites Classe B/C																										
Alternativas	>	Missão Exploratório											<	Tamanho 6U																								
		Cubesat x	científica	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889	4U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	científica	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889	8U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,166666667
Cubesat y	exploratória	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	3U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,875
Cubesat z	desenv. tecn.	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	2U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,9
...																																						

		Limites Classe A/B										Limites Classe A/B																										
Alternativas	<	Estimativa de custo ~\$10.000											>	Órbita de interesse 500km																								
		Cubesat x	\$5000	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	\$100000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,1	200Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,142857143
Cubesat y	\$80000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,111111111	600Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,8
Cubesat z	\$10000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,25
...																																						
		Limites Classe B/C										Limites Classe B/C																										
Alternativas	<	Estimativa de custo ~\$100.000											>	Órbita de interesse 400Km																								
		Cubesat x	\$5000	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	\$100000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	200Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,2
Cubesat y	\$80000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,666666667	600Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889
Cubesat z	\$10000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,875	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,8
...																																						

		Limites Classe A/B																	
Alternativas	>	Maturidade tecnológica 6																	
		Cubesat x	TRL6	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8
Cubesat w	TRL2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,111111111
Cubesat y	TRL4	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,2
Cubesat z	TRL3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,142857143
...																			
		Limites Classe B/C																	
Alternativas	>	Maturidade Tecnológica 3																	
		Cubesat x	TRL6	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8
Cubesat w	TRL2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,2
Cubesat y	TRL4	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,75
Cubesat z	TRL3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5
...																			

Figura 7. Julgamentos das alternativas em relação aos limitantes.



Passo 6 - Agregação das prioridades locais ponderadas, que fornecem uma prioridade global de cada alternativa. **Passo 7** - Atribuição da alternativa à sua classe, através da prioridade global. E, **Passo 8** - Repetição das etapas 5 a 7 para cada alternativa a ser classificada.

Alternativas	Critérios (classe A)					Prioridade do limitante	Prioridade da alternativa	Classe
	Missão	Tamanho	Custo	Órbita	Maturidade			
	0,26125	0,06105	0,15336	0,40954	0,1148			
Cubesat x	0,83333	0,25000	0,83333	0,25000	0,50000	0,4794	0,5206	A
Cubesat w	0,83333	0,11111	0,10000	0,14286	0,11111	0,6889	0,3111	
Cubesat y	0,16667	0,50000	0,11111	0,80000	0,20000	0,5583	0,4417	
Cubesat z	0,50000	0,83333	0,50000	0,25000	0,14286	0,6230	0,3770	
...								

Alternativas	Critérios (classe B)					Prioridade do limitante	Prioridade da alternativa	Classe
	Missão	Tamanho	Custo	Órbita	Maturidade			
	0,26125	0,06105	0,15336	0,40954	0,1148			
Cubesat x	0,88889	0,83333	0,88889	0,80000	0,50000	0,1956	0,8044	A
Cubesat w	0,88889	0,16667	0,50000	0,20000	0,20000	0,5761	0,4239	C
Cubesat y	0,50000	0,87500	0,66667	0,88889	0,75000	0,2636	0,7364	B
Cubesat z	0,83333	0,90000	0,87500	0,80000	0,50000	0,2081	0,7919	B
...								

Figura 8. Avaliações finais dos vetores de prioridade e Classificação final.

Estes três últimos passos foram realizados na mesma tabela (Figura 8) por praticidade. Quando a prioridade global da alternativa é maior do que a prioridade do limitante do perfil, a alternativa pertence àquela classe. Gerando assim como resultado final a seguinte classificação (Tabela 3):

Tabela 3: Classificação final

Classe	Cubesats
A Projetos prioritários	x
B Projetos secundários	y e z
C Projetos sobressalentes	w

4. Conclusão

Este trabalho propôs um modelo para seleção de portfólio de projetos de cubesats, utilizando a metodologia AHP-Sort, e exemplificou o seu uso. Esta mesma metodologia pode ser utilizada para a seleção de quaisquer outros tipos de pequenos satélites.

Como resultado final obtivemos uma lista dos projetos classificados em prioritários, secundários e sobressalentes, o que ajuda os decisores na tomada de decisão de quais projetos devem ser conduzidos.

A vantagem do uso dos métodos AHP e do AHP-Sort é serem métodos de simples entendimento e com análises não complexas, fato que tornou o AHP tão popular e sempre é o método mais conhecido e lembrado logo que se fala em Apoio à Decisão, porém sua limitação de uso para portfólio de projetos é não poder ser aplicável a um número grande de alternativas, pois isto superaria o limite psicológico de avaliação dos decisores. Esta limitação é solucionada pelo AHP-Sort, que permite avaliar quantas alternativas forem necessárias, pois não são utilizadas avaliações par-a-par entre as alternativas.



Como trabalhos futuros, sugere-se aplicar o modelo a um caso real com a definição dos critérios, classes, perfis de classes e julgamentos verdadeiros pelos *stakeholders*, ou pode-se também utilizar um Método de Estruturação de problemas (PSM) para melhor condução na obtenção destas informações. Além de outras metodologias MCDA poderem ainda ser estudadas para comparação de facilidade de aplicação e repetibilidade a este problema de seleção de portfólio de projetos.

Agradecimentos: *Os autores gostariam de agradecer à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro na oportunidade de realizar este trabalho.*

Referências

- Creative Decisions Foundation (2020). Thomas L. Saaty and Rozann Whitaker Saaty - Super Decisions. <http://www.superdecisions.com/>. Acesso em: 01.07.2020.
- Gujansky, G. (2014). Determinação de municípios para implantação de unidades operacionais do senai utilizando modelo de apoio multicritério à decisão. Tese de mestrado. Instituto Tecnológico Aeroespacial.
- Gujansky, G. and Belderrain, M. C. N. (2014). Aplicação do método ahpsort para aquisição de um automóvel. *Revista Gestão em Engenharia*, São José dos Campos, v.1, n.1, p.1-17, jul./dez.
- Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis - Methods and Softwares*. Wiley & Sons.
- Ishizaka, A., Nemery, P., and Pearmana, C. (2012). Ahpsort: an ahp based method for sorting problems. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4767-4784.
- Nanosats Database (2020). Erik Kulu. <https://www.nanosats.eu/>. Acesso em: 01.07.2020.
- NASA (2020). About CubeSat Launch Initiative. <https://www.nasa.gov/content/about-cubesat-launch-initiative>. Acesso em: 01.07.2020.
- PMI (2017). Guia pmbok. In *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos - 6 edição*. Project Management Institute.
- Poghosyan, A. and Golkar, A. (2017). Cubesat evolution: Analyzing cubesat capabilities for conducting science missions. *Progress in Aerospace Sciences*.
- Roy, B. and Bouyssou, D. (1993). *Aide Multicritère à la Décision*. Economica: Paris.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchical Process*. McGraw-Hill International.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

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

Manuais Técnicos (MAN)

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

Notas Técnico-Científicas (NTC)

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

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

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

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

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

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

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

Programas de Computador (PDC)

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

Pré-publicações (PRE)

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