



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/11.25.11.59-TDI

## MÉTODO DE GERENCIAMENTO DE MATURIDADE AGREGADA ORIENTADO A REQUISITOS EM PROJETOS DE SISTEMAS COMPLEXOS

Bernardo Kaipper de Rezende

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Milton de Freitas Chagas Júnior, aprovada em 20 de novembro de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43LHUDP>>

INPE  
São José dos Campos  
2020

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):****Presidente:**

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

**Membros:**

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

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

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

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

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

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

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

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

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

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

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/11.25.11.59-TDI

## MÉTODO DE GERENCIAMENTO DE MATURIDADE AGREGADA ORIENTADO A REQUISITOS EM PROJETOS DE SISTEMAS COMPLEXOS

Bernardo Kaipper de Rezende

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Milton de Freitas Chagas Júnior, aprovada em 20 de novembro de 2020.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/43LHUDP>>

INPE  
São José dos Campos  
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Rezende, Bernardo Kaipper de.

R339m Método de gerenciamento de maturidade agregada orientado a requisitos em projetos de sistemas complexos / Bernardo Kaipper de Rezende. – São José dos Campos : INPE, 2020.  
xxiv + 186 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/11.25.11.59-TDI)

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

Orientador : Dr. Milton de Freitas Chagas Júnior.

1. Avaliação de maturidade do sistema. 2. Escala de maturidade tecnológica. 3. Maturidade de integração. 4. Maturidade de sistema. 5. Gerenciamento de maturidade agregada. I.Título.

CDU 658.511.4:629.7

---



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 INOVAÇÕES



## INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Serviço de Pós-Graduação-SEPGR

Pós-Graduação em ETE/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.

### DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO DE BERNARDO KAIPPER DE REZENDE

No dia 20 de novembro de 2020, as 10h, 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 Mestre em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng. Gerenc.de Sistemas Espaciais. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

#### **Novo Título: "MÉTODO DE GERENCIAMENTO DE MATURIDADE AGREGADA ORIENTADO A REQUISITOS EM PROJETOS DE SISTEMAS COMPLEXOS"**

Eu, Maurício Gonçalves Vieira Ferreira, como Presidente da Banca Examinadora, assino esta ATA em nome de todos os membros.

#### **Membros da Banca**

Dr. Maurício Gonçalves Vieira Ferreira Presidente INPE.

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior Orientador(a) INPE.

Dr. Leonel Fernando Perondi Membro da Banca INPE.

Dr. José Osvaldo De Sordi Convidado(a) UNIFESP.



Documento assinado eletronicamente por **Maurício Gonçalves Vieira Ferreira, Coordenador de Rastreo, Controle e Recepção de Satélites**, em 20/11/2020, às 14:27 (horário oficial de Brasília), com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **6084172** e o código CRC **D9A81B22**.



*“As dificuldades são como as montanhas. Elas só se aplainam quando avançamos sobre elas”.*

*Provérbio japonês*



Aos colegas da Memória Técnico-Científica, alunos da Pós-Graduação do INPE, aos colegas da indústria Aeroespacial, à família e aos amigos.



## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Andréa Gasser Kaipper, pela criação e auxílio nos momentos difíceis e ao meu pai, Raimundo Alves de Rezende, pelo exemplo pessoal e profissional.

À minha companheira Kemilly de Alcântara Moriyama pelo suporte pessoal e incentivo à realização da pesquisa.

Ao professor-doutor e orientador Milton de Freitas Chagas Júnior, pelo suporte e incentivo à realização da pesquisa.

Ao INPE, pela oportunidade de realizar este mestrado.

À Embraer S.A e à Mitsubishi Aircraft Corporation pelo meu desenvolvimento profissional e pela disponibilização de horas para realização do mestrado.

À equipe de desenvolvimento de produto do sistema elétrico do programa Embraer E2 e Mitsubishi Spacejet M90 que contribuiu com meu desenvolvimento profissional e permitiu a condução da pesquisa.





## RESUMO

O gerenciamento do desenvolvimento de produtos e sistemas complexos (CoPS) requer ferramentas e técnicas que considerem as propriedades altamente complexas e integradas associadas ao seu desenvolvimento. Para produzir linhas de base de tempo e custo de desenvolvimento otimizadas a fim de evoluir as maturidades tecnológicas e de integração de um sistema complexo, propõe-se o artefato *Requirements Oriented Earned Readiness Management* (ROERM). O artefato resulta da execução da Metodologia *Design Science Research* (DSRM) e as etapas identificação de problemas e motivação, definição de objetivos da solução, concepção e desenvolvimento do artefato, demonstração e avaliação do artefato, ainda em estágio teórico, resumizam a pesquisa. O artefato consiste em uma proposta de evolução da abordagem, também teórica, Gerenciamento de Maturidade Agregada (ERM), que, quando executada, visa fornecer uma priorização otimizada de alocação de recursos financeiros e humanos do projeto para avançar as maturidades tecnológicas e de integração, seguida pelo monitoramento e controle da maturidade agregada no decorrer do projeto. O artefato ROERM adiciona, ao ERM, processos para avaliação de maturidade e estimativas de custo financeiro e de recursos humanos, enquanto também oferece, ao adicionar atributos orientados à maturidade nas matrizes de validação e verificação de requisitos, uma correlação entre evoluções de níveis de maturidade e os necessários documentos técnicos a serem emitidos. O artefato foi proposto com o objetivo de solucionar as seguintes classes de problemas: mapeamento de processos, estimativas de custos e controle e planejamento. Além disso, em oposição à abordagem de busca probabilística proposta na abordagem ERM e que não garante, como resultado, a solução ótima de priorização de recursos, concebeu-se um algoritmo de viés determinístico que oferece essa garantia ao percorrer todas as possíveis opções de evolução de maturidade de uma determinada configuração de integrações tecnológicas. Um estudo de viabilidade foi realizado para caracterizar configurações em que o uso do algoritmo determinístico se torna favorável e praticável pelos usuários do artefato. Espera-se que a execução da abordagem ROERM em um ambiente de desenvolvimento de CoPS aumente a capacidade de absorver eventos adversos, sejam gerenciais ou técnicos, que, sem a abordagem, poderiam levar a maiores discrepâncias com relação às linhas de base predefinidas. A demonstração de execução teórica do artefato foi realizada a especialistas em sistemas aeroespaciais divididos em grupos focais, exploratório e confirmatório, de acordo com as funções que cada indivíduo exerce em suas instituições. A etapa de avaliação coletou suas opiniões sobre a utilidade do artefato teórico por meio de um questionário de pesquisa e estas foram discutidas para conclusão da pesquisa.

Palavras-chave: Avaliação de Maturidade do Sistema, Escala de Maturidade Tecnológica, Maturidade de Integração, Maturidade de Sistema, Gerenciamento de Maturidade Agregada, Gerenciamento de Requisitos



# **REQUIREMENTS ORIENTED EARNED READINESS MANAGEMENT METHOD FOR COMPLEX SYSTEMS PROJECTS**

## **ABSTRACT**

Complex Products and Systems (CoPS) management requires tools and techniques that consider their development's highly complex and integrated properties. To produce a cost and time optimized development baseline to evolve the technology and integration maturities of a complex system, an artifact defined as Requirements Oriented Earned Readiness Management (ROERM) is proposed. The artifact results from the sequential research process defined as Design Science Research Methodology (DSRM) and problem identification/motivation, definition of solution objectives, artifact design and development, artifact demonstration and evaluation, still in a theoretical stage, represents a summary of the research steps. The artifact is a proposed evolution of the also theoretical Earned Readiness Management (ERM) framework, which, when executed, aims to generate an optimized prioritization of the project's financial and human resources allocation to advance technological and integration maturities followed by monitoring and controlling the earned readiness throughout the project. The ROERM artifact adds, to ERM, processes for assessing readiness and estimating financial costs and human resources while also offering a correlation between the evolution of readiness levels and their required release of technical documents by adding readiness oriented attributes to the requirements validation and verification matrices. The artifact was conceived to solve the following classes of problems: process mapping, cost estimate, and control and planning. Additionally, in opposition to the probabilistic search model originally proposed in the ERM framework, which does not guarantee the optimal resources prioritization solution was found, a deterministic algorithm has been developed to grant certainty that the solution is optimal by inspecting all possible maturity evolution solutions of a given configuration of technological integrations. A feasibility study was conducted to characterize configurations in which the use of the deterministic algorithm becomes favorable and practicable by the artifact's users. Theoretically, executing ROERM in a CoPS development environment will increase the odds of absorbing adverse developmental events, whether managerial or technical, which, without it, would lead to a greater offset against the predefined baselines. In a theoretical context, the artifact was demonstrated to aerospace system experts divided into exploratory and confirmatory focus groups according to each individual's functions in their institutions. The evaluation stage collected their opinions about the theoretical artifact's utility through a survey questionnaire, which were discussed to conclude the research.

Keywords: Earned Readiness Management, Integration Readiness Level, Requirements Management, System Readiness, System Readiness Assessment, Technology Readiness Level.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1 - Descrição dos níveis de maturidade tecnológica. ....	9
Figura 3.2 - O modelo SRL futuro. ....	12
Figura 3.3 - Fluxo de realização do SRA. ....	15
Figura 3.4 - Diagrama conceitual do sistema: Tech 1—Remote Manipulator System (RMS); Tech 2—Special Purpose Dexterous Manipulator (SPDM); Tech 3—Electronic Control Unit (ECU); Tech 4—Autonomous Grappling (AG); Tech 5—Autonomous Proximity Operations (APO); and Tech 6 — Laser Image Detection and Radar (LIDAR). ....	18
Figura 3.5 - Abordagem conceitual ERM. ....	25
Figura 3.6 – Abordagem ERM comparada à abordagem EVM. ....	28
Figura 3.7 – Custo comprometido no ciclo de vida em relação ao tempo. ....	36
Figura 3.8 – Diagrama de contexto do processo de verificação. ....	37
Figura 4.1 - Planejamento do projeto de pesquisa. ....	41
Figura 4.2 – Modelo de processo da Metodologia <i>Design Science Research</i> .	45
Figura 5.1 – o Modelo V. ....	49
Figura 5.2 - Descrição geral da abordagem ROERM. ....	53
Figura 5.3 – Proposta de fluxograma para alocação de requisitos a CTEs/CIEs. ....	54
Figura 5.4 – Proposta de fluxograma para alocação de requisitos a maturidades tecnológicas / integração. ....	59
Figura 5.5 – Proposta de fluxograma para estimativas de custos financeiros e horas de trabalho a partir da maturidade alocada a requisitos. ....	62
Figura 6.1 - Diagrama conceitual do subsistema ELT1: CTE1 – Elemento Crítico Tecnológico 1 (Bateria); CTE2 - Elemento Crítico Tecnológico 2 (Painel Solar); CIE1,2 – Elemento Crítico de Integração 1,2 (Integração Bateria / Painel Solar). ....	73
Figura 6.2 - Níveis de maturidade atualizados para o subsistema ELT1. ....	77
Figura 8.1 – Execução progressiva da abordagem ERM. ....	102
Figura A.1 – Publicações relativas à escala TRL por ano. ....	125
Figura A.2 – Publicações relativas à escala TRL por tipo. ....	126
Figura A.3 – Publicações relativas à escala TRL por fonte a cada ano. ....	126
Figura A.4 – Publicações relativas à escala TRL por domínio do conhecimento. ....	127
Figura A.5 – Publicações relativas à escala TRL por autor. ....	127
Figura A.6 – Publicações relativas à escala TRL por país. ....	128
Figura A.7 – Publicações relativas à escala TRL por afiliação institucional. ..	128
Figura A.8 – Publicações relativas a processos TRA por ano. ....	129
Figura A.9 – Publicações relativas a processos TRA por tipo. ....	130

Figura A.10 – Publicações relativas a processos TRA por fonte a cada ano.	130
Figura A.11 – Publicações relativas a processos TRA por domínio do conhecimento.....	131
Figura A.12 – Publicações relativas a processos TRA por autor.....	131
Figura A.13 – Publicações relativas a processos TRA por país.....	132
Figura A.14 – Publicações relativas a processos TRA por afiliação institucional.....	132
Figura A.15 – Publicações relativas à escala SRL por ano.....	133
Figura A.16 – Publicações relativas à escala SRL por tipo.....	133
Figura A.17 – Publicações relativas à escala SRL por fonte a cada ano.....	134
Figura A.18 – Publicações relativas à escala SRL por domínio do conhecimento.....	134
Figura A.19 – Publicações relativas à escala SRL por autor.....	135
Figura A.20 – Publicações relativas à escala SRL por país.....	135
Figura A.21 – Publicações relativas à escala SRL por afiliação institucional.	136
Figura A.22 – Publicações relativas a processos SRA por ano.....	137
Figura A.23 – Publicações relativas a processos SRA por tipo.....	137
Figura A.24 – Publicações relativas a processos SRA por fonte a cada ano.	138
Figura A.25 – Publicações relativas a processos SRA por domínio do conhecimento.....	138
Figura A.26 – Publicações relativas a processos SRA por autor.....	139
Figura A.27 – Publicações relativas a processos SRA por país.....	139
Figura A.28 – Publicações relativas a processos SRA por afiliação institucional.....	140
Figura A.29 – Publicações relativas à abordagem EVM por ano.....	141
Figura A.30 – Publicações relativas à abordagem EVM por tipo.....	141
Figura A.31 – Publicações relativas à abordagem EVM por fonte a cada ano.....	142
Figura A.32 – Publicações relativas à abordagem EVM por domínio do conhecimento.....	142
Figura A.33 – Publicações relativas à abordagem EVM por autor.....	143
Figura A.34 – Publicações relativas à abordagem EVM por país.....	143
Figura A.35 – Publicações relativas à abordagem EVM por afiliação institucional.....	144
Figura B.1 - Apresentação abordagem ERM.....	148
Figura B.2 – Apresentação abordagem ROERM.....	154
Figura B.3 - Questionário utilizado na etapa de avaliação.....	163

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 – Escala IRL aprimorada. ....	13
Tabela 3.2 - Escala SRL aprimorada. ....	14
Tabela 3.3 - Custo Incremental Estimado (× 1000) e homens-hora para cada esforço de avanço da maturidade Tecnológica. ....	19
Tabela 3.4 - Custo Incremental Estimado (× 1000) e homens-hora para cada esforço de avanço da maturidade de Integração. ....	20
Tabela 3.5 - Melhores soluções para valores de SRL desejados. ....	20
Tabela 3.6 - Plano de Desenvolvimento. ....	21
Tabela 3.7 – Relevância de escalas de maturidade e de otimização para processos de Engenharia de Sistemas. ....	23
Tabela 3.8 - Exemplo de um plano de desenvolvimento otimizado. ....	27
Tabela 3.9 - Exemplo de cronograma de desenvolvimento de um sistema (com elementos hipotéticos). ....	27
Tabela 3.10 – Matriz de Validação de Requisitos. ....	35
Tabela 3.11 – Matriz de Verificação de Requisitos. ....	38
Tabela 4.1 – Esquema de publicação para uma pesquisa baseada em Design Science. ....	44
Tabela 5.1 - Escalas TRL, IRL e SRL com associação teórica a gerenciamento de requisitos. ....	50
Tabela 5.2 - Banco de dados de requisitos com o atributo de alocação de requisitos CTE e CIE. ....	55
Tabela 5.3 - Matrizes combinadas de validação / verificação com atributos de maturidade de requisitos. ....	61
Tabela 5.4 – Associação entre custos financeiros e horas de trabalho para avanço de maturidade de CTEs e requisitos aplicáveis. ....	62
Tabela 5.5 - Associação entre custos financeiros e horas de trabalho para avanço de maturidade de CIEs e requisitos aplicáveis. ....	63
Tabela 5.6 – Execuções consecutivas do algoritmo desenvolvido para a abordagem ROERM. ....	65
Tabela 5.7 – Exemplos de soluções. ....	66
Tabela 5.8 – Valores calculados pelo algoritmo desenvolvido na pesquisa. ....	69
Tabela 5.9 - Inclusão do cronograma de demonstração de maturidade para todos os requisitos. ....	70
Tabela 6.1 – Conjunto de requisitos do sistema ELT1. ....	73
Tabela 6.2 - Alocação de requisitos ELT1 a CTEs / CIE. ....	74
Tabela 6.3 - Módulo de requisitos ilustrativo do ELT1 com alocação de CTE / CIE, "Nível atual de maturidade" e "Pacote de trabalho de maturidade". ....	76

Tabela 6.4 - Custo financeiro incremental estimado (× 1000) e horas de trabalho (x E5) para cada aumento da maturidade da tecnologia independente. ....	78
Tabela 6.5 - Custo financeiro incremental estimado (× 1000) e horas de trabalho (x E5) para cada aumento da maturidade de integração.....	78
Tabela 6.6 - SRLs computados, custos financeiros totais e horas totais de mão-de-obra para a maturidade atual e todas as possíveis evoluções da maturidade. ....	80
Tabela 6.7 - Soluções de evolução da maturidade para cada ano de desenvolvimento com métricas associadas. ....	81
Tabela 6.8 – Atualização das soluções de evolução da maturidade para ano 1 e 2 de desenvolvimento. ....	82
Tabela 6.9 – Plano resumido de evolução otimizada de maturidade. ....	83
Tabela 6.10 - Inclusão do atributo “Cronograma (Ano)” na matriz de verificação do subsistema ELT1.....	84
Tabela 7.1 – Dificuldades de utilização da abordagem ERM em futuros projetos de sua instituição/corporação. ....	88
Tabela 7.2 – Lacunas, falhas observadas na abordagem ERM. ....	89
Tabela 7.3 – Comentários sobre a primeira etapa da abordagem ROERM. ....	91
Tabela 7.4 – Comentários sobre a segunda etapa da abordagem ROERM. ...	93
Tabela 7.5 – Comentários sobre a terceira etapa da abordagem ROERM. ....	94
Tabela 7.6 – Comentários sobre a quarta etapa da abordagem ROERM. ....	96
Tabela 7.7 – Comentários sobre a quinta etapa da abordagem ROERM. ....	97
Tabela 7.8 – Comentários gerais sobre a pesquisa. ....	98
Tabela B.1 - Dados dos profissionais entrevistados.....	147
Tabela B.2 - Dados coletados referentes às perguntas com respostas de múltipla escolha.....	171
Tabela B.3 - Dados coletados referentes às perguntas com respostas discursivas.....	172



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACRA	Actual Cost of Readiness Achieved
AG	Autonomous Grappling
APO	Autonomous Proximity Operations
BCRA	Budgeted Cost of Readiness Achieved
BCRS	Budgeted Cost of Readiness Scheduled
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CDR	Critical Design Review
CoPS	Complex Product and Systems
COTS	Commercial Off The Shelf
CSE	Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais
CIE	Critical Integration Element
CTE	Critical Technology Element
DoD	Department of Defense
DSRM	Design Science Research Methodology
E2	Programa Embraer E-Jets E2
ECSS	European Cooperation for Space Standardization
ELT1	Subsistema teórico utilizado para simulação de execução da abordagem ROERM
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
ERM	Earned Readiness Management
ETE	Engenharia e Tecnologia Espaciais
EVM	Earned Value Management
FMECA	Failure Mode Effects and Criticality Analysis
GAO	Government Accountability Office
HALT	Highly Accelerated Life Testing
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INCOSE	International Council on Systems Engineering
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRL	Integration Readiness Levels
LIDAR	Laser Image Detection and Radar

NASA	National Aeronautics and Space Administration
PDR	Preliminary Design Review
PSDA	Probabilistic Solution Discovery Algorithm
ROERM	Requirements Oriented Earned Readiness Management
R2O2S	Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule
RCPI	Readiness Cost Performance Index
RMS	Remote Manipulator System
RPI	Readiness Performance Index
RTM	Requirements Traceability Matrix
RVTM	Requirements Verification Traceability Matrix
SID	Serviço de Informação e Documentação
SERM	System Earned Readiness Management
SPDM	Special Purpose Dexterous Manipulator
SPG	Serviço de Pós-Graduação
SRA	System Readiness Assessment
SRBS	System Readiness Breakdown Structure
SRL	System Readiness Levels
TDI	Teses e Dissertações Internas
TRA	Technology Readiness Assessment
TRL	Technology Readiness Level
VCRM	Verification Cross Reference Matrix
V&V	Validação e Verificação

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....</b>	<b>5</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
3.1 Gerenciamento de maturidade agregada .....	7
3.1.1 Escala de nível de maturidade tecnológica .....	8
3.1.2 Avaliação de níveis de maturidade tecnológica.....	9
3.1.3 Escalas de níveis de maturidade de integração e de sistema .....	10
3.1.4 Avaliação de maturidade do sistema.....	14
3.1.5 Modelo de evolução de maturidade baseado em priorização otimizada de dispêndio orçamentário do projeto.....	16
3.1.6 Método de Gerenciamento de Maturidade Agregada .....	24
3.2 Gerenciamento de requisitos.....	30
3.2.1 Validação de requisitos.....	31
3.2.2 Verificação de requisitos.....	35
<b>4 METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>40</b>
<b>5 DESCRIÇÃO DO ARTEFATO .....</b>	<b>46</b>
5.1 Desenvolvimento do artefato .....	46
5.1.1 Acurácia dos dados de entrada para cálculo do cronograma otimizado.....	46
5.1.2 Proposta probabilística do algoritmo de suporte ao Método de Gerenciamento de Maturidade Agregada .....	50
5.1.3 Rastreio e avaliação da obtenção de maturidade.....	52
5.2 Método <i>Requirements Oriented Earned Readiness Management</i> (ROERM).....	53
5.2.1 Alocação de requisitos a elementos tecnológicos críticos e de integração .....	53
5.2.2 Alocação de requisitos a maturidades tecnológicas / integração .	56
5.2.3 Estimativa de custos financeiros e de horas de trabalho baseado em maturidade de requisitos .....	60

5.2.4	Calcular cronograma otimizado em custos financeiros e horas de trabalho orientado a requisitos .....	63
5.2.5	Plano de emissão de evidências de validação/verificação para cumprir com o cronograma otimizado .....	67
5.2.6	Considerações sobre a abordagem ROERM .....	67
<b>6</b>	<b>DEMONSTRAÇÃO</b> .....	<b>72</b>
6.1	Informações sobre o sistema utilizado na simulação .....	72
6.2	Simulação de execução do método ROERM .....	74
<b>7</b>	<b>AVALIAÇÃO</b> .....	<b>85</b>
7.1	Avaliação do método ERM .....	87
7.2	Avaliação do método ROERM .....	90
7.3	Comentários gerais sobre a pesquisa .....	97
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>100</b>
8.1	Discussão sobre o método ERM .....	100
8.2	Discussão sobre o método ROERM .....	105
8.2.1	Discussão sobre alocação de requisitos a CTEs e CIEs .....	106
8.2.2	Discussão sobre alocação de requisitos a maturidades tecnológicas / integração .....	108
8.2.3	Discussão sobre estimativa de custos financeiros e de horas de trabalho baseado em maturidade de requisitos .....	109
8.2.4	Discussão sobre cálculo do cronograma otimizado em custos financeiros e horas de trabalho orientado a requisitos .....	111
8.2.5	Discussão sobre alocação de requisitos a maturidades tecnológicas / integração .....	112
8.2.6	Discussão sobre comentários finais .....	112
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>117</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>120</b>
	<b>APÊNDICE A – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA</b> .....	<b>125</b>
A.1.	Technology Readiness Level .....	125
A.2.	Technology Readiness Assessment .....	128
A.3.	System Readiness Level .....	132
A.4.	System Readiness Assessment .....	136
A.5.	Earned Value Management .....	140
A.6.	Earned Readiness Management .....	144

A.7. Outras pesquisas bibliográficas .....	144
<b>APÊNDICE B – COLETA DE DADOS DA PESQUISA .....</b>	<b>146</b>
B.1. Dados dos entrevistados.....	146
B.2. Apresentações utilizadas .....	148
B.3. Questionário utilizado .....	163
B.4. Dados coletados nas entrevistas .....	170
<b>APÊNDICE C – COMO ESCREVER BONS REQUISITOS .....</b>	<b>179</b>
<b>APÊNDICE D – MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DE REQUISITOS.....</b>	<b>184</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O autor desta dissertação de mestrado foi motivado, baseado em conversas com seu orientador e outros especialistas de seu grupo de estudos do INPE, a estudar metodologias de estimativas de maturidade de CoPS e, possivelmente, apresentar propostas ou sugestões de melhoria a essas metodologias. A revisão literária inicial culminou na publicação de maior relevância de conceitos teóricos para a pesquisa: Magnaye et al. (2014). Ao entender a abordagem de Gerenciamento de Maturidade Agregada (ERM) proposta por Magnaye et al. (2014), foram estabelecidos potenciais problemas a serem discutidos e, conseqüentemente, solucionados. A utilização da metodologia *Design Science Research* (PEFFERS et al., 2007) na dissertação de mestrado de Jesus (2019), publicada pelo INPE, e seus resultados, levaram ao interesse de se aplicar a mesma metodologia para o estudo vigente, incluindo a identificação de problemas e o desenvolvimento de um artefato que visa solucionar os eventuais problemas identificados.

A abordagem ERM apresentada em Magnaye et al. (2014) descreve uma abordagem de gerenciamento orientada à maturidade que planeja, controla e avalia a maturidade de um CoPS em desenvolvimento. A fase de planejamento depende do resultado obtido por um modelo algorítmico que visa encontrar uma solução de máxima evolução de maturidade do sistema com o mínimo investimento financeiro possível. O algoritmo foi apresentado em Magnaye et al. (2010) e é referido por SCODmin. Para execução do algoritmo, são requeridos os níveis de maturidade *Technology Readiness Level* (TRL) e *Integration Readiness Level* (IRL) atuais, o aumento desejado de *System Readiness Level* (SRL) em relação ao SRL atual e as estimativas de recursos financeiros e de horas de trabalho a serem aplicados no desenvolvimento do produto para sua evolução à cada nível de maturidade até a maturidade máxima (TRL e IRL 9). Magnaye et al. (2010) descrevem que essas estimativas são obtidas por meio de análise de engenharia, analogia, estimativas de especialistas e/ou suas combinações. Para casos em que as maturidades tecnológicas são muito baixas e estimativas baseadas em experiências

passadas representem um desafio, menciona-se a distribuição probabilística de Rayleigh (ABERNETHEY, 1984; BLUMENSON; MILLER, 1963; LEE et al., 1993) como uma possível ferramenta para se estimar de custos de evolução de maturidade. Os mesmos autores do modelo SCODmin descrevem que seu resultado é tão bom quanto à precisão do conjunto dos seus dados de entrada, ou seja, avaliações de maturidade e estimativas de custos financeiros e horas de trabalho imprecisas levarão, naturalmente, a soluções de evolução de maturidade que, apesar de otimizadas para solucionar o conjunto de dados oferecidos, não representarão a melhor solução de priorização de recursos para desenvolvimento do sistema.

Aplicando-se as diretrizes de identificação e solução de problemas propostas na metodologia *Design Science Research*, argumenta-se que a ausência de uma referência nominal direta a um processo para computar-se as estimativas necessárias como dados de entrada para utilização do modelo teórico indique a oportunidade para se desenvolver um artefato orientado a solucionar os problemas da classe de problemas “mapeamento de processos” e “estimativas de custos” descrito em Dresch et al. (2015).

Com relação às etapas de controle e avaliação de maturidade propostas da abordagem ERM, Magnaye et al. (2014) descrevem que a confirmação de que um determinado aumento de maturidade foi atingido será realizado por intermédio de um processo de avaliação independente a ser instituído pela organização que executa a abordagem ERM. Novamente, argumenta-se que a ausência de uma referência nominal a um mecanismo de avaliação para confirmar a evolução de maturidade da solução tecnológica permita que um artefato orientado à classe de problemas “controle e planejamento”, adaptada da classe de problemas “controle e planejamento de produção” descrita em Dresch et al. (2015), possa aprimorar a abordagem ERM.

Uma prática comum no desenvolvimento de sistemas complexos é o gerenciamento de requisitos (YOUNG, 2004), e, baseado nos conceitos de validação e verificação de requisitos, propõe-se sua utilização como uma ferramenta para estimar as maturidades de uma solução tecnológica, tanto no



momento da avaliação, como no que é necessário realizar para evoluí-las em termos de níveis das escalas TRL e IRL, para atender às necessidades requisitadas pelos *stakeholders* envolvidos no projeto. Os requisitos e as atividades de validação e verificação devem orientar o desenvolvimento do produto (ISO/IEC/IEEE, 2011; ISO/IEC/IEEE, 2015; INCOSE, 2015). Argumenta-se que o gerenciamento de requisitos (NASA, 2017; HOOKS; FARRY, 2000; ROEDLER et al., 2010), executado em um formato rigoroso e fundamentado deva transparecer as atividades técnicas do produto ao mesmo tempo que explicita desafios técnicos e gerenciais associados ao seu desenvolvimento por intermédio dos objetivos definidos para validação e verificação dos requisitos associados.

Considerou-se que associar os conceitos apresentados na abordagem ERM aos conceitos do gerenciamento de requisitos (incluindo matrizes de validação e verificação) fosse uma solução eficaz e coerente para solucionar os problemas supramencionados, permitindo, assim, propor a evolução da abordagem ERM para a abordagem ROERM (*Requirements Oriented Earned Readiness Management*). Acredita-se que a abordagem ROERM é um artefato que, além de produzir um planejamento otimizado, forneça, simultaneamente, segurança ao seguir o planejamento produzido, uma vez que a documentação processual dos dados de entrada que permitem obter o planejamento otimizado oferece transparência aos usuários da abordagem.

Ao desenvolver-se o artefato ROERM, substituiu-se a abordagem probabilística de descoberta de soluções aplicada no desenvolvimento do algoritmo SCODmin, apresentado em Magnaye et al. (2010), por um algoritmo de descoberta determinística. Magnaye et al. (2010) justificam a escolha de se desenvolver um algoritmo de viés probabilístico devido à ampla quantidade de soluções a serem avaliadas quando há um grande número de componentes e interconexões que compõem um sistema complexo. Apesar do embasamento teórico da afirmação, a ausência de um estudo que caracteriza tempos de execução de um algoritmo de abordagem de busca determinística motivou o autor a desenvolver um algoritmo seguindo esse formato como parte do escopo

de desenvolvimento do artefato ROERM, inclusive aplicando-o ao estudo de caso abordado em Magnaye et al. (2010).

Uma demonstração de execução do artefato ROERM foi realizada e avaliada por quatorze profissionais experientes do setor aeroespacial. Os especialistas foram divididos em grupos focais exploratório e confirmatório, conforme distribuição de grupos focais proposta em Hevner et al. (2004). Um questionário foi elaborado para avaliar a utilidade e eficácia da abordagem ERM, conforme proposta por Magnaye et al. (2014), e de sua evolução para a abordagem ROERM, avaliando, também, as etapas de execução propostas para este artefato. Os resultados foram discutidos e, eventualmente, realimentaram a pesquisa para melhorar a concepção do artefato.

## 2 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral da pesquisa é apresentar o desenvolvimento, demonstração e avaliação do artefato produzido, seguindo-se a metodologia *Design Science Research*, e referido por *Requirements Oriented Earned Readiness Management* (ROERM), para permitir uma discussão sobre sua viabilidade de utilização em desenvolvimento de CoPS em instituições e corporações de interesse.

Os objetivos específicos são:

- 1) propor um artefato que inclui, à abordagem ERM, processos para realização de etapas que, apesar de necessárias para execução da abordagem ERM em projetos de CoPS, não foram objeto de foco dos autores, sendo definidas, em Magnaye et al. (2014), de forma genérica e transferindo a responsabilidade para os possíveis usuários da abordagem ERM;
- 2) conceber um algoritmo de viés determinístico e realizar um estudo de viabilidade que analisa cenários em que a garantia da solução ótima de priorização de recursos para evolução de maturidade se mostra favorável e possível aos usuários, uma vez que a proposta de busca probabilística de Magnaye et al. (2010) incluída na abordagem ERM não garante que a solução ótima de priorização de recursos financeiros será encontrada.
- 3) executar uma demonstração do artefato resultante, ainda em estágio teórico, simulando elementos de desenvolvimento de sistemas complexos experimentados por instituições e corporações;
- 4) avaliar, por intermédio de entrevistas com profissionais da indústria aeroespacial, a utilidade e eficácia dos conceitos de gerenciamento por avaliação de maturidade propostos na abordagem ERM, conforme originalmente apresentada em Magnaye et al. (2014), para aplicá-los

em futuras atividades de desenvolvimento das instituições e corporações dos entrevistados;

- 5) avaliar a utilidade e eficácia do artefato ROERM, proposto como uma melhoria para a abordagem ERM, por intermédio de entrevistas com profissionais da indústria aeroespacial, questionando se o artefato agrega elementos que facilitam o uso dos conceitos da abordagem ERM em futuras atividades de desenvolvimento das instituições e corporações dos entrevistados.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção descreve o conjunto de conceitos utilizados como base para a elaboração da pesquisa e subdivide-se em, primeiramente, apresentar os conceitos referentes à abordagem ERM e, posteriormente, abordar elementos de conhecimento relacionados à gestão de requisitos em projetos de desenvolvimento de sistemas complexos.

O Apêndice A apresenta uma revisão bibliométrica, realizada em agosto de 2020, que fornece uma visibilidade sobre a presença dos conceitos associados à abordagem conceitual ERM em publicações literárias. Com o intuito de não propor um artefato já existente, uma pesquisa bibliométrica foi realizada utilizando termos relacionados a gerenciamento baseado em escalas de maturidade tecnológica e outra pesquisa bibliométrica foi realizada associando o termo “Gerenciamento de requisitos” ao conceito de escalas de maturidade de sistemas. Não houve evidências de propostas semelhantes ao artefato ROERM.

#### 3.1 Gerenciamento de maturidade agregada

Esta subseção apresenta um estudo conceitual da escala de níveis de maturidade tecnológica denominada *Technology Readiness Level* (TRL) (MANKINS, 1995) bem como uma breve análise de sua utilização no desenvolvimento de sistemas complexos e na indústria em geral (TOMASCHEK et al., 2016). Serão apresentadas, também, a escala de níveis de maturidade de integração, referida por *Integration Readiness Level* (IRL), e a de níveis de maturidade de sistema, referida por *System Readiness Level* (SRL) (SAUSER et al., 2008). Será apresentada uma prática de avaliação de níveis de maturidade sistêmica referida por *System Readiness Assessment* (SRA) (AUSTIN; YORK, 2015). Posteriormente, apresenta-se um modelo teórico de priorização otimizada de dispêndio de recursos financeiros para avanço máximo da maturidade sistêmica de um produto, incluindo um exemplo ilustrativo e sua aplicação (MAGNAYE et al., 2010). Todo o aparato associado à utilização desse modelo constitui os elementos-chave para a aplicação de uma abordagem teórica de planejamento, controle e avaliação para

desenvolvimento de sistemas referida por *Earned Readiness Management* ERM (MAGNAYE et al., 2014).

### **3.1.1 Escala de nível de maturidade tecnológica**

A integração de sistemas é um conceito abrangente, sendo seus elementos associados a, praticamente, todos os aspectos da engenharia e gerenciamento de sistemas complexos (SAGE; LYNCH, 1998). Ao mesmo tempo, conforme os sistemas se tornam cada vez mais complexos, é fundamental desenvolver um entendimento sólido do status do desenvolvimento, ou “maturidade do sistema” para possibilitar decisões técnicas e gerenciais, em nível de sistema, mais apuradas ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento (AUSTIN; YORK, 2015).

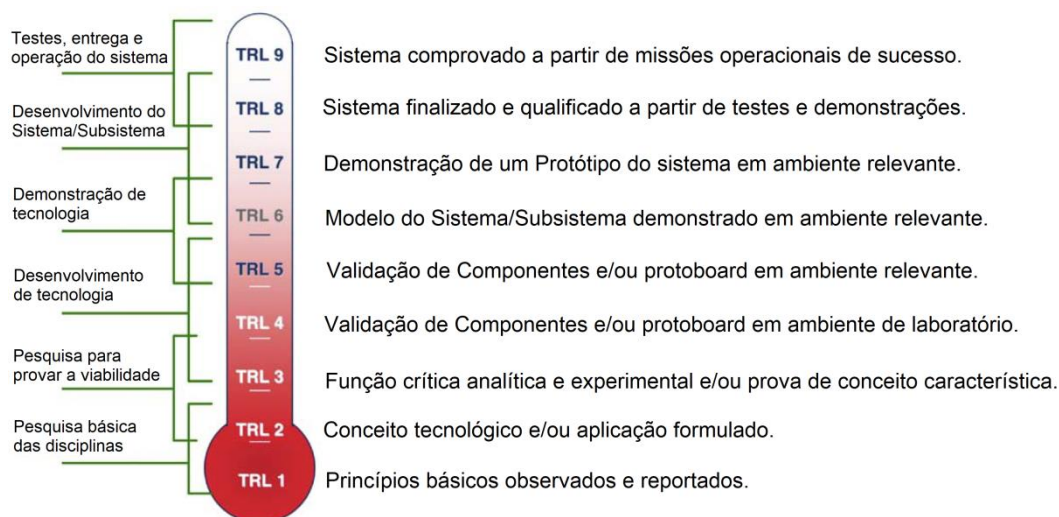
Inovar em arquiteturas de sistemas durante o desenvolvimento de um novo produto ou em uma nova plataforma, potencialmente, trará o diferencial sistêmico que remove as restrições de desempenho das arquiteturas previamente disponíveis em um segmento industrial (CRAWLEY et al., 2016) Seção 15.7. Em contrapartida, o sucesso do desenvolvimento de novas capacidades de sistemas, tipicamente, depende de sucesso prévio de esforços em pesquisa e desenvolvimento tecnológicos (MANKINS, 2009a).

Um desafio para gerentes de sistemas e tecnologias é documentar avaliações de maturidade e de riscos tecnológicos de forma clara e precisa e em momentos chave do ciclo de vida do desenvolvimento (MANKINS, 2009a). Para permitir uma avaliação e comunicação mais efetiva da maturidade de novas tecnologias desenvolvidas em projetos espaciais, a NASA introduziu, em meados dos anos 70, a escala *Technology Readiness Level* (TRL), que objetiva estimar o nível de maturidade tecnológica de uma determinada tecnologia a ser desenvolvida ou utilizada. Em 1995, a escala foi refinada com a definição de expectativas de demonstração tecnológica de cada nível de maturidade, incluindo exemplos que substanciam o que significa atingir um determinado nível na escala TRL e evidenciando as expectativas para uma transição a um nível superior na escala (MANKINS, 2009a). A escala TRL foi aceita pelo *Government Accountability Office* (GAO), adotada pelo U.S.

Department of Defense (DOD) e por diversas organizações (TOMASCHEK et al., 2016). A efetividade da escala TRL em comunicar o status de novas tecnologias foi comprovada nestas diversas organizações de desenvolvimento tecnológico (TOMASCHEK et al., 2016).

A NASA (NASA, 2017) assevera que estabelecer o nível TRL de uma tecnologia é, basicamente, efetuar uma descrição da história do desempenho de uma tecnologia. Os níveis da escala foram inicialmente descritos nas divisões de engenharia e tecnologia da NASA nos anos 80. Essencialmente, a escala TRL descreve o “estado” de uma determinada tecnologia e fornece uma linha de base na qual a maturidade é mensurada e seu avanço definido. Um exemplo de adaptação da escala TRL para a língua portuguesa é apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Descrição dos níveis de maturidade tecnológica.



Fonte: Adaptado de Mankins (2009a).

Um revisão literária acerca da escala TRL é apresentada por Jesus e Chagas Junior (2018).

### 3.1.2 Avaliação de níveis de maturidade tecnológica

De meados dos anos 70 até o início dos anos 2000, a escala TRL passou por evoluções de concepção e utilização, contribuindo, substancialmente, para a avaliação de maturidade tecnológica (AZIZIAN, 2010; MANKINS, 2009a). Uma pesquisa internacional concluiu que a utilização da escala TRL é dominante

nas indústrias com aplicações tecnológicas altamente complexas e únicas como, por exemplo, a indústria aeroespacial e agências governamentais (TOMASCHEK et al., 2016). Este mesmo trabalho sugere que a utilização da escala TRL oferece oportunidades a pesquisadores e organizações para melhor gerenciar riscos, comunicar progressos e especificar entregáveis.

No âmbito do desenvolvimento de programas espaciais, a correlação entre fases de projeto e níveis de maturidade TRL, proposta pela NASA, foi discutida, por exemplo, por Jesus (2019), em que se apresentam os critérios de utilização da escala TRL em revisões de projetos da NASA.

Para a avaliação dos níveis de maturidade tecnológica, NASA (2017) propõe conceitos que auxiliam na determinação do nível de cada tecnologia envolvida em um desenvolvimento espacial. Basicamente, a NASA apresenta duas alternativas para avaliação de maturidade TRL: um questionário detalhado aplicado ao entendimento da maturidade TRL de uma tecnologia; e um processo simplificado de identificação de características tecnológicas demonstradas por um elemento do desenvolvimento e resultando em uma avaliação de maturidade tecnológica em escala de cores (verde para TRL acima de 6, amarelo para TRL entre 3 e 5 e vermelho para TRL abaixo de 3).

Inúmeros motivos e benefícios são esperados ao se executar TRAs, o que inclui reduzir a incerteza no desenvolvimento da tecnologia, fornecer um melhor entendimento do custo do projeto e do risco do cronograma, facilitar a infusão de tecnologias nos sistemas em desenvolvimento e melhorar as tomadas de decisão sobre investimentos em tecnologia (HIRSHORN; JEFFERIES, 2016).

### **3.1.3 Escalas de níveis de maturidade de integração e de sistema**

Apesar da consolidação da escala TRL e seu histórico, um conjunto de autores propôs que o nível de maturidade de sistemas deveria considerar não só a maturidade dos elementos tecnológicos, mas também a maturidade das integrações entre esses elementos (SAUSER et al., 2006). Considerações relativas à integração, interoperabilidade e sustentabilidade de sistemas tornam-se igualmente importantes em um ambiente operacional. Em complemento à escala TRL, focada na graduação da maturidade de uma

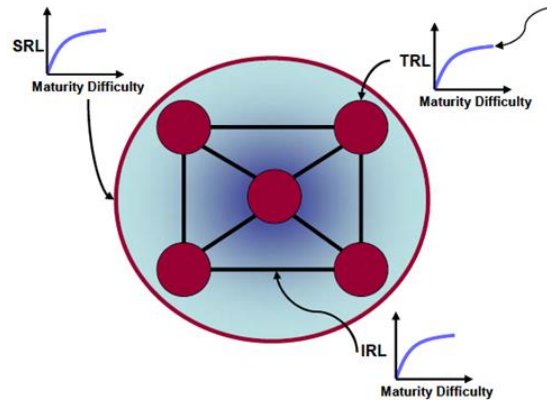


tecnologia, Sauser et al. (2006) propôs a graduação da maturidade de um produto de sistemas complexos (CoPS) (HOBDAY, 1998; DAVIES; HOBDAY, 2005) ou produtos de alta tecnologia (ARCHIBALD, 2003), a partir da escala de maturidade referida por *System Readiness Level* (SRL). Um conjunto de publicações literárias apresentam as definições da escala SRL (AZIZIAN et al., 2010; CILLI; PARNELL, 2010; ERHARDT et al., 2010; FORBES et al., 2009; GARRET et al., 2010; MAGNAYE et al., 2009, 2010; MAJUMBAR, 2007; RAMIREZ-MARQUEZ; SAUSER, 2009; SCEARCE, 2007). O processo de cálculo do SRL consiste em uma multiplicação matricial contendo os TRLs (MANKINS, 1995) e outra matriz contendo os níveis de uma nova escala de maturidade e denominada *Integration Readiness Level* (IRL) (SAUSER et al., 2008a, 2009). Em qualquer sistema, cada uma das tecnologias constituintes está conectada, por meio de uma integração bidirecional, a, no mínimo, uma tecnologia. A forma como cada tecnologia é integrada com outras tecnologias foi usada para formular uma equação para calcular o SRL, em que este é uma função dos valores de TRL das tecnologias e IRL das integrações que formam o sistema.

As escalas TRL e IRL foram consideradas por Sauser et al. (2006) apenas como o início da construção de uma escala de maturidade sistêmica. Adicionar, por exemplo, a dificuldade para se aumentar a maturidade de uma determinada tecnologia, integração e, conseqüentemente, de um sistema, conforme apresentado na Figura 3.2, foi considerado, por Sauser et al. (2006), como um direcionamento relevante de pesquisa futura, uma vez que permitirá estimar a dificuldade para incrementar o nível SRL de um produto.

As escalas IRL e SRL foram aprimoradas e propostas em Magnaye et al. (2010). A Tabela 3.1 apresenta a definição de cada nível da escala IRL e a Tabela 3.2 apresenta a definição de cada intervalo de valores definidos na escala SRL, que, conforme apresentado em Magnaye et al. (2010), possui valores entre 0 e 1.

Figura 3.2 - O modelo SRL futuro.



Fonte: Sauser et al. (2006).

A valor de SRL é calculado usando uma matriz normalizada (divisão de cada TRL e IRL por 9) de comparações de pares de TRLs e IRLs que refletem a arquitetura real do sistema. A matriz IRL é obtida como uma matriz quadrada simétrica (de tamanho  $n \times n$ ) de todas as integrações possíveis entre quaisquer duas tecnologias no sistema. Para uma integração entre a tecnologia e ela mesma (elementos da diagonal principal), aloca-se o nível máximo de integração (IRL = 9), enquanto um IRL de valor zero é utilizado quando não há integração entre dois elementos tecnológicos (MAGNAYE et al., 2010). O vetor TRL, por sua vez, define o nível de maturidade de cada uma das tecnologias no sistema. O cálculo do SRL passou por uma série de refinamentos e sua versão mais atual está registrada em ISRACOI (2019). O SRL combinado é calculado por um conjunto de elementos  $SRL_i$ , conforme apresentadas abaixo e extraídas de Magnaye et al. (2010).

$$[SRL] = \begin{bmatrix} SRL_1 \\ SRL_2 \\ \dots \\ SRL_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IRL_{11}TRL_1 + IRL_{12}TRL_2 + \dots \\ IRL_{21}TRL_1 + IRL_{22}TRL_2 + \dots \\ \dots \\ IRL_{n1}TRL_1 + IRL_{n2}TRL_2 + \dots \end{bmatrix} \quad [SRL] = \frac{\left( \frac{SRL_1}{n_1} + \frac{SRL_2}{n_2} + \dots + \frac{SRL_n}{n_n} \right)}{n}$$

O termo  $n_i$  apresentado para cálculo do SRL é a soma do número de integrações entre a tecnologia 'i' e outras tecnologias ao valor um, que, por sua vez, representa a integração da tecnologia consigo mesma.

Tabela 3.1 – Escala IRL aprimorada.

IRL	Definition	Description
9	Integration is <b>Mission Proven</b> through successful mission operations.	IRL 9 represents the integrated technologies being used in the system environment successfully. In order for a technology to move to TRL 9 it must first be integrated into the system, and then proven in the relevant environment, so attempting to move to IRL 9 also implies maturing the component technology to TRL 9.
8	Actual integration completed and <b>Mission Qualified</b> through test and demonstration, in the system environment.	IRL 8 represents not only the integration meeting requirements, but also a system-level demonstration in the relevant environment. This will reveal any unknown bugs/defect that could not be discovered until the interaction of the two integrating technologies was observed in the system environment.
7	The integration of technologies has been <b>Verified and Validated</b> with sufficient detail to be actionable.	IRL 7 represents a significant step beyond IRL 6; the integration has to work from a technical perspective, but also from a requirements perspective. IRL 7 represents the integration meeting requirements such as performance, throughput, and reliability.
6	The integrating technologies can <b>Accept, Translate, and Structure Information</b> for its intended application.	IRL 6 is the highest technical level to be achieved, it includes the ability to not only control integration, but specify what information to exchange, unit labels to specify what the information is, and the ability to translate from a foreign data structure to a local one.
5	There is sufficient <b>Control</b> between technologies necessary to establish, manage, and terminate the integration.	IRL 5 simply denotes the ability of one or more of the integrating technologies to control the integration itself; this includes establishing, maintaining, and terminating.
4	There is sufficient detail in the <b>Quality and Assurance</b> of the integration between technologies.	Many technology integration failures never progress past IRL 3, due to the assumption that if two technologies can exchange information successfully, then they are fully integrated. IRL 4 goes beyond simple data exchange and requires that the data sent is the data received and there exists a mechanism for checking it.
3	There is <b>Compatibility</b> (i.e. common language) between technologies to orderly and efficiently integrate and interact.	IRL 3 represents the minimum required level to provide successful integration. This means that the two technologies are able to not only influence each other, but also communicate interpretable data. IRL 3 represents the first tangible step in the maturity process.
2	There is some level of specificity to characterize the <b>Interaction</b> (i.e. ability to influence) between technologies through their interface.	Once a medium has been defined, a “signaling” method must be selected such that two integrating technologies are able to influence each other over that medium. Since IRL 2 represents the ability of two technologies to influence each other over a given medium, this represents integration proof-of-concept.
1	An <b>Interface</b> between technologies has been identified with sufficient detail to allow characterization of the relationship.	This is the lowest level of integration readiness and describes the selection of a medium for integration.

Fonte: Magnaye et al. (2010).

Tabela 3.2 - Escala SRL aprimorada.

<b>SRL</b>	<b>Name</b>	<b>Definitions</b>
0.90 to 1.00	<i>Operations &amp; Support</i>	Execute a support program that meets operational support performance requirements and sustains the system in the most cost-effective manner over its total life cycle.
0.80 to 0.89	<i>Production &amp; Deployment</i>	Achieve operational capability that satisfies mission needs.
0.60 to 0.79	<i>Engineering and Manufacturing Development</i>	Develop system capability or (increments thereof); reduce integration and manufacturing risk; ensure operational supportability; minimize logistics footprint; implement human systems integration; design for production; ensure affordability and protection of critical program information; and demonstrate system integration, interoperability, safety and utility.
0.40 to 0.59	<i>Technology Development</i>	Reduce technology risks and mature appropriate set of technologies to integrate into a full system; demonstrate CTEs on prototypes
0.10 to 0.39	<i>Materiel Solution Analysis</i>	Assess potential materiel solution analysis

Fonte: Magnaye et al. (2010).

A evolução da escala IRL também é discutida em Jesus e Chagas Junior (2018) e entende-se que a escala atua de forma benéfica nas limitações de avaliação das integrações tecnológicas, contribuindo para minimizar a ocorrência de falhas originárias da integração de sistemas (SAUSER et al., 2009) e na reutilização componentes em novas plataformas a serem desenvolvidas, o que ocorre com frequência no desenvolvimento de sistemas complexos (WERTZ, 2011).

Em uma publicação mais recente, as escalas IRL e SRL foram discutidas como promissoras soluções para endereçar desafios de avaliação de maturidade de integração e de sistemas (OLECHOWSKI et al., 2020). Além disso, uma avaliação da escala IRL em projetos aeroespaciais foi abordada em Jesus (2019), demonstrando sua utilidade em projetos de desenvolvimento aeroespaciais.

### **3.1.4 Avaliação de maturidade do sistema**

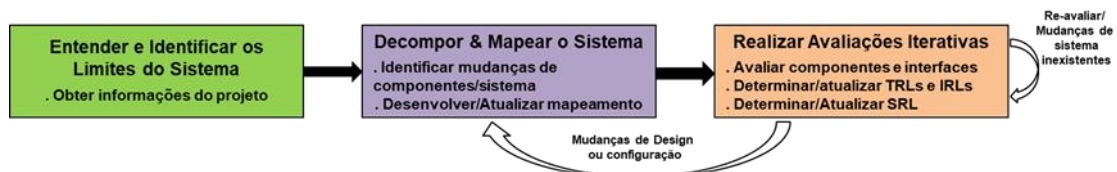
Uma metodologia para avaliação da maturidade de sistemas, referida por *System Readiness Assessment* (SRA), foi apresentada em Austin e York (2015). Considera-se que a metodologia SRA (ISRACOI, 2019) pode auxiliar a

identificar áreas de risco técnico e programático, melhorando o desempenho da gestão realizada pelos responsáveis em tomar decisões durante o desenvolvimento do sistema.

O SRA foi considerado por Austin e York (2015) como uma melhoria da metodologia TRA, pois oferece uma perspectiva sistêmica completa. Embora o TRA seja descrito como uma diretiva do Departamento de Defesa (DoD), considerou-se que o SRA oferece um aprimoramento significativo e benefícios quando comparado ao TRA (AUSTIN; YORK, 2015). Em comparação ao TRA, o SRA exige, naturalmente, avaliar não apenas os TRLs, mas, também, os níveis da escala IRL de um sistema (SAUSER et al., 2006).

A metodologia SRA consiste em entender e identificar os limites do sistema, decompor e mapear seus elementos e, finalmente, realizar avaliações iterativas (recorrentes) de maturidade dos elementos tecnológicos e suas integrações que compõem o sistema. Cada etapa possui uma descrição completa definida em Austin e York (2015) e é apresentada, em forma esquemática, na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Fluxo de realização do SRA.



Fonte: Adaptado de Austin e York (2015).

Magnaye et al. (2014) menciona que a verificação e validação das métricas de maturidade TRL, IRL e SRL, que servem como base para as avaliações de maturidade, são de urgente necessidade. As escalas de maturidade podem ser aplicadas a uma ampla variedade de tecnologias e sistemas, em domínios relevantes, que incluem, entre outros, aeroespacial, software, energia, transporte e meio ambiente. O objetivo principal, em tais aplicações, é determinar qual faixa de valores de SRL corresponde a uma dada fase do ciclo de vida de desenvolvimento de sistemas característicos de cada domínio. Espera-se, por exemplo, que os valores calibrados para sistemas espaciais

sejam diferentes daqueles determinados para sistemas navais. Além disso, Magnaye et al. (2014) concluem que, mesmo dentro de uma mesma instituição, os valores de classificação de um produto, feito por um grupo, poderão ser diferentes da classificação de outro produto, elaborada por seu respectivo grupo de desenvolvimento. Como exemplo, sugere-se que, em produtos e sistemas navais, a calibração de SRL para porta-aviões será diferente daquela definida para contratorpedeiros e navios de escolta.

O SRA (ISRACOI, 2019) fornece, aos responsáveis por tomar decisões em projetos, a consciência do estado de maturidade de um sistema ao quantificar o nível de maturidade de integração alcançado por um componente a outros componentes do sistema (AUSTIN; YORK, 2015). A avaliação de maturidade é crítica para o alcance de metas de melhoria de gerenciamento de desempenho do sistema e redução de riscos técnicos e programáticos. O SRA permite, ainda, um gerenciamento e integração mais eficazes do desenvolvimento do sistema e pode, em última análise, levar a prazos de entrega mais curtos.

### **3.1.5 Modelo de evolução de maturidade baseado em priorização otimizada de dispêndio orçamentário do projeto**

Magnaye et al. (2010) propuseram o uso da escala de maturidade SRL (SAUSER et al., 2008) na formulação de um modelo teórico de planejamento otimizado em que as estimativas de recursos financeiros e de horas de trabalho necessários para avançar as maturidades TRL e IRL permitem o cálculo da priorização ideal de alocação de recursos financeiros no projeto para máximo aumento do SRL. O modelo de otimização restrita de descoberta probabilística SCODmin identifica o conjunto de TRLs e IRLs ideal que cumpre com um SRL desejado com custos mínimos de desenvolvimento (MAGNAYE et al., 2010). Este modelo não é capaz de reduzir o custo total orçado para o desenvolvimento do projeto, sendo apenas capaz de fornecer uma proposta de como priorizar a aplicação de recursos financeiros de forma a atingir um desejado nível de maturidade SRL em um momento específico do decorrer do desenvolvimento com o menor investimento financeiro possível. Essa abordagem reconhece que o desenvolvimento de tecnologias compete por

recursos humanos e que alocá-los de forma otimizada auxiliará na evolução otimizada do SRL.

Magnaye et al. (2010) mencionam que o algoritmo SCODmin teve sua concepção fundamentada na metodologia PSDA (*Probabilistic Solution Discovery Algorithm*), abordada em Ramirez-Marquez e Rocco (2007, 2008). Ressalta-se que, conforme mencionado pelos autores em Magnaye et al. (2010), não se pode provar que a solução encontrada pelo algoritmo SCODmin seja a solução ótima, devido ao seu caráter probabilístico. Este comentário motivou o autor desta dissertação de mestrado a realizar um estudo sobre a viabilidade de um algoritmo de viés determinístico para computar a solução ótima de priorização de recursos financeiros para aumentar a maturidade SRL de um sistema.

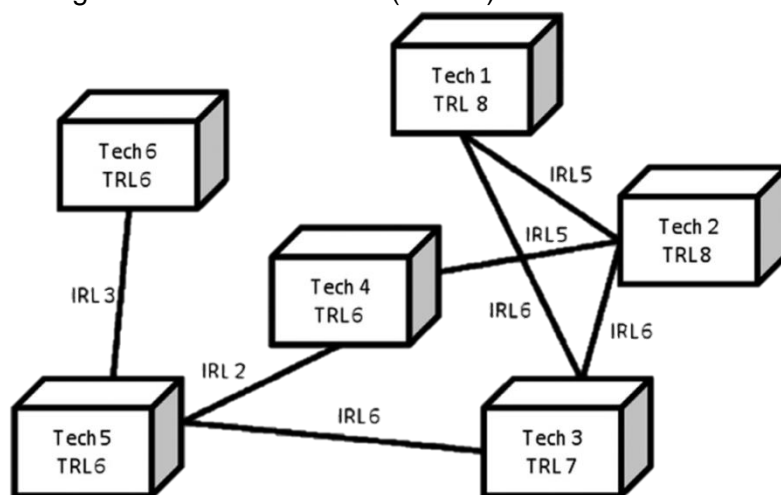
Para encontrar a solução do problema de minimização, o algoritmo probabilístico SCODmin segue três passos inter-relacionados:

- Desenvolvimento estratégico – uma simulação de Monte Carlo é utilizada para gerar um grupo de possíveis soluções com potenciais níveis de TRL e IRL em que as tecnologias e suas integrações podem ser avançadas ou mantidas;
- Análise – cada solução (conjunto de TRLs e IRLs) em potencial é analisada, calculando-se o seu custo financeiro associado, horas de trabalho necessárias (restrição) e SRL resultante;
- Seleção – a partir de uma técnica de otimização evolucionária, um novo conjunto de soluções de níveis tecnológicos e de integração otimizadas (com os seus TRLs e IRLs correspondentes) são escolhidos baseado no custo financeiro e horas de trabalho necessárias e valores de SRL).

Um exemplo de utilização do algoritmo SCODmin é apresentado em Magnaye et al. (2010) para o sistema apresentado na Figura 3.4. Os detalhes apresentados em Magnaye et al. (2010) sobre a concepção do sistema e de

cada um de seus componentes foi suprimida por não influenciar no entendimento dos conceitos necessários para aplicação do modelo SCODmin.

Figura 3.4 - Diagrama conceitual do sistema: Tech 1—Remote Manipulator System (RMS); Tech 2—Special Purpose Dexterous Manipulator (SPDM); Tech 3—Electronic Control Unit (ECU); Tech 4—Autonomous Grappling (AG); Tech 5—Autonomous Proximity Operations (APO); and Tech 6 — Laser Image Detection and Radar (LIDAR).



Fonte: Magnaye et al. (2010).

Estabelecendo-se os níveis de TRL e IRL associados e calculando-se o SRL do sistema, obtém-se um dos dados de entrada necessários para a realização da abordagem ERM. O valor de 0,48 foi calculado como o SRL atual do sistema (MAGNAYE et al., 2010). Acredita-se que há uma inconsistência no valor inicial de SRL apresentado no exemplo e que o valor correto seja 0.5029 ao invés de 0.48. Para as tecnologias e integrações apresentadas na Figura 3.4, foram listados na Tabela 3.3 e na Tabela 3.4, respectivamente, os custos financeiros estimados e as horas de trabalho necessárias para cada esforço de evolução de nível de TRL e de IRL. Acredita-se que há uma inconsistência na integração 5 e 6 definida como IRL3 na Figura 3.4, pois, ao analisar-se essa integração na Tabela 3.4, percebe-se que há estimativas de custo financeiro e horas de trabalho para evolução ao nível IRL3, o que sugere que a maturidade atual da integração 5 e 6 seja, na verdade, IRL2. Essa inconsistência foi corrigida na figura do estudo de caso apresentado em Magnaye et al. (2014). Contudo, a figura atualizada em Magnaye et al. (2014) apresentou outra inconsistência entre a integração 2 e 4 com a supressão indevida do traço que



representa a integração entre os elementos tecnológicos 2 e 4, pois o valor IRL5 continua explícito e “flutuando” na figura sem seu traço associado. Não se sabe se esse foi o motivo da diferença entre o valor de calculado SRL de 0.5029 ao invés de 0.48, conforme explicitado anteriormente.

Magnaye et al. (2010) descrevem uma situação em que se deseja incrementar, ao valor SRL atual de 0,48, 80% do SRL remanescente para se atingir o SRL máximo de 1,0, resultando, para esse exemplo, em um SRL remanescente de 0,52. Aplicando-se os 80% desejados a este SRL remanescente e somando-o à maturidade atual ( $0,52 \times 80\% + 0,48$ ) resulta-se em um SRL desejado de 0,896. A abordagem instituiu a restrição “horas de trabalho” de forma que o mesmo fator percentual aplicado ao SRL, nesse caso 80%, deve ser aplicado ao total de horas de trabalho estimado para todo o projeto, visando penalizar as soluções que requeiram um total de horas de trabalho superior a esse valor. Utilizando o algoritmo SCODmin, obteve-se o custo mínimo de \$16.888 milhões de dólares e uma quantidade de horas de trabalho mínima de 11.309.

Tabela 3.3 - Custo Incremental Estimado ( $\times 1000$ ) e homens-hora para cada esforço de avanço da maturidade Tecnológica.

Technology TRL Level Effort	1		2		3		4		5		6	
	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7							\$876	127	\$467	280	\$780	450
8					\$689	476	\$421	341	\$531	236	\$123	21
9	\$900	349	\$765	432	\$734	299	\$853	568	\$189	48	\$389	300

Fonte: Magnaye et al. (2010).

Tabela 3.4 - Custo Incremental Estimado (× 1000) e homens-hora para cada esforço de avanço da maturidade de Integração.

Integration	1,2		1,3		2,3		2,4		3,5		4,5		5,6	
IRL Level	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time
1														
2														
3											\$453	200	\$123	80
4											\$581	400	\$219	380
5											\$721	658	\$595	532
6	\$100	140					\$275	164			\$900	700	\$700	621
7	\$175	180	\$200	93	\$50	25	\$540	320	\$345	324	\$1,200	954	\$808	862
8	\$400	300	\$400	165	\$450	320	\$632	432	\$457	400	\$1,432	1021	\$1,003	997
9	\$600	500	\$650	389	\$550	465	\$745	690	\$678	500	\$1,765	1238	\$1,110	1145

Fonte: Magnaye et al. (2010).

Magnaye et al. (2010) realizaram o mesmo exercício para outras porcentagens de aumento de SRL para o sistema definido na Figura 3.4 e obtiveram o resultado apresentado na Tabela 3.5. Esta fornece a informação, em termos de custos financeiros e horas de trabalho, necessária para se atingir os SRLs desejados. A Tabela 3.6 apresenta as soluções otimizadas de evolução de níveis de TRL e IRL obtidos pelo algoritmo associadas ao elemento temporal “ano”. Portanto, é necessário planejar as atividades do desenvolvimento de forma a permitir o atingimento dos valores de maturidade TRL e IRL conforme o plano otimizado de evolução de maturidade.

Tabela 3.5 - Melhores soluções para valores de SRL desejados.

Desired Improvements in SRL	SRL		Time (man-hrs)		Computed Minimum Cost (\$ x1000)
	Targeted	Computed	Targeted	Computed	
0%	0.480	0.480	n.a	n.a	n.a
20%	0.584	0.587	3,824	1,654	2,203
40%	0.688	0.692	7,649	3,797	5,914
60%	0.792	0.794	11,473	7,667	11,065
80%	0.896	0.896	15,298	11,309	16,888

Fonte: Magnaye et al. (2010).

Magnaye et al. (2010) concluem que, além de fornecer a gerentes de programas e engenheiros de sistemas a possibilidade de evitar gastos desnecessários até que as tecnologias e as interligações de integração sejam

melhor entendidas, as metodologias propostas também podem conduzir a um desenvolvimento mais eficaz e eficiente do sistema.

Tabela 3.6 - Plano de Desenvolvimento.

Year	Target SRL	TRL						IRL						
		1	2	3	4	5	6	1,2	1,3	2,3	2,4	3,5	4,5	5,6
6	1.000	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
5	0.896	9	9	9	8	9	9	9	9	9	8	8	5	7
4	0.792	8	9	9	6	9	9	9	9	9	5	8	4	6
3	0.688	8	8	9	6	9	9	8	8	7	5	7	2	4
2	0.584	8	8	8	6	7	6	7	7	7	5	6	2	4
1	0.480	8	8	7	6	6	6	5	6	6	5	6	2	2

Fonte: Magnaye et al. (2010).

A identificação de um plano ótimo de desenvolvimento para todo o sistema permite evitar a execução de tarefas que, não necessariamente, contribuem para o progresso de maturidade de um sistema de forma otimizada, evitando atrasos. A metodologia também permite que o gerente do programa monitore e avalie o progresso do desenvolvimento do sistema em termos de sua maturidade tecnológica ou de integração (MAGNAYE et al., 2010). Com estimativas de custos financeiros e de horas de trabalho necessárias, os desenvolvedores de sistemas, grupo de engenharia ou o gerente de programa podem, agora, ter uma visão mais precisa de como desenvolver o sistema. Usando ferramentas apropriadas, o monitoramento e o processo de avaliação podem ser realizados em vários níveis de abstração. Por exemplo, o uso de ferramentas de gerenciamento de projetos existentes, em conjunto com a avaliação de maturidade de tecnologias e suas integrações pode permitir o rastreamento do progresso das tecnologias e integrações de forma individual. Os relatórios individuais do projeto podem, então, serem sintetizados em uma abordagem de monitoramento e avaliação que rastreia os valores planejados de SRL, de custo financeiro e horas de trabalho em comparação aos valores otimizados. Tal abordagem, referida por Magnaye et al. (2010) como *System Earned Readiness Management (SERM)*, será ilustrada na Seção 3.1.6, a seguir.

Magnaye et al. (2010) ainda concluem que, com relação à obtenção do resultado de desenvolvimento mais otimizado do sistema, o algoritmo SCODmin agrega valor e oferece, aos engenheiros de sistemas, informações necessárias para estimar o impacto de atrasos no desenvolvimento, permitindo, assim, maior embasamento nas tomadas de decisão. Esse algoritmo pode ser usado por engenheiros de sistemas ou gerentes de programas para identificar um plano ótimo de desenvolvimento e para direcionar a um melhor monitoramento e controle do sistema em desenvolvimento. Segundo Magnaye et al. (2010), os conceitos e metodologias abordados também podem auxiliar na capacidade dos engenheiros de sistemas de conduzir outras atividades de engenharia de sistemas, como resumido na Tabela 3.7.

Os itens levantados na segunda coluna da Tabela 3.7, “Relevância do TRL, IRL, SRL e SCODmin”, podem, portanto, auxiliar no desenvolvimento de melhores sistemas ou produtos (MAGNAYE et al., 2010). Para Magnaye et al. (2010), o uso do SRL no algoritmo de otimização SCODmin permite que o gerente de programa examine diferentes cenários de desenvolvimento do ponto de vista da maturidade das soluções tecnológicas. Por exemplo, um sistema em desenvolvimento pode ser melhorado, tecnicamente ou economicamente, se tecnologias alternativas e elementos de integração de maior maturidade, porém, possivelmente menos efetivos, substituem os de menor maturidade, possivelmente mais efetivos, porém ainda experimentais e de capacidades de operação não comprovadas. Arquiteturas de sistemas alternativos também podem ser avaliadas com maior clareza, uma vez que o SRL exige o exame dos elementos críticos de cada tecnologia, como eles se relacionam entre si e como eles se interconectam para formar o sistema.

Segundo Magnaye et al. (2010), antes que evoluções do seu modelo possam ser implementadas/perseguidas, os conceitos das escalas IRL e SRL devem, primeiro, serem verificados e validados utilizando sistemas reais com dados que definem os recursos necessários para avançar de um nível de maturidade para o próximo. Os esforços de verificação e validação também podem ser utilizados para estudar o grau de dificuldade associado ao avanço de nível nas escalas de maturidade. Essa declaração foi um dos elementos de inspiração

para o artefato proposto nessa dissertação e referido por *Requirements Oriented Earned Readiness Management* (ROERM).

Prevê-se que as estimativas de produtividade em homens hora e de capital não serão constantes ao longo do desenvolvimento de componentes e sistemas nos seus ciclos de vida. Magnaye et al. (2010) mencionam que atividades de pesquisa estão em andamento e que, se bem sucedidas, o modelo de otimização SCODmin poderá ser aplicado no desenvolvimento de sistemas reais.

Tabela 3.7 – Relevância de escalas de maturidade e de otimização para processos de Engenharia de Sistemas.

Activities During a Systems Engineering Process	Relevance of TRL, IRL, SRL and SCOD <sub>min</sub>
1. Need identification and definition of requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No apparent relevance at this point</li> </ul>
2. Investigation of alternative solutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The optimal development paths for each alternative solution can be identified and ranked in terms of periodic development costs. Conceivably, the cost variable will have a bearing on the final design selection.</li> <li>• The ability to calculate the maturity of a system through the SRL enables the manager to investigate in a logical manner the feasibility of using alternative technology and integration links as well as different configurations for the system. As each alternative is considered, the manager can readily calculate the resulting SRL and make decisions accordingly.</li> </ul>
3. Definition and modeling of the system	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The TRL, IRL and SRL can be used to model certain characteristics of the system. For example, on the assumption that a less mature component will have a lower reliability, the overall system reliability can be estimated using various levels of component readiness.</li> </ul>
4. Integration of related technical parameters and components	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The TRL, IRL and SRL provide the metrics against which the maturation of each technology and integration element as well as the overall system under development can be measured and described in quantitative terms that various stakeholders can use as reference points to determine progress or delays. SCOD<sub>min</sub> provides the development plan that prescribes to what level each technology and integration element should be at any particular time.</li> <li>• The impact on the continuing readiness of an existing system of retiring a component and replacing it with a new technology can be evaluated based on the possible TRL levels of the replacement.</li> </ul>
5. Launch of the system	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No apparent relevance at this point.</li> </ul>
6. Assessment and validation of performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No apparent relevance at this point.</li> </ul>
7. Re-evaluation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No apparent relevance at this point.</li> </ul>

Fonte: Magnaye et al. (2010).

### 3.1.6 Método de Gerenciamento de Maturidade Agregada

Devido à importância do planejamento, monitoramento e avaliação do desenvolvimento de um sistema e à ausência de uma efetiva e aceita abordagem, Magnaye et al. (2014) se motivaram, baseado em seus contratos de pesquisa e discussões com a indústria e governo, a examinar as práticas de gerenciamento prevalentes anteriormente, bem como a realizar uma revisão literária aplicada à gestão e engenharia de CoPS. Magnaye et al. (2014) utilizaram suas descobertas para desenvolver uma abordagem conceitual para planejamento, criação de cronogramas, monitoramento e avaliação que pode auxiliar os gerentes de projeto e de engenharia a controlarem o processo de desenvolvimento e contribuir para a seu sucesso. Aplicou-se o modelo a um CoPS, exemplificado como um sistema espacial em desenvolvimento, para demonstrar sua aplicação e estabelecer sua validade teórica.

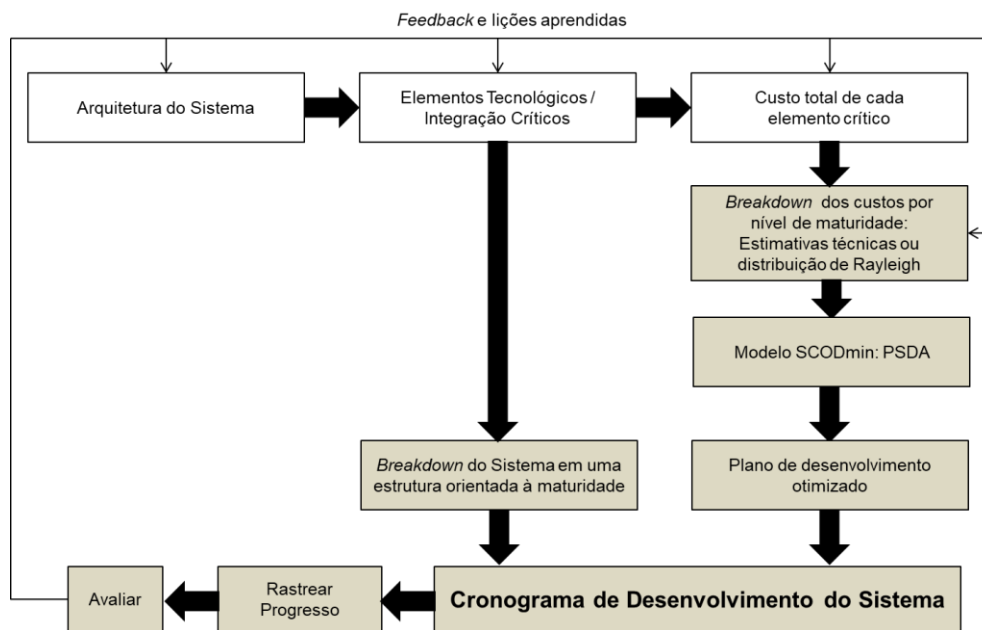
Este modelo de gerenciamento baseado nas escalas de maturidade TRL, IRL e SRL e denominado Gerenciamento de Maturidade Agregada (ERM) especifica atividades-chave para a obtenção de um cronograma de desenvolvimento do sistema de forma que seja levada em consideração a apropriada evolução de maturidade do produto ao longo dos anos do desenvolvimento. Para execução da abordagem ERM, os passos a seguir foram propostos por Magnaye et al. (2014):

- definir uma quebra da estrutura do sistema, orientada a sua maturidade;
- definir custos para atingir cada nível de maturidade de cada elemento;
- identificar o plano ótimo de desenvolvimento;
- traduzir o plano em um cronograma de desenvolvimento do sistema;
- estabelecer uma linha de base (*baseline*) para mensurar a maturidade;
- rastrear o progresso;

- avaliar o desempenho;
- aplicar medidas corretivas (conforme necessário);
- identificar, disseminar e aplicar lições aprendidas.

A Figura 3.5 apresenta a abordagem conceitual ERM com os passos para a obtenção do cronograma otimizado de desenvolvimento do sistema e que leva em consideração uma distribuição de custos e intervalos de tempo adequados, de forma que a maturidade dos sistemas, sub-sistemas e componentes evolua de forma otimizada, do ponto de vista de recursos financeiros, ao longo do desenvolvimento.

Figura 3.5 - Abordagem conceitual ERM.



Fonte: Adaptado de Magnaye et al. (2014).

Magnaye et al. (2014) explicam que o primeiro passo para a utilização da abordagem ERM é a realização de uma quebra do sistema em níveis de maturidade individuais e seus pacotes de trabalho, para serem arranjados em uma Estrutura Analítica de Maturidade do Sistema (SRBS). Um estudo de caso, apresentado em Magnaye et al. (2014), demonstra uma estrutura analítica referente a um sistema de duas tecnologias, uma integração e um

cronograma de desenvolvimento de 8 anos, conforme apresentado na Tabela 3.8.

Em termos de níveis da SRBS, Magnaye et al. (2014) descrevem que o primeiro nível consiste no sistema como um todo, o segundo nível contém a distribuição dos elementos críticos, o terceiro nível apresenta os níveis de maturidade TRL e IRL que precisam ser atingidos (para cada elemento crítico) e o quarto nível define os pacotes de trabalho que precisam ser realizados para evoluir os níveis de maturidade TRL ou IRL do produto, conforme aplicável. Os custos para avançar a maturidade de cada elemento devem ser estimados por análise de engenharia, analogia, estimativas de especialistas ou uma combinação desses elementos. Para tecnologias ou elementos de integração extremamente recentes, Magnaye et al. (2014) sugere que determinar, de forma precisa, os custos de evolução de maturidade pode não ser possível. Nesse caso, o custo total de uma tecnologia pode ser estimado fazendo-se uso de analogias ou opiniões de especialistas e, posteriormente, alocada em cada nível de maturidade baseado em uma distribuição probabilística. Pesquisas anteriores demonstraram que, pelo menos para sistemas de defesa, a alocação de custos pode ser ajustada por uma distribuição probabilística de Rayleigh (MAGNAYE et al., 2014).

Após realizar uma estimativa de custo financeiro e de horas de trabalho para executar o modelo teórico SCODmin (MAGNAYE et al., 2010), obtém-se o resultado apresentado na Tabela 3.8 e que demonstra as evoluções de SRL, TRL e IRL ao longo de cada ano do desenvolvimento.

A SRBS, pode ser, então, combinada com esse plano de desenvolvimento otimizado para definir o cronograma de desenvolvimento do sistema, conforme ilustrado na Tabela 3.9. Esta tabela apresenta em que ano deve-se atingir cada nível de maturidade e seu custo, sendo os custos apresentados para cada ano gerados arbitrariamente. Magnaye et al. (2014) descreve que um elemento crítico recebe um aumento no nível de maturidade se o associado pacote de trabalho tiver sido completado, conforme determinado por um processo de avaliação de maturidade independente, prescrito pela organização. Um



exemplo seria o método SRA (ISRACOI, 2019) proposto por Austin e York (2014), porém essa declaração foi considerada, pelo autor desta dissertação, como um problema a ser solucionado e que será detalhadamente discutido na Seção 5.1.

Tabela 3.8 - Exemplo de um plano de desenvolvimento otimizado.

Fiscal year	Target SRL	TRL		IRL
		Technology 1	Technology 2	Integration 1,2
8	1.00	9	8,9	8,9
7	0.74	7,8	6,7	6,7
6	0.48	6	5	5
5	0.44	6	5	4
4	0.37	5	5	2,3
3	0.25	3,4	4	1
2	0.00	2	3	0
1	0.00	1	1,2	0

Fonte: Magnaye et al. (2014).

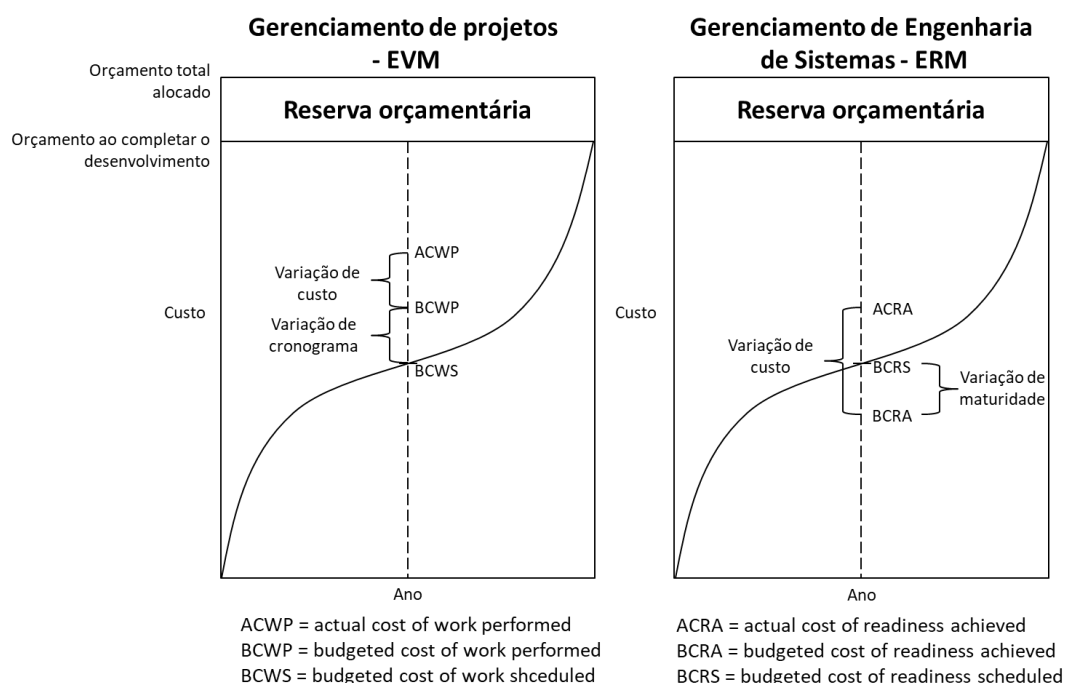
Tabela 3.9 - Exemplo de cronograma de desenvolvimento de um sistema (com elementos hipotéticos).

	Yr 1	Yr 2	Yr 3	Yr 4	Yr 5	Yr 6	Yr 7	Yr 8
1. System Under Development								
1.1 Critical Technology Element 1								
1.1.1 TRL 1	2							
1.1.2 TRL 2		4						
1.1.3 TRL 3			4					
1.1.4 TRL 4			3					
1.1.5 TRL 5				6				
1.1.6 TRL 6					5	4		
1.1.7 TRL 7							12	
1.1.8 TRL 8							16	
1.1.9 TRL 9								14
1.2 Critical Technology Element 2								
1.2.1 TRL 1	4							
1.2.2 TRL 2	2							
1.2.3 TRL 3		5						
1.2.4 TRL 4			6					
1.2.5 TRL 5				8	8	5		
1.2.6 TRL 6							14	
1.2.7 TRL 7							20	
1.2.8 TRL 8								25
1.2.9 TRL 9								14
1.3 Critical Integration Element 1,2								
1.3.1 IRL 1			14					
1.3.2 IRL 2				10				
1.3.3 IRL 3				8				
1.3.4 IRL 4					16			
1.3.5 IRL 5						20		
1.3.6 IRL 6							16	
1.3.7 IRL 7							40	
1.3.8 IRL 8								27
1.3.9 IRL 9								38
Total	8	9	27	32	29	29	118	118
Target SRL	0.00	0.00	0.25	0.37	0.44	0.48	0.74	1.00

Fonte: Magnaye et al. (2014).

A linha de base para mensurar a adequada evolução da maturidade é o Custo Orçado de Maturidade Planejada (BCRS), que é a soma cumulativa do valor planejado para evolução dos níveis de maturidade ao longo do tempo. O desempenho real da evolução de maturidade é representado pelo Custo Orçado de Maturidade Atingida (BCRA) e o seu custo real dado pelo índice Custo Real de Maturidade Atingida (ACRA). Esses conceitos da abordagem ERM, suas relações entre si e como eles se comparam com medidas semelhantes da abordagem Gerenciamento de Maturidade Agregada (EVM) são ilustradas na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Abordagem ERM comparada à abordagem EVM.



Fonte: Adaptado de Magnaye et al. (2014).

A maturidade real atingida é comparada, em qualquer momento do desenvolvimento, com a linha de base determinada como a evolução de maturidade esperada, permitindo-se avaliar o progresso da evolução real da maturidade em relação ao orçado. Uma variação desfavorável de custo acontece quando o ACRA é maior do que o BCRA. O Índice de Performance do Custo de Maturidade (RCPI), é a razão entre o BCRA e o ACRA, ou seja,  $RCPI = BCRA / ACRA$ . O RCPI é desfavorável quando é menor do que um. Da

mesma forma, uma maturidade ou variação de cronograma desfavorável é obtida quando o BCRA é menor do que o BCRS. O Índice de Performance de Maturidade (RPI), é a razão entre o BCRA e o BCRS, ou seja,  $RPI = BCRA / BCRS$ . O RPI será desfavorável quando for menor do que um (MAGNAYE et al., 2014).

Finalmente, os últimos dois passos da abordagem conceitual ERM, aplicar medidas corretivas e gerenciar aprendizados do desenvolvimento, são contingentes ao desenvolvimento de cada sistema especificado (MAGNAYE et al., 2014).

Magnaye et al. (2014) concluem que a abordagem ERM pode ser usada de maneira iterativa e que também pode ser integrada com os processos de aprendizado da organização sobre o desenvolvimento do sistema. Isto é importante quando o sistema possui um alto nível de novidade e conteúdo tecnológico. Tais sistemas passam por vários projetos, opções tecnológicas e estimativas de custo, gerando idéias e lições aprendidas que podem ser capturadas por uma aplicação iterativa da abordagem ERM, conforme as novas tecnologias, arquiteturas e funcionalidades do sistema sejam mais bem compreendidas. Por exemplo, um novo conjunto mais preciso de dados de custo financeiro para evolução de níveis de maturidade pode ser inserido no modelo de otimização SCODmin para gerar um plano de desenvolvimento revisado que pode ser traduzido em uma nova SRBS, em um novo cronograma e assim por diante. O mesmo poderia ser feito com mudanças nas escolhas tecnológicas, arquitetura ou capacidades do sistema.

Magnaye et al. (2014) também concluem que quando a escala SRL for aceita por pesquisadores e profissionais de um determinado segmento específica de sistema (naval, aeroespacial), um passo posterior é a própria validação da abordagem ERM, examinando sua praticidade ao gerenciar o desenvolvimento de um sistema. Essa validação envolveria um estudo dos grupos de pesquisa do segmento de sistemas em particular, desde o início até sua implantação e posterior descarte. Magnaye et al. (2014) mencionam, ainda, que a abordagem de gerenciamento de projetos EVM, não se tornou um conceito maduro até que

fosse experimentada pelos alunos e professores do Instituto de Tecnologia da Força Aérea Americana. Os mesmos autores sugerem que a abordagem ERM também seja submetida ao mesmo escrutínio por instituições acadêmicas e organizações interessadas na sua evolução.

### **3.2 Gerenciamento de requisitos**

Segundo a Norma ISO/IEC/IEEE (2011), a engenharia de requisitos é uma função interdisciplinar que faz a mediação entre os domínios do contratante e do fornecedor ou desenvolvedor para estabelecer e manter os requisitos a serem atendidos pelo sistema, software ou serviço de interesse. A engenharia de requisitos está preocupada em descobrir, elicitar, desenvolver, analisar, verificar (incluindo métodos de verificação e estratégia), validar, comunicar, documentar e gerenciar requisitos. O principal resultado da engenharia de requisitos são conjuntos de requisitos, sendo que cada conjunto:

- é uma referência a um sistema, software ou serviço definido;
- permite um entendimento acordado entre as partes interessadas (por exemplo, contratantes, usuários, clientes, operadores, fornecedores);
- é validado em relação às necessidades do mundo real;
- é passível de ser implementado; e
- fornece uma referência para verificar projetos e soluções.

Conforme definido em NASA (2017), a competência de Gerenciamento de Requisitos consiste em gerenciar os requisitos do produto, bem como o fornecimento de rastreabilidade bidirecional e gerenciar as mudanças para estabelecer linhas de base de requisitos ao longo do ciclo de vida dos produtos do sistema. O Gerenciamento de Requisitos inclui preparar ou atualizar uma estratégia para gerenciamento de requisitos; selecionar uma ferramenta de gerenciamento de requisitos apropriada; treinar membros da equipe técnica em procedimentos de gerenciamento de requisitos; conduzir auditorias de expectativa e rastreabilidade de requisitos; gerenciamento de expectativas e

mudanças de requisitos; e comunicar informações relativas à expectativa e à mudança de requisitos.

### **3.2.1 Validação de requisitos**

Young (2004) define a validação de requisitos como o processo para confirmar se os requisitos reais estão implementados no sistema entregue. A ordem de validação de requisitos deve ser priorizada, uma vez que sempre há um limite no orçamento disponível.

Em contrapartida, a norma ISO/IEC/IEEE (2011) estipula que a validação de requisitos é o processo de examinar o conjunto de requisitos para garantir que este defina o sistema correto, ou seja, o sistema que o *stakeholder* espera. As atividades mais comuns na validação de requisitos são a condução de análises (*reviews*) de requisitos, simulação e prototipagem.

INCOSE (2015) define ambas a validação de sistema e a validação de requisitos, sendo que a validação de sistema confirma que o sistema satisfaz necessidades declaradas das partes interessadas. A validação de sistema garante que os requisitos e a implementação do sistema forneçam a solução certa para o problema do cliente. Em outras palavras, “Construiu-se o produto certo?”. A validação de sistema determina que um sistema realize todas as “coisas” que deveria e não realiza o que não deve ser feito. Os usuários finais e outras partes interessadas geralmente estão envolvidos nas atividades de validação. Todavia, quando acordado, uma terceira parte independente pode ser chamada para realizar a validação. A validação de sistema pode ocorrer no ambiente operacional ou em um ambiente simulado, se as condições forem perigosas. As atividades de validação e verificação, muitas vezes, são executadas simultaneamente e podem usar diferentes elementos do mesmo ambiente.

Já a validação de requisitos é realizada como parte da elicitacão de requisitos que visa fornecer uma garantia antecipada de que os requisitos são os requisitos "certos" para orientar o processo de desenvolvimento a um desfecho que satisfaça as partes interessadas. A validação de requisitos é, frequentemente, baseada na análise de requisitos; exploração de adequação e

completude de requisitos; avaliação de protótipos, simulações, modelos, cenários e maquetes; e em se obter a opinião de clientes, usuários ou outros *stakeholders*.

Os objetos de validação são as concepções, protótipos e elementos finais dos sistemas, bem como a documentação e materiais de treinamento que descrevem o sistema e como usá-lo. Os resultados da validação de requisitos são um elemento importante das revisões de comitês de tomada de decisão.

NASA (2017) define que uma parte importante da definição dos requisitos é a validação destes contra as expectativas das partes interessadas (*stakeholders*), os objetivos e restrições da missão, o conceito de operações e o critério de sucesso da missão. A validação de requisitos pode ser dividida em seis etapas:

1. **Os requisitos estão escritos corretamente?** Identificar e corrigir erros de formatação e editoriais dos requisitos com declaração "deve" (*shall*).
2. **Os requisitos são tecnicamente corretos?** Alguns revisores treinados da equipe técnica identificam e removem tantos erros técnicos quanto possível antes de terem todas as partes interessadas (*stakeholders*) relevantes revendo os requisitos. Os revisores devem checar se as declarações de requisitos (a) têm rastreabilidade bidirecional para as expectativas dos *stakeholders* capturadas em uma linha de base (*baseline*); (b) foram formados usando premissas válidas; e (c) são essenciais e consistentes com a concepção, implementando a apropriada forma de solução do produto que irá satisfazer os critérios de sucesso aplicáveis às fases de ciclo de vida do produto.
3. **Os requisitos satisfazem as partes interessadas?** Todos os grupos relevantes de *stakeholders* identificam e removem erros.

4. **Os requisitos são viáveis?** Todos os requisitos devem fazer sentido técnico e serem possíveis de ser alcançados.
5. **Os requisitos são verificáveis?** Todos os requisitos devem ser declarados com informações suficientes para que seja possível verificar o requisito após o produto final ser implementado.
6. **Os requisitos são redundantes ou excessivamente especificados?** Todos os requisitos devem ser únicos (não redundantes com outros requisitos) e necessários para atenderem às funções, desempenho, ou comportamentos exigidos.

O Apêndice C contém as diversas diretrizes fornecidas em NASA (2017) para a boa escrita de requisitos e quais aspectos devem ser observados para sua apropriada validação.

NASA (2017) menciona que, ao desenvolver requisitos, é importante identificar uma abordagem de validação para definir como avaliações, testes, análises ou outras demonstrações de validação serão realizadas para garantir a satisfação do cliente/investidor. Existem várias fontes a se recorrer para criar o plano de validação:

- Conceitos de Operação (ConOps);
- Documentação de necessidades, metas e objetivos de *stakeholders*/clientes;
- Declarações de *rationales* para requisitos e requisitos em estado de verificação;
- Banco de dados de lições aprendidas;
- Modelagem da arquitetura do sistema;
- Metas e restrições de design “*Test-as-you-fly*”;

- Planos como SEMP (*System Engineering Management Plan*), HSIP (*Hardware/Software Integration Plan*) e de V&V (*Verification&Validation*);

NASA (2017) define, ainda, que os produtos da validação podem assumir a forma de uma ampla gama de *deliverables*, incluindo:

- avaliação e *feedback* de *stakeholders*;
- revisão de Pares (*Peer reviews*);
- modelos físicos de todas as fidelidades;
- simulações;
- modelagem virtual;
- testes;
- verificações de encaixe físico;
- procedimentos de execução preliminar (*dry-run*);
- atividades de integração (para informar procedimentos de manutenção em órbita);
- solicitação e *feedback* de revisão em nível de fase.

Atenção especial deve ser conferida ao planejamento do ciclo de vida, uma vez que a validação precoce pode, posteriormente, ter um profundo impacto sobre *design* e custo nas diversas fases subsequentes. A Tabela 3.10 apresenta um exemplo de matriz de validação de requisitos, em que os códigos dos elementos contidos na primeira coluna são: (1) durante processo de seleção do produto, (2) antes da seleção final do produto (se COTS), (3) anterior ao CDR, (4) durante funcional em nível de caixa, (5) durante funcional em nível de sistema, (6) durante funcional em nível ponto a ponto (*end-to-end*), (7) durante funcional em nível de veículo integrado, (8) durante funcional em nível de



operação em órbita. As definições desses códigos foram traduzidas a partir da nota contida na tabela da versão original de NASA (2017). A nota foi, então, omitida a título de simplificação da tabela.

Tabela 3.10 – Matriz de Validação de Requisitos.

Validation Product #	Activity	Objective	Validation Method	Facility or Lab	Phase	Performing Organization	Results
<i>Unique identifier for validation product</i>	<i>Describe evaluation by the customer/sponsor that will be performed</i>	<i>What is to be accomplished by the customer/sponsor evaluation</i>	<i>Validation method for the requirement (analysis, inspection, demonstration, or test)</i>	<i>Facility or laboratory used to perform the validation</i>	<i>Phase in which the verification/validation will be performed<sup>a</sup></i>	<i>Organization responsible for coordinating the validation activity</i>	<i>Indicate the objective evidence that validation activity occurred</i>
1	Customer/sponsor will evaluate the candidate displays	1. Ensure legibility is acceptable 2. Ensure overall appearance is acceptable	Test	xxx	Phase A	xxx	TPS 123456

Fonte: Adaptado de NASA (2017).

Segundo INCOSE (2015), os métodos de validação durante a fase conceitual incluem desenvolver avaliações de cenários exercitando todos os modos do sistema e demonstrando o desempenho em nível de sistema ao longo de todo o regime operacional. A equipe de concepção do sistema usa os resultados desta atividade para prever o sucesso em atender as expectativas de usuários e/ou contratantes, bem como para fornecer *feedback*, identificando e corrigindo deficiências de desempenho antes da implementação.

### 3.2.2 Verificação de requisitos

A verificação de requisitos consiste em garantir que os requisitos são endereçados e atendidos em um sistema (YOUNG, 2004).

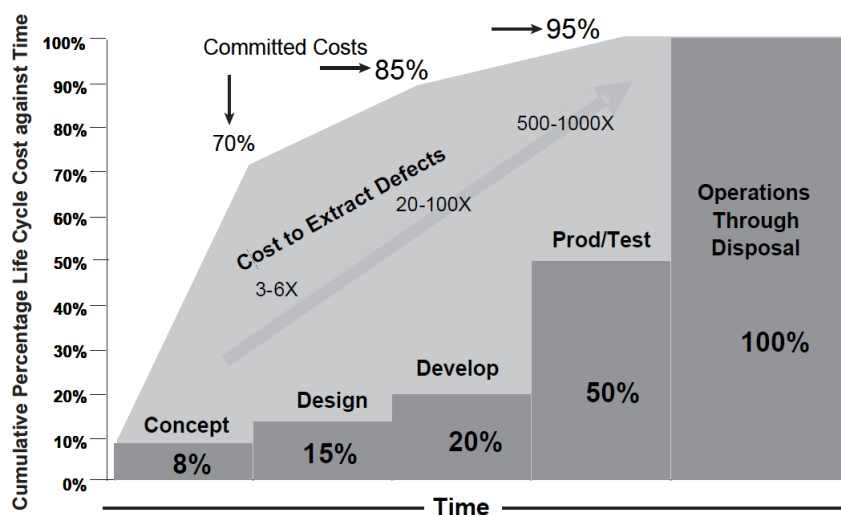
Segundo INCOSE (2015), a verificação do sistema aborda se o sistema, seus elementos e suas interfaces satisfazem seus requisitos. A verificação garante a conformidade com esses requisitos; em outras palavras, "construiu-se certo".

A verificação abrange as tarefas, ações e atividades realizadas para: avaliar o progresso e a eficácia das soluções de sistema em evolução (pessoas,

produtos e processo); e medir a conformidade com os requisitos. A função primária de verificação é determinar se as especificações do sistema, concepção, processos e produtos estão em conformidade com os requisitos. Um *feedback* contínuo de dados de verificação ajuda a reduzir riscos e a revelar problemas precocemente. O objetivo é verificar a capacidade do sistema para atender todos os requisitos em um momento anterior à produção e operação do produto. Os problemas descobertos nesses estágios são muito caros para serem corrigidos, conforme apresentado na Figura 3.7. A descoberta antecipada de desvios dos requisitos reduz o risco geral do projeto e ajuda o projeto a entregar um sistema bem sucedido e de custo reduzido. Os resultados da verificação são importantes elementos de comitês de revisão para tomada de decisão.

INCOSE (2015) define que um resultado importante do Processo de Planejamento é a criação de procedimentos e processos de projeto que especifiquem as formas de avaliações do sistema (auditorias de conformidade, teste de integração, verificação e validação) em documentos de projeto apropriados (por exemplo, planos de engenharia de sistemas, cronogramas e especificações).

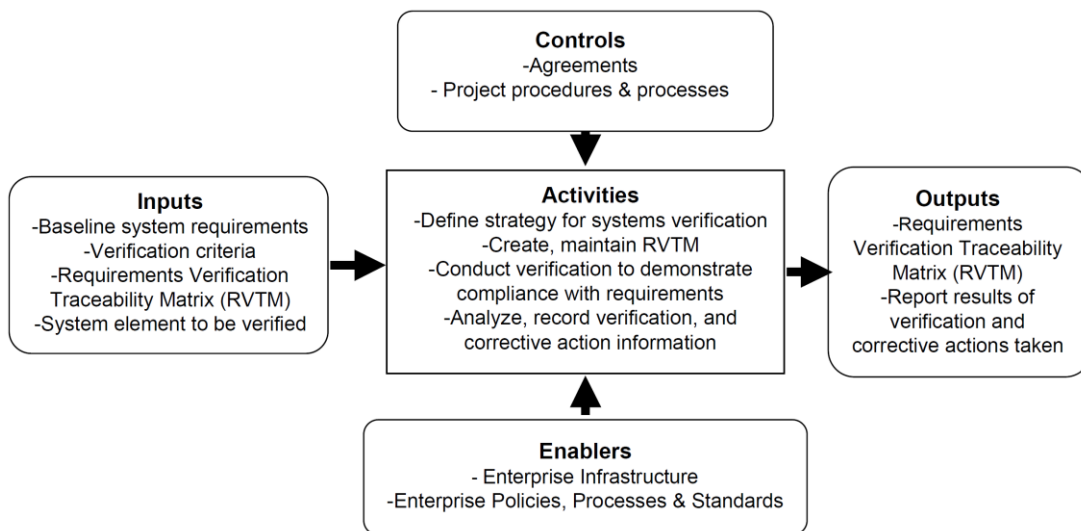
Figura 3.7 – Custo comprometido no ciclo de vida em relação ao tempo.



Fonte: INCOSE (2015).

A especificação dos critérios de verificação ocorre conforme os requisitos são escritos, mas a criação de um procedimento para avaliar o cumprimento do produto com o requisito faz parte do processo de verificação. A Figura 3.8 apresenta o diagrama de contexto para o processo de verificação.

Figura 3.8 – Diagrama de contexto do processo de verificação.



Fonte: INCOSE (2015).

Segundo a norma ISO/IEC/IEEE (2011), existem quatro métodos de verificação padrão a serem usados para se obter a evidência objetiva de que os requisitos foram cumpridos: inspeção, análise ou simulação, demonstração e teste. Cada um desses métodos é explicado no Apêndice D. Os métodos de verificação são incluídos e documentados em uma Matriz de Rastreabilidade de Requisitos (RTM), ou uma Matriz de Referência Cruzada de Verificação (VCRM).

NASA (2017) comenta que ao desenvolver requisitos, é importante identificar uma abordagem para verificá-los. Somente requisitos contendo a palavra "deve", em inglês *shall*, deveriam ser incluídos nestas matrizes. A matriz identificará cada redação com o verbo "deve" por um identificador único e ser assertiva quanto à fonte, ou seja, o documento do qual o requisito é obtido. Esta matriz pode ser dividida em várias matrizes (por exemplo, uma para cada documento de requisitos) para delinear fontes de requisitos dependendo do projeto. O exemplo apresentado na Tabela 3.11 fornece diretrizes sugeridas para estabelecer o mínimo de informações que devem ser incluídas na matriz

de verificação, com fases de projeto definidas como: (1) Desenvolvimento conceitual, (2) Funcional em nível de caixa formal, (3) Ambiental em nível de caixa formal, (4) Ambiental em nível de sistema formal, (5) Funcional em nível de sistema formal, (6) Funcional ponto a ponto (*end-to-end*) formal, (7) Funcional em nível de veículo integrado, (8) Funcional em nível de operação em órbita. As definições desses códigos foram traduzidas a partir da nota contida na tabela da versão original de NASA (2017). A nota foi, então, omitida a título de simplificação da tabela.

Tabela 3.11 – Matriz de Verificação de Requisitos.

Requirement No.	Document	Paragraph	Shall Statement	Verification Success Criteria	Verification Method	Facility or Lab	Phase <sup>a</sup>	Acceptance Requirement?	Preflight Acceptance?	Performing Organization	Results
<i>Unique identifier or each requirement</i>	<i>Document number the requirement is contained within</i>	<i>Paragraph number of the requirement</i>	<i>Text (within reason) of the requirement, i.e., the "shall"</i>	<i>Success criteria for the requirement</i>	<i>Verification method for the requirement (analysis, inspection, demonstration, test)</i>	<i>Facility or laboratory used to perform the verification and validation.</i>	<i>Phase in which the verification and validation will be performed.</i>	<i>Indicate whether this requirement is also verified during initial acceptance testing of each unit.</i>	<i>Indicate whether this requirement is also verified during any pre-flight or recurring acceptance testing of each unit</i>	<i>Organization responsible for performing the verification</i>	<i>Indicate documents that contain the objective evidence that requirement was satisfied</i>
P-1	xxx	3.2.1.1 Capability: Support Uplinked Data (LDR)	System X shall provide a max. ground-to-station uplink of...	1. System X locks to forward link at the min and max data rate tolerances 2. System X locks to the forward link at the min and max operating frequency tolerances	Test	xxx	5	Yes	No	xxx	TPS xxxx
P-i	xxx	Other paragraphs	Other "shalls" in PTRS	Other criteria	xxx	xxx	xxx	Yes/No	Yes/No	xxx	Memo xxx
S-i or other unique designator	xxxxx (other specs, ICDs, etc.)	Other paragraphs	Other "shalls" in specs, ICDs, etc.	Other criteria	xxx	xxx	xxx	Yes/No	Yes/No	xxx	Report xxx

Fonte: NASA (2017).

INCOSE (2015) define que os processos de verificação incluem:

- desenvolver procedimentos de verificação;
- agendar / confirmar / instalar sistemas que permitem a verificação;
- executar procedimentos de verificação;

- documentar os resultados da verificação e inserir os dados na matriz de rastreabilidade.

Abordagens e dicas comuns (INCOSE, 2015):

- a matriz de rastreabilidade de verificação de requisitos é, frequentemente, utilizada como o único elemento responsável por permitir o rastreamento de um requisito de volta à fonte da necessidade e, ao se avançar no ciclo de vida, para avaliar se a necessidade foi atendida.
- Deve-se ter cuidado com a tentação de reduzir as atividades de verificação por receio de exceder o orçamento ou cronograma. Discrepâncias e erros são mais caros para se corrigir posteriormente no ciclo de vida (Figura 3.7).
- Evitar realizar a verificação no final do cronograma, quando há menos tempo para lidar com discrepâncias, ou muito cedo, antes que o desenvolvimento esteja completo.

#### 4 METODOLOGIA DE PESQUISA

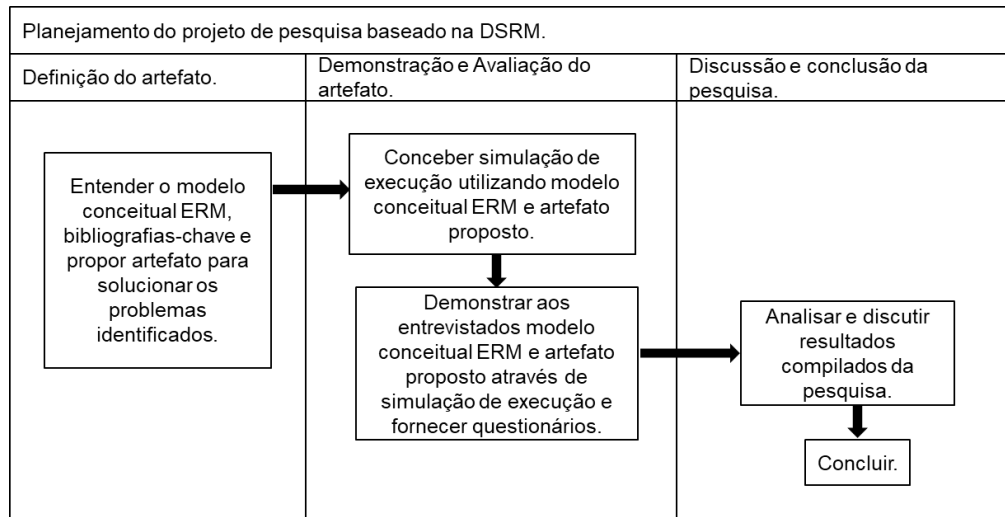
Baseado na metodologia *Design Science Research* (DSRM) (SIMON, 1996), Jesus (2019) conduziu, de forma prática, seus fundamentos (DRESCH et al., 2015; TREMBLAY et al., 2010), incluindo elaboração de uma apresentação, escolha de avaliadores, elaboração do questionário e compilação dos resultados sobre a aplicabilidade da escala de maturidade IRL em projetos conduzidos pelo INPE. O autor desta dissertação considerou o resultado final foi bastante positivo e pretendeu estudar a metodologia DSR para realizar sua pesquisa.

A DSRM é a base epistemológica para o estudo do artificial e estabelece a pesquisa quando a meta desejada é um artefato ou uma recomendação. Além disso, a pesquisa com base na DSRM pode ser realizada tanto em um ambiente acadêmico quanto em um contexto organizacional (DRESCH et al., 2015) Capítulo 4. A DSRM tem suas raízes associadas à engenharia e às ciências do artificial (SIMON, 1996). O método é, fundamentalmente, focado na solução de problemas e busca criar inovações que definem ideias, práticas, capacidades técnicas e produtos por meio dos quais a análise, concepção, implementação, gestão e uso de sistemas de informação podem ser eficazes e realizados com eficiência (HEVNER et al., 2004). Simon (1996) diferenciou o natural do artificial, em que este último pode ser entendido como algo que foi produzido ou inventado por seres humanos e que são influenciados por este produto. Como exemplo do que são artificiais, máquinas, organizações, economia e, até mesmo, a sociedade podem ser citados (DRESCH et al., 2015) Capítulo 3.

O planejamento do projeto de pesquisa é apresentado na Figura 4.1 e foi definido de forma a compilar as atividades propostas para condução de pesquisas utilizando a DSRM. A definição da pesquisa incluiu as seguintes etapas da DSRM (DRESCH et al., 2015) Capítulo 6: identificação do problema, conscientização do problema em conjunto com a revisão bibliográfica, identificação de artefatos e configuração de classes de problemas, proposição

de artefatos para resolução do problema, concepção e desenvolvimento do artefato.

Figura 4.1 - Planejamento do projeto de pesquisa.



Fonte: Produção do autor, baseado em Dresch et al. (2015).

A demonstração e avaliação do artefato foi concebida para se enquadrar nos quesitos de avaliação observacional e experimental (simulação) contemplados como métodos e técnicas para avaliação de artefatos (HEVNER et al., 2004; DRESCH et al., 2015) Capítulo 4. Conforme proposto na DSRM (TREMBLAY et al., 2010), para se estruturar a demonstração do artefato, estabeleceu-se um conjunto de informações pertinentes para a demonstração do artefato proposto, propiciando a formação de senso crítico dos avaliadores frente às perguntas contidas nos questionários de avaliação. A concepção da fundamentação do artefato proposto e suas etapas de execução tiveram grande influência das atividades de desenvolvimento de sistemas aeroespaciais vivenciados pelo autor nos programas Embraer E2 e Mitsubishi *Spacejet* M90, além de discussões e leitura de Jesus (2019) sobre elementos do programa CBERS-04A. Acontecimentos e situações técnicas e gerenciais do desenvolvimento desses projetos foram levados em consideração para auxiliar no embasamento e explicações sobre o artefato.

A escolha dos avaliadores do artefato foi realizada considerando-se a estratégia de divisão em dois grupos focais: exploratório e confirmatório

(TREMBLAY et al., 2010; DRESCH et al., 2015) Capítulo 4. O grupo focal exploratório consistiu em profissionais que participaram no desenvolvimento de projetos aeroespaciais na função de engenheiros de sistemas, projetos e requisitos, dessa forma, sendo potenciais usuários do artefato e que, potencialmente, irão contribuir com comentários que possam aprimorar a concepção do artefato. O grupo focal confirmatório consistiu em profissionais que atuam em funções de estudo de maturidade tecnológica, qualidade e confiabilidade de sistemas e que, por sua vez, possam avaliar e corroborar com a utilidade dos dados gerados pelo artefato. No Apêndice B.1, a Tabela B.1 apresenta os dados dos entrevistados. A demonstração consistiu em duas apresentações, seguida da disponibilização de um questionário para a avaliação do artefato. A média de anos de experiência dos entrevistados é de 15 anos de experiência profissional em desenvolvimento de sistemas complexos nas suas instituições e corporações.

Em termos de estruturação, as apresentações utilizam como base os preceitos descritos em Tremblay et al. (2010): uma explicação da motivação por trás da concepção do artefato, seguido por uma explicação de diferentes cenários sobre onde e como o artefato pode ser utilizado, uma descrição dos detalhes do *design* do artefato, treinamento sobre seu uso e finalização com uma tarefa em que os participantes dos grupos focais são solicitados a avaliarem a demonstração do artefato. É importante ressaltar que os avaliadores não executaram o artefato, como proposto em Tremblay et al. (2010). A primeira apresentação contextualiza a abordagem ERM: são apresentadas as escalas de maturidade TRL, IRL e SRL, métodos de avaliação TRA e SRA, o modelo de minimização de custos para avanço de maturidade SCODmin e a abordagem ERM em si. A segunda apresentação trata dos conceitos de maturidade e requisitos de sistemas e produtos complexos, gerenciamento, validação e verificação de requisitos seguido da condução de uma simulação para ilustrar e explicar aos entrevistados cada etapa do artefato proposto: a abordagem ROERM. Devido às dificuldades inerentes em se aplicar o artefato proposto em tempo hábil a um ambiente real de desenvolvimento de um CoPS, a extensão da pesquisa se limita a demonstração e avaliação de execução



teórica do artefato. Espera-se que a experiência progressiva do grupo focal exploratório em desenvolvimento de CoPS permita um processo cognitivo de associação aos elementos contidos na demonstração teórica do artefato, permitindo uma avaliação sólida da aplicabilidade do artefato em ambientes reais de desenvolvimento. Os seguintes métodos de avaliação (HEVNER et al., 2004; DRESCH et al., 2015) Capítulo 4 foram utilizados: avaliação observacional ao se simular a execução do artefato, avaliação experimental ao demonstrar o artefato com dados artificiais e solicitar que os grupos focais exploratório e confirmatório avaliassem a dificuldade de realizar cada etapa do artefato proposto, e avaliação descritiva ao se associar, durante as apresentações, a execução do artefato a cenários reais de desenvolvimento. O Apêndice B.2 contém as apresentações utilizadas para demonstração e avaliação do artefato.

O questionário de avaliação, apresentado no Apêndice B.3, foi dividido em duas partes: na primeira parte, pretende-se avaliar a abordagem ERM original; na segunda parte, busca-se avaliar a evolução da abordagem ERM para o artefato ROERM. Assim como em Jesus (2019), as perguntas foram preparadas considerando a metodologia proposta por Tremblay et al. (2010), em que utilidade e eficácia orientaram a criação das perguntas. Outras questões também foram exploradas no questionário para avaliar a viabilidade e dificuldade de se aplicar os conceitos dessas abordagens nas atividades de desenvolvimento de sistemas complexos nas corporações/instituições das quais os especialistas consultados fazem parte. As respostas de cada participante são apresentadas no Apêndice B.4. Durante as entrevistas, existiram questionamentos e discussões e os entrevistados foram solicitados, portanto, a expressarem esses mesmos elementos discutidos nas respostas aos seus respectivos questionários para que estes fossem capturados, apropriadamente, na Seção 8.

Após a apresentação final da dissertação à banca examinadora, uma sugestão foi realizada para reavaliar a estrutura de capítulos da dissertação seguindo-se as propostas de Gregor e Hevner (2013), apresentada na Tabela 4.1, e Peffers et al. (2007), apresentada na Figura 4.2. Essa sugestão permitiu refinar a

estruturação e alguns textos da dissertação. O resumo e introdução da dissertação foram atualizados para explicitar detalhes de execução da DSRM, ou seja, artefato produzido, a sequência de condução da pesquisa, divisão de grupos focais, entre outros.

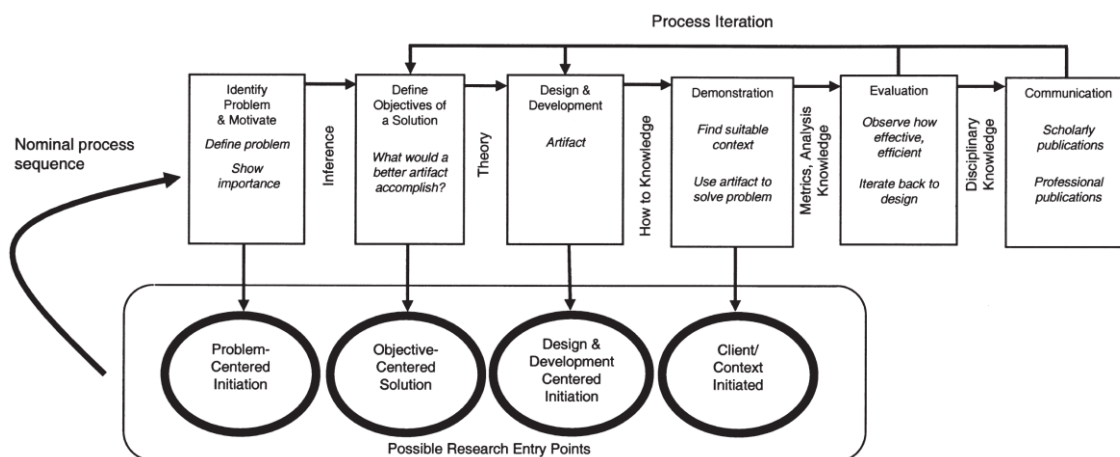
Outra contribuição se refere à atualização da Seção 5, previamente referida por “Resultados”, em um conjunto de seções que melhor se adequam à metodologia *Design Science Research*. Dessa forma, o termo “Descrição do Artefato”, conforme sugerido no item 4 da Tabela 4.1, substituiu a Seção 5. A Seção 6 foi atualizada para “Demonstração”, adequando-se à etapa proposta em Peffers et al. (2007) e extraída na Figura 4.2. A Seção 7, “Avaliação”, se refere ao item 5 da Tabela 4.1. Ressalta-se que essa etapa resulta de uma simulação teórica de execução do artefato ROERM avaliada por especialistas em desenvolvimento de sistemas complexos, ou seja, o artefato ROERM ainda não foi aplicado em um projeto real em desenvolvimento.

Tabela 4.1 – Esquema de publicação para uma pesquisa baseada em Design Science.

Section	Contents
1. Introduction	<i>Problem definition, problem significance/motivation, introduction to key concepts, research questions/objectives, scope of study, overview of methods and findings, theoretical and practical significance, structure of remainder of paper.</i> For DSR, the contents are similar, but the problem definition and research objectives should specify the <b>goals</b> that are required of the artifact to be developed.
2. Literature Review	<i>Prior work that is relevant to the study, including theories, empirical research studies and findings/reports from practice.</i> For DSR work, the prior literature surveyed should include any prior design theory/knowledge relating to the class of problems to be addressed, including artifacts that have already been developed to solve similar problems.
3. Method	<i>The research approach that was employed.</i> For DSR work, the specific DSR approach adopted should be explained with reference to existing authorities.
4. Artifact Description	A concise description of the artifact at the appropriate level of abstraction to make a new contribution to the knowledge base. This section (or sections) should occupy the major part of the paper. The format is likely to be variable but should include at least the description of the designed artifact and, perhaps, the design search process.
5. Evaluation	Evidence that the artifact is useful. The artifact is evaluated to demonstrate its worth with evidence addressing criteria such as validity, utility, quality, and efficacy.
6. Discussion	<i>Interpretation of the results: what the results mean and how they relate back to the objectives stated in the Introduction section. Can include: summary of what was learned, comparison with prior work, limitations, theoretical significance, practical significance, and areas requiring further work.</i> Research contributions are highlighted and the broad implications of the paper's results to research and practice are discussed.
7. Conclusions	<i>Concluding paragraphs that restate the important findings of the work.</i> Restates the main ideas in the contribution and why they are important.

Fonte: Gregor e Hevner (2013).

Figura 4.2 – Modelo de processo da Metodologia *Design Science Research*.



Fonte: Peffers et al. (2007).

## **5 DESCRIÇÃO DO ARTEFATO**

Esta seção compilará a teoria que fundamenta o desenvolvimento do artefato. A Seção 5.1 contempla as etapas identificação do problema, conscientização do problema, identificação de artefatos e configuração de classes de problemas (DRESCH et al., 2015) Capítulo 6. A Seção 5.2 contempla as etapas proposição de artefatos para resolução do problema, concepção e desenvolvimento do artefato (DRESCH et al., 2015) Capítulo 6.

### **5.1 Desenvolvimento do artefato**

Partiu-se do pressuposto de que o modelo teórico de minimização de custos SCODmin, proposta em Magnaye et al. (2010), e a abordagem ERM, proposta em Magnaye et al. (2014), trazem vantagens para priorizar a evolução de maturidades dos elementos tecnológicos e suas integrações bem como acompanhar e corrigir eventuais soluções de evolução ao longo do desenvolvimento.

As seguintes subseções ilustram a etapas identificação do problema, conscientização do problema, identificação de artefatos e configuração de classes de problemas, conforme abordado no método Design Science (DRESCH et al., 2015) Capítulo 6, que levaram à criação do artefato, a ser apresentado na próxima Seção 5.2.

#### **5.1.1 Acurácia dos dados de entrada para cálculo do cronograma otimizado**

Conforme descrito em Magnaye et al. (2014), assim como na abordagem EVM, a abordagem ERM é tão boa quanto os dados de entrada fornecidos para cálculo da solução otimizada de evolução de maturidades. Portanto, um problema para sua utilização é o quão fidedignos e estruturados são seus dados de entrada, ou seja, os níveis de maturidade TRL e IRL atuais e as estimativas de custos financeiros e de horas de trabalho para avançar o produto para maturidades mais elevadas. Tendo em vista que fornecer dados de entrada imprecisos levará a soluções de evolução de maturidade inadequadas, buscou-se desenvolver soluções para dois grupos de questões levantadas em relação à proposta apresentada em Magnaye et al. (2014):

- Questão sobre a alocação de funcionalidades técnicas do produto à escala de maturidade adequada: Como estruturar os pacotes de atividades associados ao avanço de TRL e os pacotes de atividades relacionados ao avanço de IRL?
- Questões sobre como estruturar as informações para estimativas de custos financeiros e horas de trabalho: Como distribuir custos financeiros e tempo de trabalho de forma adequada entre evoluções específicas de TRL e IRL para busca da solução mais otimizada de evolução de maturidade? Como levar em consideração aspectos como, por exemplo, métodos de verificação na distribuição dos custos de obtenção de maturidade?

Classifica-se a primeira questão como um problema da classe “mapeamento de processos” e a segundo grupo de questões como um problema da classe “estimativas de custos”. Ambas as classes de problemas são mencionadas em Dresch et al. (2015) Capítulo 5, sendo a classe “estimativa de custos” uma ligeira adaptação da classe “medida de custos”.

Conforme descrito na Seção 3.1.6, Magnaye et al. (2014) conclui que os custos para se avançar a maturidade de cada elemento devem ser estimados por análise de engenharia, analogia, estimativas de especialistas ou uma combinação desses elementos. Magnaye et al. (2010) concluem que os esforços de verificação e validação também podem ser utilizados para estudar o grau de dificuldade associado ao avanço de nível nas escalas de maturidade. Pretendeu-se, portanto, formular uma abordagem que seja capaz de organizar e fundamentar as informações de entrada necessárias para a posterior etapa de busca pela solução otimizada de evolução de maturidade.

Magnaye et al. (2014) sugere que testes de integração serão responsáveis por aumentar o nível de IRL de um sistema, porém não é explícito se testes de integração também aumentarão o TRL. Pretende-se caracterizar, no artefato proposto, categorias de testes e análises que se relacionem diretamente ao TRL e categorias que se relacionem diretamente ao IRL. O objetivo é fornecer subsídios para o adequado preenchimento da planilha de custos de evolução

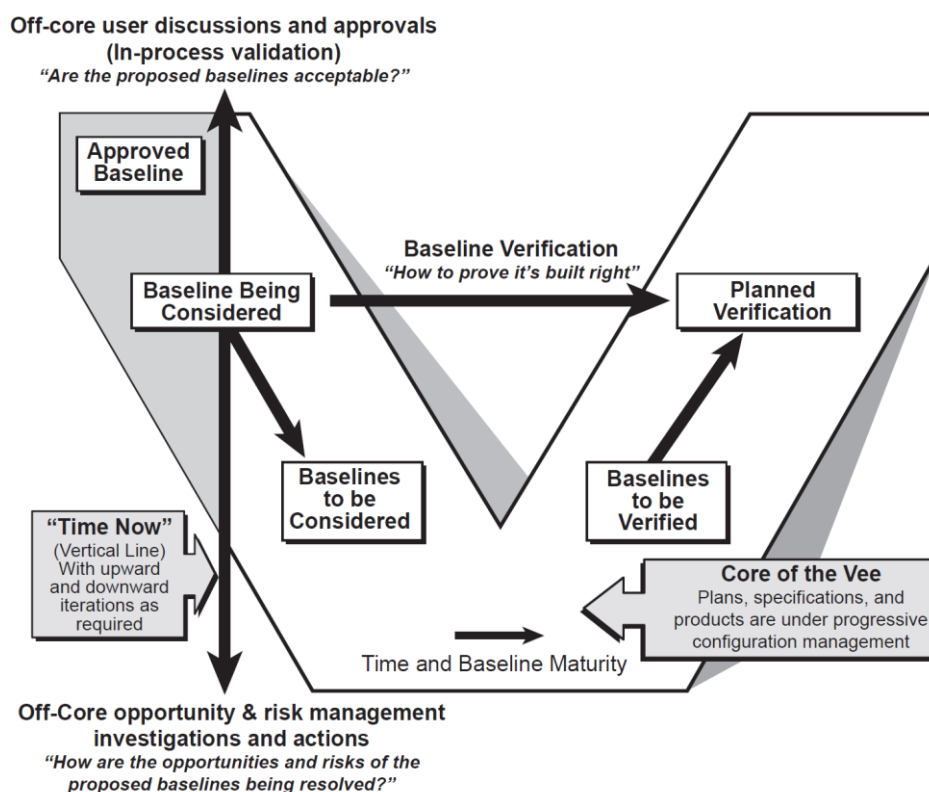
de TRL e de IRL para que, ao se analisar as soluções de evolução de maturidade otimizadas do ponto de vista de custo financeiro, se forneça um resultado compatível com a realidade do desenvolvimento do sistema analisado. Pressupõe-se que a resposta dessa pergunta permeie o processo de validação e verificação de requisitos do produto. Quanto mais robusto for o processo de criação de uma matriz que captura todos os objetivos de validação e verificação que irão demonstrar cumprimento com os requisitos do projeto, conforme abordado nas Seções 3.2.1 e 3.2.2, em conjunto com as avaliações de maturidade TRL e IRL atual e futura, mais condizente será o resultado de alocação de custos para avaliação das soluções de evolução de maturidade, o que fornecerá um resultado mais fidedigno à necessidade de maturação do sistema.

NASA (2017) descreve que a infusão tecnológica em produtos complexos, frequentemente, resulta em atrasos de cronograma, custos excedentes e, ocasionalmente, em cancelamentos e falhas. A causa-raiz é, usualmente, atribuída à “definição inadequada de requisitos” em que se supõe que a correção da situação seja uma simples questão de definir melhores requisitos. Contudo, este pode não ser o caso ou, pelo menos, não a única causa. Segundo NASA (2017), existem várias possibilidades, incluindo a falta de definição adequada de requisitos.

Todavia, a afirmação aparenta ser vaga, pois não descreve, por exemplo, como se encaixam, nesse cenário, os processos de validação e verificação de requisitos. Ao se considerar as diversas questões associadas à validação de requisitos de um produto complexo propostas em NASA (2017), apresentadas no Apêndice C, percebe-se que um *checklist* de validação de requisitos e sua aplicação devem minimizar as possibilidades de se prosseguir com o desenvolvimento e construção dos componentes do projeto sem a ciência do estado atual das maturidades das soluções tecnológicas para cumprir com as necessidades requisitadas. Observando-se, por exemplo, a seção de validação de requisitos “Correção”, percebe-se a presença da pergunta “Os requisitos são tecnicamente viáveis?”. Não se pode responder “sim” a essa pergunta ao se tentar validar um requisito que será cumprido por uma solução tecnológica

de baixa maturidade em que ainda haja dúvidas sobre a sua capacidade de maturação. Dessa forma, uma validação de requisitos ideal contempla julgamentos de engenharia, simulações, testes de simulação, construção de maquetes, entre outros, conforme mencionado na Seção 3.2.1, para que, ao se iniciar a construção de componentes e protótipos de teste, e, até mesmo, o produto final, tenha-se grande confiança de que estão sendo construídos os componentes, subsistemas, sistemas e, conseqüentemente, o produto certo. Essa seria a descida do modelo V (INCOSE, 2006), apresentado na Figura 5.1. A subida do V no modelo V concerne à verificação e validação do produto, confirmando se o produto atende aos requisitos que capturam necessidades dos *stakeholders*, ou seja, saber se “construiu-se certo”, conforme apresentado na Seção 3.2.2.

Figura 5.1 – o Modelo V.



Fonte: INCOSE (2015).

Dessa forma, ao se analisar as descrições dos níveis de escala de maturidade, o modelo V, apresentado em INCOSE (2015), e os conceitos de validação e

verificação de requisitos, apresentados na Seção 3.2, obtém-se uma proposta de associação entre as escalas de maturidade e as atividades de validação e verificação de requisitos conforme apresentada na Tabela 5.1, produzida a partir das definições de TRL, IRL e SRL contidas em Sauser, Ramirez-Marquez e Tan (2008a).

Tabela 5.1 - Escalas TRL, IRL e SRL com associação teórica a gerenciamento de requisitos.

Nível	Definição TRL	Definição IRL	Definição SRL	Escopo de V&V
9	Sistema comprovado a partir de missões operacionais de sucesso	A integração está comprovada para a missão a partir de missões operacionais de sucesso	Operação e Suporte	Verificação de requisitos. Problemas de validação de requisitos podem ser identificados. Validação de produto em conjunto com verificação pode ser aplicável.
			Produção	
8	Sistema finalizado e qualificado a partir de testes e demonstrações	Integração completada e qualificada para a missão a partir de testes e demonstração no ambiente do sistema	Desenvolvimento e demonstração do sistema	
7	Demonstração de um Protótipo do sistema em ambiente relevante	A integração de tecnologias foi verificada e validada com detalhes suficientes para ser operacionalizada		
6	Modelo do Sistema/Subsistema demonstrado em ambiente relevante	A integração de tecnologias pode aceitar, traduzir e estruturar informações para sua aplicação desejada	Desenvolvimento da tecnologia	
5	Validação de Componentes e/ou protoboard em ambiente relevante	Existe controle suficiente entre tecnologias necessário para estabelecer, gerenciar e finalizar a integração		
4	Validação de Componentes e/ou protoboard em ambiente de laboratório	Existem detalhes suficientes na qualidade e na garantia da integração entre tecnologias	Refinamento do conceito	
3	Função crítica analítica e experimental e/ou prova de conceito característica	Existe compatibilidade entre tecnologias para integrar e interagir ordenada e eficientemente		
2	Conceito tecnológico e/ou aplicação formulado	Existe algum nível de especificidade para caracterizar a integração entre tecnologias a partir das suas interfaces		
1	Princípios básicos observados e reportados	Uma interface entre tecnologias foi identificada com detalhes suficientes para permitir a caracterização das relações da integração		

Fonte: Produção do autor.

### 5.1.2 Proposta probabilística do algoritmo de suporte ao Método de Gerenciamento de Maturidade Agregada

Magnaye et al. (2010) justifica sua proposta de algoritmo de otimização de busca probabilística SCODmin baseado no aspecto proibitivo de se avaliar as  $9^{n+m}$  soluções de evolução de maturidade de um sistema com  $n$  tecnologias e  $m$  integrações, cálculo que considera todos os elementos e integrações em seu



nível de maturidade mais baixo de TRL e IRL igual a 1. Porém, os autores não exercitam ou caracterizam como uma proposta de busca de viés determinístico se comportaria até um determinado número de soluções e não comentam sobre a significativa redução no número de soluções de evolução de maturidade quando se consideram, ao invés de maturidade 1, maturidades atuais mais elevadas para os elementos tecnológicos e suas integrações. A título de exemplo, se forem consideradas as mesmas seis tecnologias e sete integrações do estudo de caso de Magnaye et al. (2010), todas com níveis de maturidade TRL 1 e IRL 1, a quantidade de possíveis soluções de evolução de maturidade seria de  $9^{6+7}$ , que é igual a 2.541.865.828.329. Porém, pela equação abaixo, o número de soluções se reduz para 78.643.200 quando as maturidades dos componentes, fornecidas no estudo de caso, são consideradas:

$$n_{soluções} = \prod_1^6(9 - Tech\_x\_TRL + 1) \prod_1^m(9 - Int\_y\_IRL + 1).$$

Em que o elemento 'x' no termo  $Tech\_x\_TRL$  varia de 1 a 6 para representar as tecnologias 1 a 6 e o elemento 'y' no termo  $Int\_y\_IRL$  varia para representar as integrações entre os elementos, conforme a relação abaixo:

- $y = 1$ , representa a integração entre os elementos 1,2.
- $y = 2$ , representa a integração entre os elementos 1,3.
- $y = 3$ , representa a integração entre os elementos 2,3.
- $y = 4$ , representa a integração entre os elementos 2,4.
- $y = 5$ , representa a integração entre os elementos 3,5.
- $y = 6$ , representa a integração entre os elementos 4,5.
- $y = 7$ , representa a integração entre os elementos 5,6.

Considerando-se esse contexto, realizou-se o seguinte questionamento:

- Questão sobre a viabilidade de um algoritmo alternativo e de abordagem determinística: qual a viabilidade de utilização de um algoritmo de viés determinístico para computo da solução ótima de priorização de custos para evolução de maturidade?

Buscou-se, então, ao desenvolver-se o artefato, prover uma solução computacional alternativa à proposta de busca probabilística, que percorra todas as possíveis soluções de evolução de maturidade e que forneça, de forma determinística, a solução ótima de evolução de maturidade que apresenta menor custo de evolução para um mesmo aumento desejado de SRL.

### **5.1.3 Rastreo e avaliação da obtenção de maturidade**

Outro problema observado na proposta original realizada em Magnaye et al. (2014) é a ausência de detalhamento sobre quais evidências irão conferir os *pedigrees* de avanço de maturidade e o que se avaliar ou rastrear para conferir o discernimento de atingimento de metas de maturidade do projeto, ou seja, como estimar os índices BCRA e ACRA definidos na abordagem ERM. Entende-se que uma vez definidas essas evidências, deve-se rastreá-las constantemente para cálculo desses índices. Portanto, vislumbra-se que o artefato proposto atue na seguinte questão:

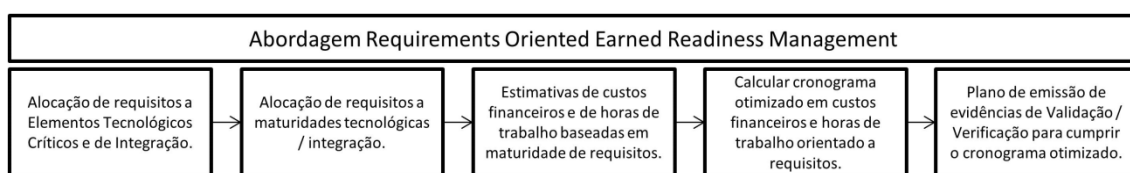
- O que é necessário rastrear e avaliar para conceder o *pedigree* de aumento de maturidade a um elemento tecnológico?

Classifica-se essa questão como um problema da classe “controle e planejamento”. Essa classe de problema foi adaptada a partir da classe “controle e planejamento de produção” mencionada no método Design Science (DRESCH et al., 2015) Capítulo 5.

## 5.2 Método *Requirements Oriented Earned Readiness Management* (ROERM)

As etapas para execução do artefato proposto como abordagem ROERM são apresentadas na Figura 5.2. As subseções a seguir detalham cada um dos diagramas de sub-blocos no fluxograma de execução da abordagem ROERM. Um esboço da abordagem ROERM foi apresentado em Rezende e Chagas Junior (2019) e aprimorada na presente pesquisa por intermédio da aplicação da DSRM (DRESCH et al., 2015) Capítulo 6. Originalmente, o artefato foi denominado como *Requirements Readiness Oriented Optimized Schedule* (R2O2S). Porém, após a avaliação da dissertação pela banca examinadora, foi ressaltado que havia certa confusão entre a integração das abordagens ERM e R2O2S. Este *feedback* levou o autor a optar pela consideração de que o artefato final é um aprimoramento da abordagem ERM e que será denominado como ROERM, propondo os mesmos conceitos originais da abordagem ERM e incluindo a associação desses conceitos ao gerenciamento de requisitos, conforme previamente proposto pela abordagem R2O2S para fundamentar e documentar processualmente os dados de entrada necessários para cálculo da solução otimizada de evolução de maturidades TRL e IRL para um determinado aumento desejado de SRL.

Figura 5.2 - Descrição geral da abordagem ROERM.



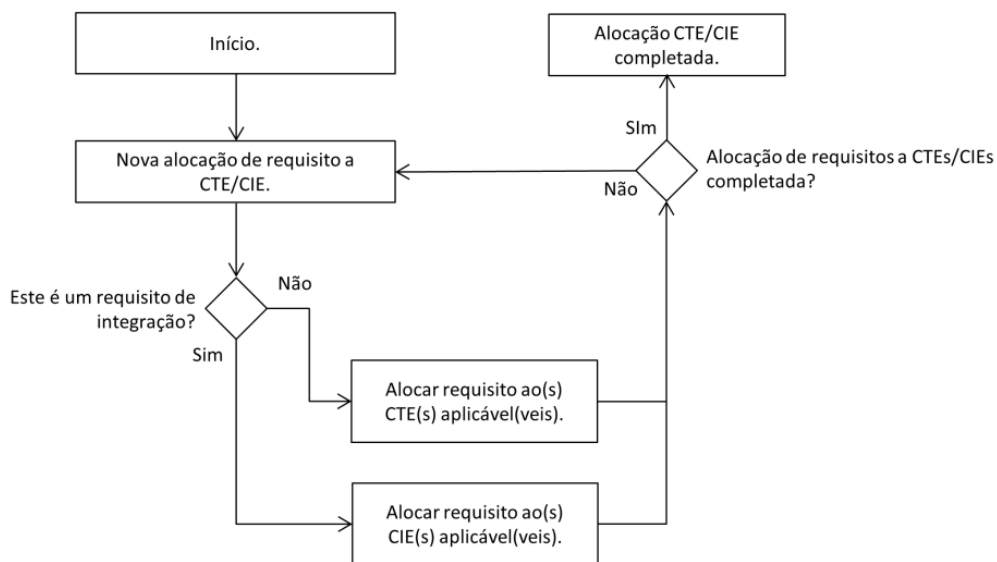
Fonte: Produção do autor.

### 5.2.1 Alocação de requisitos a elementos tecnológicos críticos e de integração

A abordagem ERM propõe uma estrutura de detalhamento de maturidade do sistema (SRBS), detalhando *Critical Technology Elements* (CTEs) e *Critical Integration Elements* (CIEs) associados ao sistema em desenvolvimento (MAGNAYE et al., 2014).

Esse estágio da abordagem ROERM sugere a combinação do conceito de alocação de requisitos (YOUNG, 2004) Glossário e o SRBS proposto na abordagem ERM para que seja avaliada a relação de cada requisito com os CTEs e CIEs que fazem parte do projeto. Um requisito deve ser alocado a um CTE específico quando este descreve um aspecto independente do desenvolvimento de um sistema, subsistema ou componente. Sempre que aspectos de integração entre tecnologias forem identificados na redação de um requisito avaliado, este deverá ser alocado a um CIE. A Figura 5.3 apresenta uma proposta para conduzir essa etapa da abordagem ROERM.

Figura 5.3 – Proposta de fluxograma para alocação de requisitos a CTEs/CIEs.



Fonte: Produção do autor.

Usualmente, pressupõe-se que um requisito alocado a um CTE seja redigido como "O componente X deve suportar um nível de vibração equivalente à categoria YXZ", que representa uma característica mecânica específica da concepção do componente X. Por outro lado, um requisito associado a um CIE apresenta, em sua redação, aspectos de integração tecnológica, como, por exemplo, "O Subsistema X deve se comunicar com o subsistema Y através do protocolo de barramento de comunicação Z" manifestando uma especificação de integração entre os subsistemas envolvidos. Um requisito que define um aspecto independente ou de integração pode ser alocado, respectivamente, a

vários CTEs ou CIEs, se a avaliação levar a essa interpretação. Espera-se que esse cenário ocorra para requisitos genéricos, que objetivam o desígnio de especificações gerais, sejam de aspectos isolados de componentes, sejam de integração entre tecnologias, e que mais de um ou todos os CTEs / CIEs devam cumprir.

A alocação de requisitos a CTEs e CIEs produz um resultado exemplificado na Tabela 5.2. Os requisitos como o REQ-1 a REQ-6 ilustram requisitos alocados exclusivamente a CTEs. Da mesma forma, a avaliação de alocação de CTE e CIE para os requisitos REQ-7 a REQ-10 resultou na alocação a um CIE, conforme apresentado na mesma tabela.

Tabela 5.2 - Banco de dados de requisitos com o atributo de alocação de requisitos CTE e CIE.

Identificador do Requisito	Texto do Requisito	Elemento Tecnológico / Integração Crítico
REQ-1	Redação do requisito REQ-1.	CTE1
REQ-2	Redação do requisito REQ-2.	CTE1
REQ-3	Redação do requisito REQ-3.	CTE2
REQ-4	Redação do requisito REQ-4.	CTE3
REQ-5	Redação do requisito REQ-5.	CTE4
REQ-6	Redação do requisito REQ-6.	CTE1; CTE2; CTE3; CTE4
REQ-7	Redação do requisito REQ-7.	CIE1,2
REQ-8	Redação do requisito REQ-8.	CIE1,3
REQ-9	Redação do requisito REQ-9.	CIE3,4
REQ-10	Redação do requisito REQ-10.	CIE1,2; CIE3,4

Fonte: Produção do autor.

Entende-se que a alocação de requisitos a CTEs/CIEs é importante para o processo de gerenciamento de maturidade e ditará diretamente as atuais e futuras avaliações de maturidade destes elementos do desenvolvimento. Uma alocação incorreta de requisitos a um CTE/CIE pode levar a uma solução de evolução de maturidade supostamente otimizada, porém que se concentrará em aumentar, de forma não otimizada, a maturidade de tecnologias e integrações. Entende-se que o intervalo do projeto mais apropriado para executar esta etapa seja desde a fase de criação até a realização de uma sólida validação de requisitos, o que permitirá um consistente entendimento do que construir. Alocações futuras podem ser necessárias caso novos requisitos sejam criados, principalmente para solucionar problemas latentes durante a concepção do produto.

### **5.2.2 Alocação de requisitos a maturidades tecnológicas / integração**

Os processos de avaliação de maturidade TRA (MANKINS, 1995; NASA, 2017), apresentado na Seção 3.1.2, fornecem avaliações mais genéricas e de alto nível para determinar, numericamente, o nível TRL. Para o SRA (AUSTIN; YORK, 2015), detalha-se as tecnologias embutidas nos componentes para se determinar numericamente os níveis TRL e IRL. Usufruindo-se dos conceitos do gerenciamento de requisitos (NASA, 2017), propõe-se um processo orientado a requisitos para avaliação da maturidade sistêmica atual de um produto e para definição de objetivos para avançar sua maturidade.

O banco de dados de requisitos coleta todos os tipos de requisitos, como: mecânicos, elétricos, de software, térmicos, etc. A avaliação de TRL de um CTE ou de IRL de um CIE pode ser uma tarefa incompleta, caso não haja uma estrutura de detalhamento tecnológico do elemento avaliado, como proposto em Austin e York (2015). Nesse contexto, ao se executar a segunda etapa da abordagem ROERM, avaliam-se as demonstrações tecnológicas pregressas da solução sistêmica escolhida para cumprir com os requisitos e a aplicabilidade dessas demonstrações para o projeto atual. Essa avaliação fornecerá, especificamente para cumprimento com o aspecto abordado pelo requisito, o atual nível TRL do CTE ou IRL do CIE. Uma solução pode ter demonstrado aspectos tecnológicos mecânicos em produtos anteriores e também aplicáveis ao produto atual, levando a níveis de maturidade mais altos especificamente para o conjunto de requisitos associados. Simultaneamente, o mesmo elemento tecnológico pode apresentar significativos desafios de demonstração para um conjunto de requisitos relacionados a seu software embarcado não demonstrado em uma plataforma anterior. Propõe-se também instituir a regra do elo mais fraco (OLECHOWSKI et al., 2020), definida em Austin e York (2015), à abordagem ROERM. A regra consiste em definir a maturidade geral de um CTE ou CIE como a menor maturidade alocada a um requisito alocado a este elemento.

Para se definir o nível de maturidade atual de uma solução tecnológica para cumprimento com um requisito, sugere-se a coleta de informações oriundas

das atividades necessárias para cumprir com os objetivos de validação e verificação de requisitos. Conforme apresentado na Seção 3.2, são definidos, para cumprimento desses objetivos, métodos de verificação (o Apêndice D apresenta os métodos de verificação descritos em ISO/IEC/IEEE (2011)), vias de validação/verificação e identificação dos relatórios que irão conter as evidências das atividades. Considera-se que definir as demonstrações necessárias para avanço nos níveis de maturidade (definidas como "Pacote de trabalho de maturidade") está, da mesma forma, entrelaçada ao entendimento dos esforços para validação e verificação de cada requisito e como esses esforços contribuem para demonstrar o nível de maturidade desejado. A avaliação dos níveis de maturidade atual da solução tecnológica em termos de cumprimento com cada requisito e a avaliação de quais demonstrações são esperadas para aumentar a maturidade no decorrer do projeto serão, idealmente, realizadas simultaneamente e poderão, inclusive, realimentar a definição dos esforços de validação e verificação associados ao desenvolvimento do produto. Entende-se que a avaliação da aplicabilidade das prévias demonstrações da solução tecnológica ao projeto atual ajudará a definir as estratégias de demonstração de cumprimento dos requisitos de produto (testes, simulação, análise). A Figura 5.4 apresenta uma proposta de fluxograma para realização da alocação de maturidades a requisitos contidos nos bancos de dados que a solução tecnológica precisa cumprir. A redação das perguntas referentes a cada nível de maturidade TRL e IRL foi estruturada pensando-se na compatibilidade com a redação proposta em Austin e York (2015) para cada nível de maturidade das escalas TRL e IRL.

A Tabela 5.3 apresenta um exemplo de dados de requisitos simplificado que aloca, aos requisitos, níveis de maturidade demonstrados e demonstrações esperadas para o decorrer do projeto (atributos "Nível de maturidade atual do requisito" e "Pacote de trabalho de maturidade", respectivamente). Os códigos genéricos de identificação de relatórios no formato TP-número e ITP-número foram listados nos atributos responsáveis por listar os documentos de procedimentos de validação e verificação, exemplificando, por sua vez, como o

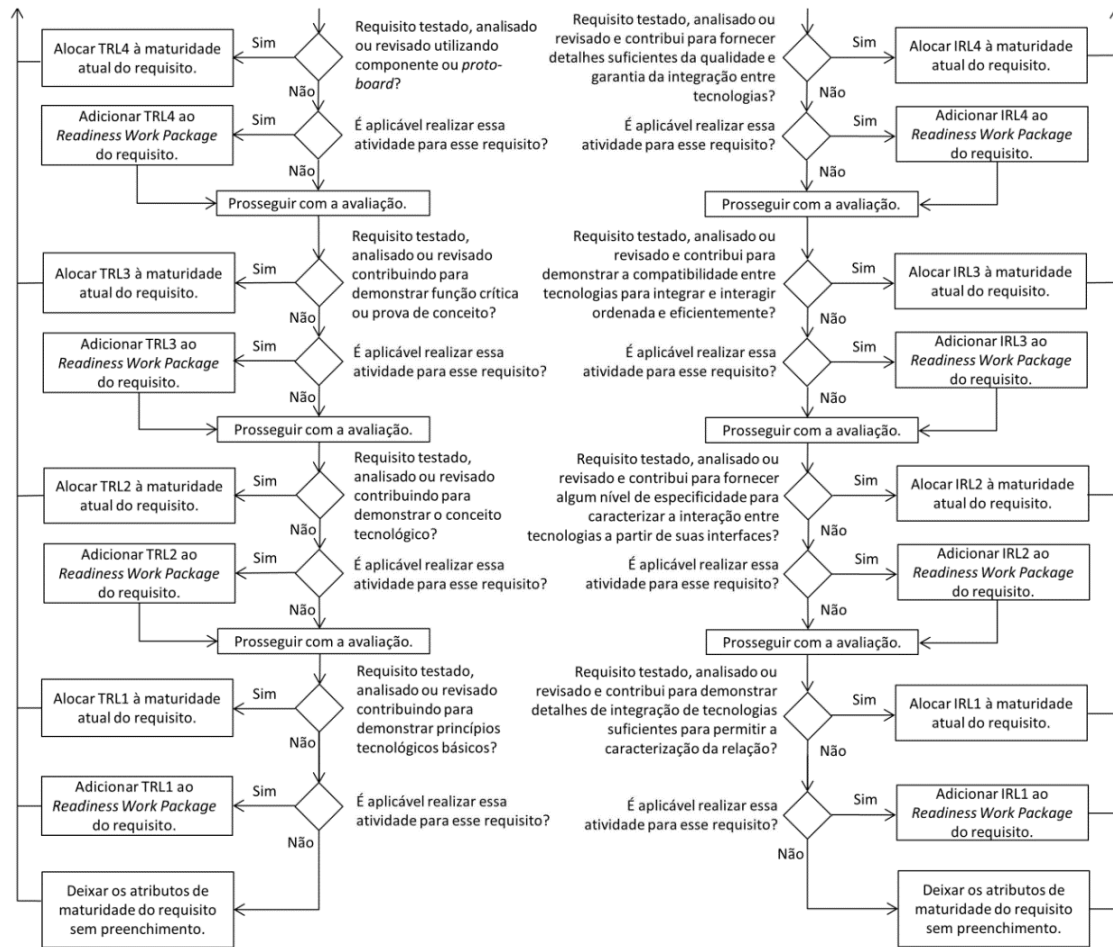
conteúdo desses atributos é usualmente preenchido em matrizes de validação e verificação do sistema.

Entende-se que, devido aos aspectos subjetivos intrínsecos de avaliação das demonstrações futuras de maturidade por meio das atividades de validação ou verificação de requisitos, os resultados da alocação de maturidade podem diferir de um grupo de trabalho para outro. Em outras palavras, a alocação de requisitos a níveis de maturidade demonstrados ainda depende de julgamento de engenharia e de como as condições específicas do ambiente de concepção e desenvolvimento do produto são interpretadas pelo grupo de trabalho que executa a avaliação.





Figura 5.4 – Conclusão.



Fluxograma baseado nas escalas TRL e IRL de Austin e York (2015).

Fonte: Produção do autor.

### 5.2.3 Estimativa de custos financeiros e de horas de trabalho baseado em maturidade de requisitos

Propõe-se um processo de estimativa de custos financeiros e horas de trabalho por análise das matrizes de validação e verificação de requisitos, principalmente, métodos, vias e procedimentos, uma vez que estes definem, para as soluções tecnológicas, as demonstrações de maturidade necessárias para cumprimento com cada requisito, oferecendo a compreensão dos esforços associados e permitindo estimar custos financeiros e horas de trabalho.

A Figura 5.5 apresenta uma proposta de fluxograma para realização da etapa de estimativa de custos e horas de trabalho.

Tabela 5.3 - Matrizes combinadas de validação / verificação com atributos de maturidade de requisitos.

Identificador do Requisito	Texto do Requisito	Elemento Tecnológico / Integração Crítico	Método de Validação	Via de Validação	Procedimento de Validação	Método de Verificação	Via de Verificação	Procedimento de Verificação	Nível de maturidade atual do requisito	Pacote de trabalho de maturidade
REQ-1	Redação do requisito REQ-1.	CTE1	Rastreabilidade Simulação	Software de Simulação	TP-100	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000	TRL 1	TRL4; TRL7; TRL8; TRL9
REQ-2	Redação do requisito REQ-2.	CTE1	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000	TRL7	TRL8
REQ-3	Redação do requisito REQ-3.	CTE2	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	TP-101	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000	TRL 4	TRL5; TRL6; TRL7; TRL8; TRL9
REQ-4	Redação do requisito REQ-4.	CTE3	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1001	TRL 1	TRL2; TRL3; TRL4; TRL7; TRL9
REQ-5	Redação do requisito REQ-5.	CTE4	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	TP-102	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1002	TRL 1	TRL2; TRL3; TRL4; TRL7; TRL9
REQ-6	Redação do requisito REQ-6.	CTE1; CTE2; CTE3; CTE4	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1002	TRL 4	TRL5; TRL6; TRL7; TRL8; TRL9
REQ-7	Redação do requisito REQ-7.	CIE1,2	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	ITP-100	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1000	IRL2	IRL3; IRL4; IRL5; IRL6; IRL8
REQ-8	Redação do requisito REQ-8.	CIE1,3	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	ITP-101	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1001	IRL0	IRL2; IRL3; IRL4; IRL5; IRL7; IRL9
REQ-9	Redação do requisito REQ-9.	CIE3,4	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1002	IRL0	IRL2; IRL3; IRL4; IRL5; IRL7; IRL9
REQ-10	Redação do requisito REQ-10.	CIE1,2; CIE3,4	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1003	IRL2	IRL3; IRL4; IRL5; IRL6; IRL8

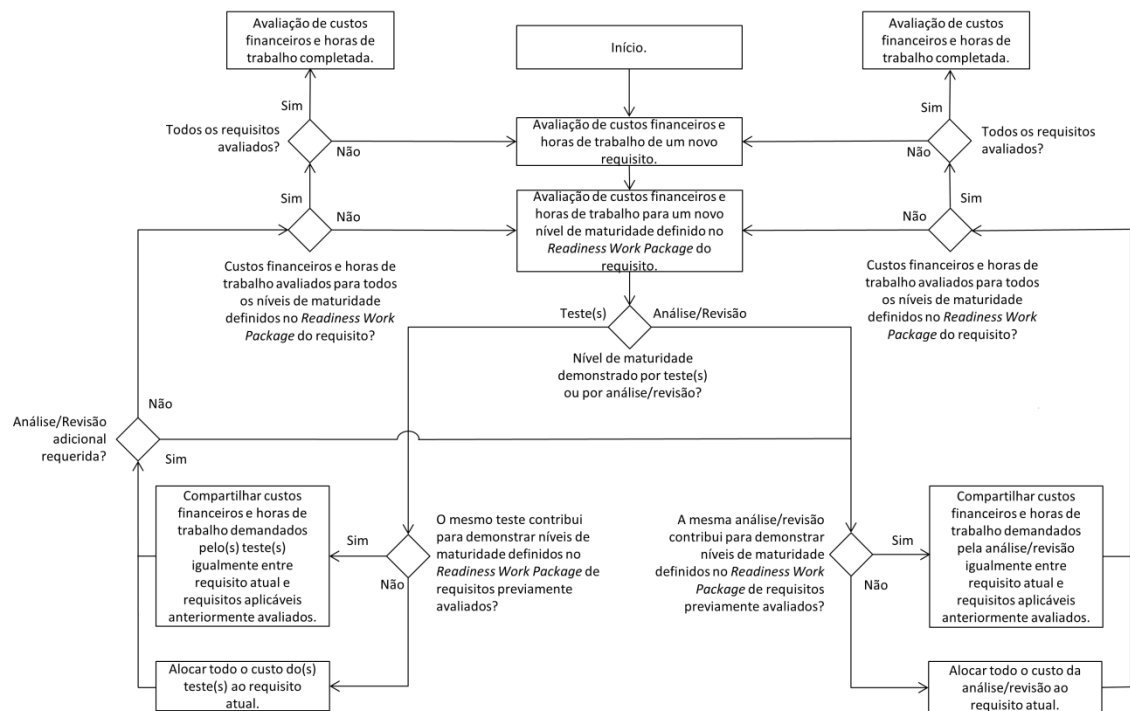
Fonte: Produção do autor.

Observa-se que, se a mesma evidência de validação e/ou verificação é compartilhada entre vários requisitos (por exemplo, um mesmo procedimento de teste), é importante, também, compartilhar os custos da atividade entre os requisitos. Isso evita que haja cotações repetidas referentes a um mesmo de nível de maturidade de um CTE ou CIE a ser avançado.

Extraindo-se, por intermédio do atributo “Pacote de trabalho de maturidade” contido na Tabela 5.3, as informações de maturidade a serem demonstradas para cada requisito, produz-se a Tabela 5.4 e a Tabela 5.5 que, por sua vez, apresentam uma correlação ilustrativa entre os identificadores de requisitos e o custo financeiro e horas de trabalho associados para cada aumento nos níveis de maturidade. Esta correlação determina quais requisitos precisam ter atividades de validação e verificação completadas para atingir um determinado nível de maturidade. Os identificadores são, então, substituídos pelas

estimativas de custos financeiros e horas de trabalho associadas a essas atividades.

Figura 5.5 – Proposta de fluxograma para estimativas de custos financeiros e horas de trabalho a partir da maturidade alocada a requisitos.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.4 – Associação entre custos financeiros e horas de trabalho para avanço de maturidade de CTEs e requisitos aplicáveis.

TRL	CTE1		CTE2		CTE3		CTE4	
	Custo Financeiro	Horas de Trabalho	Custo Financeiro	Horas de Trabalho	Custo Financeiro	Horas de Trabalho	Custo Financeiro	Horas de Trabalho
1								
2					REQ-4	REQ-4	REQ-5	REQ-5
3					REQ-4	REQ-4	REQ-5	REQ-5
4	REQ-1	REQ-1			REQ-4	REQ-4	REQ-5	REQ-5
5	REQ-6	REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-6	REQ-6	REQ-6	REQ-6
6	REQ-6	REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-6	REQ-6	REQ-6	REQ-6
7	REQ-1 REQ-6	REQ-1 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-4 REQ-6	REQ-4 REQ-6	REQ-5 REQ-6	REQ-5 REQ-6
8	REQ-1 REQ-2 REQ-6	REQ-1 REQ-2 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-6	REQ-6	REQ-6	REQ-6
9	REQ-1 REQ-6	REQ-1 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-3 REQ-6	REQ-4 REQ-6	REQ-4 REQ-6	REQ-5 REQ-6	REQ-5 REQ-6

Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.5 - Associação entre custos financeiros e horas de trabalho para avanço de maturidade de CIEs e requisitos aplicáveis.

IRL	CIE1,2		CIE1,3		CIE3,4	
	Custo Financeiro	Horas de Trabalho	Custo Financeiro	Horas de Trabalho	Custo Financeiro	Horas de Trabalho
1						
2			REQ-8	REQ-8	REQ-9	REQ-9
3	REQ-7 REQ-10	REQ-7 REQ-10	REQ-8	REQ-8	REQ-9 REQ-10	REQ-9 REQ-10
4	REQ-7 REQ-10	REQ-7 REQ-10	REQ-8	REQ-8	REQ-9 REQ-10	REQ-9 REQ-10
5	REQ-7 REQ-10	REQ-7 REQ-10	REQ-8	REQ-8	REQ-9 REQ-10	REQ-9 REQ-10
6	REQ-7 REQ-10	REQ-7 REQ-10			REQ-10	REQ-10
7			REQ-8	REQ-8	REQ-9	REQ-9
8	REQ-7 REQ-10	REQ-7 REQ-10			REQ-10	REQ-10
9			REQ-8	REQ-8	REQ-9	REQ-9

Fonte: Produção do autor.

#### 5.2.4 Calcular cronograma otimizado em custos financeiros e horas de trabalho orientado a requisitos

Desenvolveu-se um algoritmo alternativo, de abordagem determinística, que cumpre o mesmo intuito do algoritmo SCODmin (MAGNAYE et al., 2010). A vantagem será a certeza de que a solução de evolução de maturidade encontrada é a de menor custo.

O algoritmo precisa ser ajustado dependendo da quantidade de elementos tecnológicos ou de integração presentes no sistema e cada novo elemento adicionará uma nova iteração. A variável que computa o SRL também precisa ser ajustada para que seu cálculo matricial (MAGNAYE et al., 2010) esteja consistente com a estrutura de integração dos elementos tecnológicos. De forma semelhante, o algoritmo precisa ser ajustado de acordo com as informações de custo de evolução de níveis TRL e IRL. As etapas ilustrativas de execução do algoritmo são apresentadas a seguir:

- Alocar valores de maturidade TRL (1 a 9) atuais para cada CTE;
- Alocar valores de maturidade IRL (1 a 9) atuais para cada CIE; (Conforme definição das integrações da arquitetura a ser avaliada)

- Alocar os valores de custo e tempo de avanço de todos os níveis de maturidade acima do atual para cada CTE e cada CIE;
- Percorrer cada CTE, concorrentemente (consecutivos códigos *For*), do TRL atual a TRL 9 e cada CIE de IRL atual a IRL 9; Para cada iteração:
  - Calcular SRL;
  - Armazenar custo e tempo total dos níveis TRL da solução avaliada;
  - Armazenar custo e tempo total dos níveis IRL da solução avaliada;
  - Se o SRL da solução avaliada é igual ao SRL inicial, então apresentar valores de TRL, IRL, SRL alvo, SRL, custo, tempo da solução;
  - Se o SRL da solução avaliada é maior ou igual ao SRL desejado, então:
    - Se custo da solução avaliada é menor do que o menor custo já computado para este SRL desejado, então apresentar valores de TRL, IRL, SRL alvo, SRL, custo, tempo da solução;
    - Se o SRL da solução avaliada é igual a 1, apresentar valores de TRL, IRL, SRL alvo, SRL, custo, tempo da solução;
- Término de todos os comandos para percorrer as maturidades de todos os CTEs e CIEs;

Diferentemente do algoritmo SCODmin (MAGNAYE et al., 2010), que percorre as possíveis soluções de forma probabilística, o algoritmo desenvolvido para esta pesquisa irá percorrer todas as possíveis soluções de evolução e

estabelecer quais cumprem com um SRL mínimo desejado para computar a solução de menor custo já observado. A assertividade determinística apresenta seu contra quando a relação direta entre o número de soluções avaliadas e o intervalo de tempo necessário para que o algoritmo execute tal avaliação se torne inviável quando comparado ao critério “tempo máximo de execução” estabelecido pelos usuários. Esse critério é subjetivo, pois um usuário pode considerar inaceitável executar um algoritmo por algumas horas, enquanto outro pode aceitar executá-lo durante dias. Como exemplo, ao se executar o algoritmo cinco vezes consecutivas utilizando a configuração tecnológica do estudo de caso apresentado na Figura 3.4, o algoritmo finalizou o cálculo das soluções de custo mínimo que cumprem com 20%, 40%, 60% e 80% de aumento de SRL conforme os tempos de execução apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Execuções consecutivas do algoritmo desenvolvido para a abordagem ROERM.

Execução	Tempo de execução (segundos)
1	251.98
2	250.59
3	254.13
4	249.73
5	254.82

Fonte: Produção do autor.

Dessa forma, a média de tempo de execução do algoritmo foi de 252.25 segundos para essa configuração tecnológica. Com o número de soluções possíveis de 78.643.200 calculados na Seção 5.1.2 para o exemplo apresentado em Magnaye et al. (2010), estima-se que o desempenho de avaliação de soluções de evolução de maturidade no dispositivo computacional utilizado é de 312.076 soluções por segundo. Ao se estipular uma meta de tempo de execução, por exemplo, 24 horas, pode-se calcular a quantidade de possíveis soluções para a arquitetura que se deseja avaliar, utilizando a equação abaixo, e compará-la ao valor extrapolado de 26.963.382.857 soluções calculadas por dia, obtido a partir das mencionadas 312.076 soluções calculadas por segundo:

$$n_{soluções} = \prod_1^n (9 - Tech\_x\_TRL + 1) \times \prod_1^m (9 - Int\_y\_IRL + 1).$$

Em que 'n' é o número total de elementos tecnológicos e 'm' o número total de integrações. A variável 'y' terá uma codificação para percorrer as integrações dos elementos de acordo com a estrutura de interligações tecnológicas, conforme exemplificado na Seção 5.1.2. Sete tempos de execução relativamente próximos a um dia de execução são ilustrados na Tabela 5.7 e apresentam a estimativa de tempo, em quantidade de horas, necessário para a completa execução do algoritmo.

Tabela 5.7 – Exemplos de soluções.

<b>Número de elementos tecnológicos e integrações</b>	<b>Maturidade TRL e IRL de todos os elementos tecnológicos e de integração</b>	<b>Número de Soluções de evolução</b>	<b>Tempo de cálculo (horas) – arredondado para baixo na segunda casa decimal</b>
11	1	31.381.059.609	27.93
12	3	13.841.287.201	12.32
13	4	13.060.694.016	11.62
15	5	30.517.578.125	27.16
17	6	17.179.869.184	15.29
22	7	31.381.059.609	27.93
35	8	34.359.738.368	30.58

Fonte: Produção do autor.

Para se validar o conceito de linearidade entre quantidade de soluções calculadas por segundo e quantidade de soluções a serem avaliadas, exercitou-se o exemplo de Magnaye et al. (2010) com todos os elementos em TRL 5 e IRL 5, que, por uma estimativa linear de avaliação de soluções por segundo apresentada anteriormente, resulta em, aproximadamente, 1.08 horas para execução do algoritmo. Ao executar-se o algoritmo nessa condição, gastou-se 1.01 horas. Baseado nesse resultado e considerando que as não-linearidades da arquitetura de um dispositivo de processamento não serão significativas, entende-se que a extrapolação linear entre quantidade de soluções e tempo de cálculo de soluções por segundo é pertinente.

O conjunto de TRLs e IRLs encontrados pelo algoritmo foram diferentes dos apresentados em Magnaye et al. (2010), sendo apresentados na Tabela 5.8. A



inclusão da solução de evolução de maturidade de 100% do SRL remanescente valida os cálculos do SRL e a soma dos custos e horas de trabalho do algoritmo ao apresentar a solução SRL igual a 1 quando todos os TRLs e IRLs estão em nível 9 e os custos totais como a soma total dos custos, ou seja, \$26.574 milhões e horas de trabalho de 19.122 horas. Não se sabe, precisamente, porque os resultados do algoritmo SCODmin foram diferentes, porém devido à simplicidade, validações e viés determinístico do algoritmo desenvolvido na presente pesquisa, entende-se que os resultados apresentados na Tabela 5.8 estão coerentes.

#### **5.2.5 Plano de emissão de evidências de validação/verificação para cumprir com o cronograma otimizado**

Uma vez que o cronograma de desenvolvimento da evolução da maturidade otimizada foi definido pela etapa anterior, pode-se retornar à matriz exemplificada na Tabela 5.3 e alocar as informações de cronograma esperadas para cada atividade de validação e verificação associadas ao nível de maturidade aplicável.

Exemplificando como o atributo poderia ser preenchido, a Tabela 5.9 exhibe a inclusão do atributo "Cronograma (Ano)" e, abaixo dele, um cronograma de demonstração arbitrário de TRL/IRL para cada requisito. Os níveis de maturidade são os mesmos definidos nas células abaixo do atributo "Pacote de trabalho de maturidade" e a alocação de agendamento determina quando a evidência de validação ou verificação que demonstra um determinado nível de maturidade alocado ao atributo "Pacote de trabalho de maturidade" precisa ser emitida.

#### **5.2.6 Considerações sobre a abordagem ROERM**

As etapas da abordagem ROERM descritas nas Seções 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3 visam solucionar as questões referentes aos problemas apresentados na Seção 5.1.1 relacionadas à alocação de funcionalidades técnicas do produto à escala de maturidade adequada e como estruturar as informações para se estimar adequadamente custos financeiros e horas de trabalho, oferecendo uma estruturação processual para avaliação detalhada das maturidades de

cada elemento tecnológico e de integração do projeto e os custos associados à sua evolução.

Tabela 5.8 – Valores calculados pelo algoritmo desenvolvido na pesquisa.

Aumento percentual (%)	CTE 1	CTE 2	CTE 3	CTE 4	CTE 5	CTE 6	CIE1, 2	CIE1, 3	CIE2, 3	CIE2, 4	CIE3, 5	CIE4, 5	CIE5, 6	SRL Alvo	SRL Calculado	Custo (x \$1000)	Tempo (horas)
0	8	8	7	6	6	6	5	6	6	5	6	2	2	0.503	0.503	0	0
20	8	8	7	6	9	6	7	7	7	6	6	2	4	0.602	0.605	2329	1626
40	8	9	8	6	9	9	8	8	7	6	6	3	4	0.702	0.702	6328	3970
60	8	9	9	6	9	9	8	8	9	7	8	4	6	0.801	0.802	11280	7651
80	9	9	9	8	9	9	9	9	8	8	8	5	8	0.901	0.901	17341	11841
100	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	26574	19122

Baseado em Magnaye et al. (2010).

Fonte: Produção do autor.

Tabela 5.9 - Inclusão do cronograma de demonstração de maturidade para todos os requisitos.

Identificador do Requisito	Texto do Requisito	Elemento Tecnológico / Integração Crítico	Método de Validação	Via de Validação	Procedimento de Validação	Método de Verificação	Via de Verificação	Procedimento de Verificação	Nível de maturidade atual do requisito	Pacote de trabalho de maturidade	Cronograma (Ano)
REQ-1	Redação do requisito REQ-1.	CTE1	Rastreabilidade Simulação	Software de Simulação	TP-100	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000	TRL 1	TRL4; TRL7; TRL8; TRL9	2 (TRL4) 4 (TRL7) 5 (TRL8) 6 (TRL9)
REQ-2	Redação do requisito REQ-2.	CTE1	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000	TRL7	TRL8	5 (TRL8)
REQ-3	Redação do requisito REQ-3.	CTE2	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	TP-101	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000	TRL 4	TRL5; TRL6; TRL7; TRL8; TRL9	2 (TRL5) 3 (TRL6) 4 (TRL7) 5 (TRL8) 6 (TRL9)
REQ-4	Redação do requisito REQ-4.	CTE3	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1001	TRL 1	TRL2; TRL3; TRL4; TRL7; TRL9	1 (TRL2, TRL3) 2 (TRL4) 4 (TRL7) 6 (TRL9)
REQ-5	Redação do requisito REQ-5.	CTE4	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	TP-102	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1002	TRL 1	TRL2; TRL3; TRL4; TRL7; TRL9	1 (TRL2, TRL3) 2 (TRL4) 4 (TRL7) 6 (TRL9)
REQ-6	Redação do requisito REQ-6.	CTE1; CTE2; CTE3; CTE4	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1002	TRL 4	TRL5; TRL6; TRL7; TRL8; TRL9	2 (TRL5) 3 (TRL6) 4 (TRL7) 5 (TRL8) 6 (TRL9)
REQ-7	Redação do requisito REQ-7.	CIE1,2	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	ITP-100	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1000	IRL2	IRL3; IRL4; IRL5; IRL6; IRL8	1 (IRL3) 2 (IRL4, IRL5) 3 (IRL6) 5 (IRL8)
REQ-8	Redação do requisito REQ-8.	CIE1,3	Rastreabilidade Teste	Modelo Elétrico Simplificado	ITP-101	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1001	IRL0	IRL2; IRL3; IRL4; IRL5; IRL7; IRL9	1 (IRL2, IRL3) 2 (IRL4, IRL5) 4 (IRL7) 6 (IRL9)
REQ-9	Redação do requisito REQ-9.	CIE3,4	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1002	IRL0	IRL2; IRL3; IRL4; IRL5; IRL7; IRL9	1 (IRL2, IRL3) 2 (IRL4, IRL5) 4 (IRL7) 6 (IRL9)
REQ-10	Redação do requisito REQ-10.	CIE1,2; CIE3,4	Rastreabilidade	N/A	N/A	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1003	IRL2	IRL3; IRL4; IRL5; IRL6; IRL8	1 (IRL3) 2 (IRL4, IRL5) 3 (IRL6) 5 (IRL8)

Fonte: Produção do autor.

A etapa da abordagem ROERM apresentada na Seção 5.2.4 foi criada para solucionar o problema levantado em relação à discussão apresentada na Seção 5.1.2 referente à complexidade de um algoritmo de otimização evolucionária probabilístico, e fornece uma solução alternativa que permite calcular a solução de evolução de maturidade otimizada de forma determinística.

A etapa da abordagem ROERM apresentada na Seção 5.2.5 visa solucionar o problema levantado na Seção 5.1.3 em relação à falta de clareza sobre o que se avaliar para avançar a maturidade e o que se avaliar ou rastrear para subsidiar informações de cálculo dos índices BCRA e ACRA definidos na

abordagem ERM. A estruturação do artefato baseada em matrizes de validação e verificação de requisitos permitiu correlacionar, de forma direta, os resultados de evolução obtidos pelo algoritmo com a emissão de documentos de validação e verificação de requisitos que evidenciam o atingimento dos níveis de maturidade.

## **6 DEMONSTRAÇÃO**

Contemplando a etapa de demonstração da DSRM (PEFFERS et al., 2007), um estudo de caso teórico foi concebido para simular a execução da abordagem ROERM. A Seção 6.1 apresenta as informações sobre o sistema utilizado na simulação de execução do artefato, seguido da Seção 6.2, que apresenta a simulação de execução do artefato em si.

O subsistema teórico contém elementos de desenvolvimentos de produtos reais como: reuso de componentes, estruturas de matrizes de validação e verificação de requisitos e uma base de requisitos simplificada com o texto de cada requisito.

Dessa forma, utilizou-se a simulação de execução da abordagem ROERM a partir desse subsistema teórico para estabelecer uma sequência de fatos e contextos de maneira a permitir que os avaliadores pudessem formar senso crítico em relação às perguntas contidas nos questionários de avaliação, conforme proposto na DSRM.

### **6.1 Informações sobre o sistema utilizado na simulação**

Um exemplo teórico de um subsistema de integração entre a bateria e o painel solar de um satélite em desenvolvimento denominado ELT1 será completamente representado por um simples conjunto de nove requisitos dos subsistemas associados, conforme exibido na Tabela 6.1, e demonstrará como operar a abordagem ROERM. Conforme apresentado na Figura 6.1, o subsistema ELT1 consiste de duas tecnologias e uma integração entre essas tecnologias. Embora os níveis atuais de maturidade ainda não tenham sido determinados (representados por pontos de interrogação), um aumento de 80% no SRL remanescente do sistema, durante um cronograma pré-definido de 8 anos, foi estabelecido como objetivo.

Os níveis de TRL e IRL atuais ainda precisam ser determinados executando-se a abordagem ROERM. Os elementos CTE1, CTE2 e CIE1,2 consistem, respectivamente, no subsistema da Bateria, no subsistema Painel Solar e na integração entre os subsistemas Bateria e Painel Solar.

Figura 6.1 - Diagrama conceitual do subsistema ELT1: CTE1 – Elemento Crítico Tecnológico 1 (Bateria); CTE2 - Elemento Crítico Tecnológico 2 (Painel Solar); CIE1,2 – Elemento Crítico de Integração 1,2 (Integração Bateria / Painel Solar).



Fonte: Produção do autor.

Tabela 6.1 – Conjunto de requisitos do sistema ELT1.

Identificador do Requisito	Texto do Requisito
ELT-1	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de carga do banco de baterias.
ELT-2	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de descarga do banco de baterias.
ELT-3	O subsistema da bateria deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.
ELT-4	O subsistema do painel solar deve ser capaz de girar o painel em até 90 graus.
ELT-5	O subsistema do painel solar deve ser capaz de buscar automaticamente por uma mínima eficiência solar de 90% quando comparado à máxima eficiência calculada.
ELT-6	O subsistema do painel solar deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.
ELT-7	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar é detectado em uma condição de falha através do protocolo de comunicação 1.
ELT-8	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar está em estado rotativo através do protocolo de comunicação 2.
ELT-9	O subsistema da bateria deve fornecer uma mensagem de "falha ao carregar" para o subsistema do painel solar através do protocolo de comunicação 2.

Fonte: Produção do autor.

Para o subsistema da bateria, o controlador de carga e descarga do componente bateria será reutilizado de um projeto anterior que já foi demonstrado em nível operacional, porém um novo algoritmo de controle de carga e descarga será implementado no projeto atual. O mesmo cenário se aplica ao controlador do painel solar que também será reutilizado de um projeto anterior, porém com um novo algoritmo de controle do painel.

## 6.2 Simulação de execução do método ROERM

A título de simulação de execução do artefato proposto, cada etapa da abordagem ROERM será executada, conforme apresentado na Figura 5.2, para o subsistema ELT1. A execução do primeiro passo “alocar requisitos a CTEs e CIEs” para o conjunto de requisitos aplicáveis ao subsistema ELT1 resulta na alocação abaixo do atributo "Elemento Tecnológico / Integração Crítico", apresentada na Tabela 6.2. Verificando-se a redação dos requisitos, a conclusão para este conjunto simplificado de requisitos é coerente: requisitos que descrevem aspectos contidos em seus respectivos subsistemas foram alocados aos seus CTEs aplicáveis e requisitos com aspectos de integração entre os elementos foram alocados ao CIE1,2.

Tabela 6.2 - Alocação de requisitos ELT1 a CTEs / CIE.

Identificador do Requisito	Texto do Requisito	Elemento Tecnológico / Integração Crítico
ELT-1	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de carga do banco de baterias.	CTE1
ELT-2	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de descarga do banco de baterias.	CTE1
ELT-3	O subsistema da bateria deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.	CTE1
ELT-4	O subsistema do painel solar deve ser capaz de girar o painel em até 90 graus.	CTE2
ELT-5	O subsistema do painel solar deve ser capaz de buscar automaticamente por uma mínima eficiência solar de 90% quando comparado à máxima eficiência calculada.	CTE2
ELT-6	O subsistema do painel solar deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.	CTE2
ELT-7	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar é detectado em uma condição de falha através do protocolo de comunicação 1.	CIE1,2
ELT-8	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar está em estado rotativo através do protocolo de comunicação 2.	CIE1,2
ELT-9	O subsistema da bateria deve fornecer uma mensagem de “falha ao carregar” para o subsistema do painel solar através do protocolo de comunicação 2.	CIE1,2

Fonte: Produção do autor.

Prosseguindo-se para a próxima etapa da abordagem ROERM, cada um dos nove requisitos do subsistema ELT1 será alocado para o nível de maturidade aplicável no projeto atual. A avaliação dos relatórios de evidências contidas dos atributos “Método de Verificação”, “Via de Verificação” e “Procedimento de Verificação” resultou na alocação de maturidade contida nos novos atributos propostos pela abordagem ROERM “Nível Atual de Maturidade” e “Pacote de trabalho de maturidade”, apresentado na Tabela 6.3. A definição atual do nível de maturidade de cada requisito pode ser justificada pela avaliação da



aplicabilidade das atividades e esforços progressos de validação e verificação ao subsistema ELT1. Para o subsistema da bateria, nota-se que o requisito identificado como ELT-3 teve, ao se considerar a solução tecnológica que irá cumpri-lo, seu nível de maturidade avaliado como TRL9. Uma justificativa plausível é a reutilização do subsistema da bateria com prévia demonstração das requeridas características mecânicas na plataforma anterior e também aplicáveis ao subsistema ELT1. Os requisitos identificados como ELT-1 e ELT-2 foram avaliados com um menor nível de maturidade TRL7 e o motivo é o novo *software* de controle de carga e descarga de bateria, o que não altera aspectos mecânicos do subsistema, mas exige esforços de verificação com novos ou modificados procedimentos de testes e análises de subsistema / *software* a serem registrados nos documentos TP-1000 e AR-1000. De forma semelhante, o subsistema de painéis solares teve o nível atual de maturidade dos requisitos identificados como ELT-4 e ELT-6 avaliado como TRL9. Novamente, justifica-se a avaliação devido à reutilização do projeto mecânico de uma plataforma previamente operada, isentando quaisquer esforços de verificações mecânicas relacionadas. Por outro lado, a maturidade atual do requisito identificado como ELT-5 foi avaliada com nível TRL6 e o motivo, assim como ocorrido com os requisitos ELT-1 e ELT-2, é o novo *software* de controle de eficiência, o que não afeta mecanicamente o projeto do CTE2 (painel solar), mas exigirá novos ou modificados procedimentos de testes e análises de subsistema / *software* a serem capturados nos documentos TP-1002 e AR-1001.

Por fim, o requisito identificado como ELT-7 foi avaliado com um nível de maturidade IRL7, devido a prévias atividades de verificação do "protocolo de barramento de comunicação 1", enquanto os requisitos identificados como ELT-8 e ELT-9 foram avaliados com um nível de maturidade IRL5, e a justificativa é o fato do "protocolo de barramento de comunicação 2" não ter sido testado/analísado para demonstrar o mesmo nível de maturidade quando comparado ao "protocolo de barramento de comunicação 1". Nota-se, ao se comparar a Tabela 5.3 com a Tabela 6.3, que apenas atividades de verificação

de requisitos foram listadas para avançar a maturidade do sistema do ELT1 e o motivo é a simplificação do estudo de caso.

Tabela 6.3 - Módulo de requisitos ilustrativo do ELT1 com alocação de CTE / CIE, "Nível atual de maturidade" e "Pacote de trabalho de maturidade".

Identificador do Requisito	Texto do Requisito	Elemento Tecnológico / Integração Crítico	Método de Verificação	Via de Verificação	Procedimento de Verificação	Nível de maturidade atual do requisito	Pacote de trabalho de maturidade
ELT-1	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de carga do banco de baterias.	CTE1	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000 AR-1000	TRL7	TRL8, TRL9
ELT-2	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de descarga do banco de baterias.	CTE1	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000 AR-1000	TRL7	TRL8, TRL9
ELT-3	O subsistema da bateria deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.	CTE1	Teste Análise	Modelo Elétrico	AR-1000	TRL9	N/A
ELT-4	O subsistema do painel solar deve ser capaz de girar o painel em até 90 graus.	CTE2	Teste Análise	Modelo Elétrico	AR-1001	TRL9	N/A
ELT-5	O subsistema do painel solar deve ser capaz de buscar automaticamente por uma mínima eficiência solar de 90% quando comparado à máxima eficiência calculada.	CTE2	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1002 AR-1001	TRL6	TRL7, TRL8, TRL9
ELT-6	O subsistema do painel solar deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.	CTE2	Teste Análise	Modelo Elétrico	AR-1001	TRL9	N/A
ELT-7	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar é detectado em uma condição de falha através do protocolo de comunicação 1.	CIE1,2	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1000 IAR-1000	IRL7	IRL8, IRL9
ELT-8	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar está em estado rotativo através do protocolo de comunicação 2.	CIE1,2	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1001 IAR-1001	IRL5	IRL6, IRL7
ELT-9	O subsistema da bateria deve fornecer uma mensagem de "falha ao carregar" para o subsistema do painel solar através do protocolo de comunicação 2.	CIE1,2	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1001 IAR-1001	IRL5	IRL6, IRL7

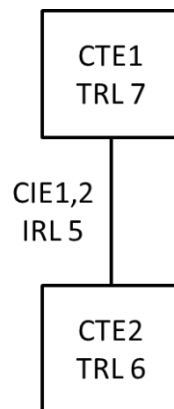
Fonte: Produção do autor.

Propôs-se que as atividades de verificação sejam necessárias para demonstrar níveis mais altos de maturidade da solução tecnológica de acordo com a alocação de cada requisito, conforme os níveis de maturidade listados no atributo "Pacote de trabalho de maturidade". Várias razões podem justificar os níveis de maturidade alocados a esse atributo. Pode-se questionar, por exemplo, por que os requisitos identificados como ELT-8 e ELT-9 não serão demonstrados nos níveis 8 e 9 da escala IRL? Justifica-se esse cenário devido à transmissão de dados não críticos no "protocolo de barramento de comunicações 2", ou seja, dados nos quais os sistemas não utilizam para

alterar comportamentos ou modos de operação. Enquanto isso, o requisito identificado como ELT-7, que contém em seu texto o "protocolo de barramento de comunicações 1", e que, neste exemplo teórico, é um protocolo de dados em que trafegam informações críticas para a operação do sistema ELT1, leva a estabelecer que sua verificação deva demonstrar níveis mais altos de maturidade de integração, ou seja, IRL8 e IRL9.

Usando a regra do elo mais fraco (OLECHOWSKI et al., 2020) de combinação de maturidade atual do CTE/CIE descrita na Seção 5.2.2, os TRLs e IRL do subsistema ELT1, anteriormente representados como pontos de interrogação, podem ser atualizados, conforme apresentado na Figura 6.2.

Figura 6.2 - Níveis de maturidade atualizados para o subsistema ELT1.



Fonte: Produção do autor.

Passando-se para a terceira etapa da abordagem ROERM, avaliam-se todas as atividades de verificação aplicáveis ao subsistema ELT1, ou seja, testes e análises necessários para demonstrar cada nível de maturidade conforme definido no atributo "Pacote de trabalho de maturidade". Os custos financeiros e horas de trabalho estimadas para cada uma dessas demonstrações são apresentados na Tabela 6.4 (evolução de TRL) e na Tabela 6.5 (evolução de IRL), ambas apresentando uma tabela dividida em dois estágios e que destacam a transição da alocação ilustrativa de identificadores de requisito a níveis de maturidade, conforme descrito na Seção 5.2.3, para, de fato, as estimativas de custos financeiros (em unidades monetárias) e horas de

trabalho (em horas) necessárias para verificar os requisitos em seus níveis de maturidade aplicáveis.

Tabela 6.4 - Custo financeiro incremental estimado (× 1000) e horas de trabalho (× E5) para cada aumento da maturidade da tecnologia independente.

Alocação de identificadores de requisitos ilustrativa					Alocação compilada de custos financeiros e horas de trabalho				
TRL	CTE1		CTE2		TRL	CTE1		CTE2	
Nível de esforço tecnológico	Custo Financeiro	Horas de trabalho	Custo Financeiro	Horas de trabalho	Nível de esforço tecnológico	Custo Financeiro	Horas de trabalho	Custo Financeiro	Horas de trabalho
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7			ELT-5	ELT-5	7			\$100	5
8	ELT-1 ELT-2	ELT-1 ELT-2	ELT-5	ELT-5	8	\$100	10	\$200	20
9	ELT-1 ELT-2	ELT-1 ELT-2	ELT-5	ELT-5	9	\$200	30	\$250	10

Fonte: Produção do autor.

Tabela 6.5 - Custo financeiro incremental estimado (× 1000) e horas de trabalho (× E5) para cada aumento da maturidade de integração.

Alocação de identificadores de requisitos ilustrativa			Alocação compilada de custos financeiros e horas de trabalho		
IRL	CIE1,2		IRL	CIE1,2	
Nível de esforço de integração	Custo Financeiro	Horas de trabalho	Nível de esforço de integração	Custo Financeiro	Horas de trabalho
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
5			5		
6	ELT-8 ELT-9	ELT-8 ELT-9	6	\$45	8
7	ELT-8 ELT-9	ELT-8 ELT-9	7	\$50	10
8	ELT-7	ELT-7	8	\$75	15
9	ELT-7	ELT-7	9	\$100	20

Fonte: Produção do autor.

Exemplos de compartilhamento de recursos entre as demonstrações de maturidade dos elementos tecnológicos ou de integração (mais de um requisito alocado para um mesmo nível de maturidade) podem ser observados e evitam citações duplicadas, conforme discutido na Seção 5.2.3. Os requisitos

identificados como ELT-1 e ELT-2 compartilham os mesmos procedimentos de teste de verificação e documento de análise. A estimativa de \$100.000,00 para aumentar a maturidade do CTE1 (bateria) de TRL7 para TRL8 por meio da execução do procedimento de teste, identificado como TP-1000, e relatório de análise, identificado como AR-1000, deve contemplar criação dos relatórios, criação e operação do modelo a ser testado, custos do local de teste, execução do teste, entre outros. Considera-se que as demonstrações dos níveis de maturidade de ambos os requisitos serão realizadas utilizando as mesmas evidências documentais.

A mesma condição ocorre para os requisitos com identificadores ELT-8 e ELT-9, ambos possuindo os mesmos procedimentos de teste e relatório de análise e que compartilharão custos financeiros e horas de trabalho para demonstração de seus níveis de maturidade alocados.

Nota-se que, embora o subsistema ELT1 considere apenas atividades de verificação de requisitos, as atividades e evidências de validação de requisitos também devem ser incluídas como parte do custo financeiro e horas de trabalho em um desenvolvimento real, conforme aplicável. Uma correlação de validação e verificação com os níveis de maturidade foi proposta na Tabela 5.1.

As estimativas de custos financeiros e horas de trabalho permitem executar a quarta etapa da abordagem ROERM, que consiste em calcular os SRLs, custos financeiros e horas de trabalho totais associados a todas as possíveis evoluções de TRL e IRL. Para o subsistema ELT1, o cálculo de todas as soluções leva aos resultados contidos na Tabela 6.6 que possui um filtro “do menor ao maior” aplicado aos valores de SRL.

Notadamente, existem 60 soluções de evolução possíveis e esse número pode ser calculado multiplicando-se o número de opções de evolução de maturidade para cada CTE ou CIE presente no projeto. As opções de evolução de maturidade do CTE1 são: nenhuma, TRL8 ou TRL9, portanto, três opções de evolução. Para o CTE2 as opções são: nenhuma, TRL7, TRL8 ou TRL9, portanto, quatro opções de evolução. Para o CIE1,2 as opções são: nenhuma, IRL6, IRL7, IRL8 ou IRL9, portanto, cinco opções de evolução. Ao se multiplicar

todas essas opções de evolução pelo operador produtivo, conforme apresentado na Seção 5.2.4, o resultado final é listado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - SRLs computados, custos financeiros totais e horas totais de mão-de-obra para a maturidade atual e todas as possíveis evoluções da maturidade.

Solução de evolução de maturidade	CTE1	CTE2	CIE1,2	SRL	Custo Financeiro (x\$1000)	Horas de trabalho (xE5 hours)
N/A	7	6	5	0.561728	0	0
1	7	6	6	0.601852	45	8
2	7	7	5	0.604938	100	5
3	8	6	5	0.604938	100	10
4	7	6	7	0.641975	95	18
5	7	8	5	0.648148	300	25
6	9	6	5	0.648148	300	40
7	8	7	5	0.648148	200	15
8	7	7	6	0.648148	145	13
9	8	6	6	0.648148	145	18
10	7	6	8	0.682099	170	33
11	7	9	5	0.691358	550	35
12	8	8	5	0.691358	400	35
13	9	7	5	0.691358	400	45
14	7	7	7	0.691358	195	23
15	8	6	7	0.691358	195	28
16	8	7	6	0.694444	245	23
17	7	8	6	0.694444	345	33
18	9	6	6	0.694444	345	48
19	7	6	9	0.722222	270	53
20	8	9	5	0.734568	650	45
21	9	8	5	0.734568	600	65
22	8	6	8	0.734568	270	43
23	7	7	8	0.734568	270	38
24	8	7	7	0.740741	295	33
25	7	9	6	0.740741	595	43
26	7	8	7	0.740741	395	43
27	8	8	6	0.740741	445	43
28	9	7	6	0.740741	445	53
29	9	6	7	0.740741	395	58
30	9	9	5	0.777778	850	75
31	9	9	5	0.777778	850	75
32	7	7	9	0.777778	370	58
33	8	6	9	0.777778	370	63
34	7	8	8	0.787037	470	58
35	9	6	8	0.787037	470	73
36	9	8	6	0.787037	645	73
37	8	9	6	0.787037	695	53
38	8	7	8	0.787037	370	48
39	7	9	7	0.790123	645	53
40	8	8	7	0.790123	495	53
41	9	7	7	0.790123	495	63
42	7	8	9	0.833333	570	78
43	9	9	6	0.833333	895	83
44	9	6	9	0.833333	570	93
45	8	7	9	0.833333	470	68
46	7	9	8	0.839506	720	68
47	8	8	8	0.839506	570	68
48	9	7	8	0.839506	570	78
49	9	8	7	0.839506	695	83
50	8	9	7	0.839506	745	63
51	7	9	9	0.888889	820	88
52	8	8	9	0.888889	670	88
53	9	7	9	0.888889	670	98
54	9	9	7	0.888889	945	93
55	9	8	8	0.891975	770	98
56	8	9	8	0.891975	820	78
57	8	9	9	0.944444	920	98
58	9	8	9	0.944444	870	118
59	9	9	8	0.944444	1020	108
60	9	9	9	1	1120	128

Fonte: Produção do autor.

Considerando a meta estabelecida de aumento de 80% do SRL remanescente do subsistema ELT1 em um cronograma de 8 anos, considerar-se-á um

aumento de 10% de SRL por ano. Essa condição restringirá o grupo de soluções que atingem os valores mínimos de SLR necessários para cada ano, ou seja, quais opções de evolução de maturidade podem ser consideradas como uma solução para um determinado ano do desenvolvimento. O interesse está nas soluções que atendem ao critério de SRL esperado para o ano com o menor custo financeiro. As soluções de evolução de maturidade que possuem SRLs superiores ao SRL mínimo exigido para um determinado ano e menor custo financeiro levam ao conjunto de soluções de evolução de TRL/IRL apresentado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 - Soluções de evolução da maturidade para cada ano de desenvolvimento com métricas associadas.

Ano	Aumento de SRL	CTE1	CTE2	CIE1,2	SRL mínimo para o ano	SRL Calculado	Custo financeiro linear (x\$1000)	Custo financeiro calculado (x\$1000)	Horas de trabalho linear (xE5 horas)	Horas de trabalho calculada (xE5 horas)
8	80%	9	8	9	0.912346	0.944444444	896	870	102.4	118
7	70%	9	7	9	0.868519	0.888888889	784	670	89.6	98
6	60%	8	7	9	0.824691	0.833333333	672	470	76.8	68
5	50%	8	7	8	0.780864	0.787037037	560	370	64	48
4	40%	8	7	7	0.737037	0.740740741	448	295	51.2	33
3	30%	8	7	6	0.69321	0.694444444	336	245	38.4	23
2	20%	7	6	8	0.649383	0.682098765	224	170	25.6	33
1	10%	7	6	7	0.605556	0.641975309	112	95	12.8	18
0	N.A.	7	6	5	0.56	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Fonte: Produção do autor.

Percebe-se que existe um conflito entre as soluções de 20% (ano 2) e 30% (ano 3) de evolução de SRL uma vez que ter-se-ia evoluído o IRL do CIE1,2 do nível 5 para 8 nos anos 1 e 2 e a solução otimizada do ano 3 propõe um IRL menor de nível 6. Esse tipo de situação adversa não é discutida em Magnaye et al. (2014), mas é possível, uma vez que o atendimento a aumentos percentuais de SRL são isoladamente calculados. Para solucionar essa situação, seguiu-se o critério de priorizar as soluções do ano 3 em seguinte, devido à consistente evolução de níveis TRL e IRL, ou seja, além de otimizadas não apresentam, em nenhum dos casos, uma regressão de maturidade em relação ao ano anterior. Dessa forma, optou-se por escolher soluções otimizadas da Tabela 6.7 para os anos 1 e 2 que são, ao mesmo

tempo, compatíveis com a solução do ano 3. Em outras palavras, escolheu-se as melhores soluções otimizadas em termos de custo que atendem ao critério de aumento percentual de SRL mínimo de 10% e 20%, respectivamente, porém respeitando a restrição de possuírem valores de TRL e IRL iguais ou inferiores aos valores do ano 3 para cada elemento. A Tabela 6.8 apresenta este ajuste, porém, para o ano 2, não existem soluções que respeitem todos os critérios mencionados. Nesse caso, pode-se estipular que todo o trabalho do ano 2 será focado em se obter as maturidades propostas para o ano 3 e, até mesmo, estabelecer-se o desafio de se obter os níveis de maturidade previstos para o ano 3 no ano 2 ou em algum momento intermediário entre esses anos.

Tabela 6.8 – Atualização das soluções de evolução da maturidade para ano 1 e 2 de desenvolvimento.

Ano	Aumento de SRL	CTE1	CTE2	CIE1,2	SRL mínimo para o ano	SRL Calculado	Custo financeiro linear (x\$1000)	Custo financeiro calculado (x\$1000)	Horas de trabalho linear (xE5 horas)	Horas de trabalho calculada (xE5 horas)
8	80%	9	8	9	0.912346	0.944444444	896	870	102.4	118
7	70%	9	7	9	0.868519	0.888888889	784	670	89.6	98
6	60%	8	7	9	0.824691	0.833333333	672	470	76.8	68
5	50%	8	7	8	0.780864	0.787037037	560	370	64	48
4	40%	8	7	7	0.737037	0.740740741	448	295	51.2	33
3	30%	8	7	6	0.69321	0.694444444	336	245	38.4	23
2	20%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	10%	7	7	6	0.605556	0.641975309	112	145	12.8	13
0	N.A.	7	6	5	0.56	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Fonte: Produção do autor.

A Tabela 6.9 resume o cronograma de evolução otimizada de maturidade com uma evolução esperada de maturidade TRL e IRL ano a ano, destacada na cor cinza. Com o cronograma de desenvolvimento otimizado, pode-se executar a quinta e última etapa da abordagem ROERM, que consiste em recuperar as maturidades destacadas na cor cinza e seus respectivos anos de atingimento apresentados na Tabela 6.9 e incluir os detalhes do cronograma em um atributo "Cronograma (Ano)" que capturará em que ano do desenvolvimento cada demonstração de maturidade, conforme definida pelo atributo "Pacote de trabalho de maturidade", deverá ocorrer por meio das atividades de verificação de requisitos, conforme demonstrado na Tabela 6.10.



Tabela 6.9 – Plano resumido de evolução otimizada de maturidade.

Ano	CTE1	CTE2	CIE1,2
8	9	8	9
7	9	7	9
6	8	7	9
5	8	7	8
4	8	7	7
3	8	7	6
2	-	-	-
1	7	7	6
0	7	6	5

Fonte: Produção do autor.

Para o exemplo apresentado, percebe-se que a solução do ano 6 possui IRL9 enquanto os TRLs do CTE1 e 2 estão abaixo de 9, respectivamente em 8 e 7. Essa situação não aparenta representar uma inconsistência, pois apenas explicita que os aspectos de integração entre os dois CTEs demonstraram a maturidade máxima antes que os aspectos isolados das tecnologias fossem demonstrados no nível 9. Tudo dependerá da estratégia em termos de atividades necessárias para demonstrar as maturidades tecnológicas e de integração.

Tabela 6.10 - Inclusão do atributo “Cronograma (Ano)” na matriz de verificação do subsistema ELT1.

Identificador do Requisito	Texto do Requisito	Elemento Tecnológico / Integração Crítico	Método de Verificação	Via de Verificação	Procedimento de Verificação	Nível de maturidade atual do requisito	Pacote de trabalho de maturidade	Cronograma (Ano)
ELT-1	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de carga do banco de baterias.	CTE1	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000 AR-1000	TRL7	TRL8, TRL9	3 (TRL8) 7 (TRL9)
ELT-2	O subsistema da bateria deve controlar os níveis de descarga do banco de baterias.	CTE1	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1000 AR-1000	TRL7	TRL8, TRL9	3 (TRL8) 7 (TRL9)
ELT-3	O subsistema da bateria deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.	CTE1	Teste Análise	Modelo Elétrico	AR-1000	TRL9	N/A	3 (Nota 1)
ELT-4	O subsistema do painel solar deve ser capaz de girar o painel em até 90 graus.	CTE2	Teste Análise	Modelo Elétrico	AR-1001	TRL9	N/A	3 (Nota 1)
ELT-5	O subsistema do painel solar deve ser capaz de buscar automaticamente por uma mínima eficiência solar de 90% quando comparado à máxima eficiência calculada.	CTE2	Teste Análise	Modelo Elétrico	TP-1002 AR-1001	TRL6	TRL7, TRL8, TRL9	1 (TRL7) 8 (TRL8) Pós 8 (TRL9)
ELT-6	O subsistema do painel solar deve suportar níveis de vibrações mecânicas conforme categoria XYZ.	CTE2	Teste Análise	Modelo Elétrico	AR-1001	TRL9	N/A	1 (Nota 1)
ELT-7	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar é detectado em uma condição de falha através do protocolo de comunicação 1.	CIE1,2	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1000 IAR-1000	IRL7	IRL8, IRL9	5 (IRL8) 6 (IRL9)
ELT-8	O subsistema do painel solar deve fornecer uma mensagem ao subsistema da bateria quando o painel solar está em estado rotativo através do protocolo de comunicação 2.	CIE1,2	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1001 IAR-1001	IRL5	IRL6, IRL7	1 (IRL6) 4 (IRL7)
ELT-9	O subsistema da bateria deve fornecer uma mensagem de “falha ao carregar” para o subsistema do painel solar através do protocolo de comunicação 2.	CIE1,2	Teste Análise	Modelo Elétrico	ITP-1001 IAR-1001	IRL5	IRL6, IRL7	1 (IRL6) 4 (IRL7)

Nota 1: Não há desafios de demonstração de maturidade associados a esses requisitos; portanto, uma declaração atestando que sua verificação foi concluída em projetos anteriores foi agendada para ser fornecida na primeira emissão dos relatórios de verificação aplicáveis.

Fonte: Produção do autor.

## 7 AVALIAÇÃO

Conforme descrito na Seção 4, dividiu-se os entrevistados em dois grupos focais: exploratório e confirmatório. Baseado nas áreas de atuação dos entrevistados em suas instituições/corporações, classificou-se os entrevistados nas seguintes funções de projeto: desenvolvimento de sistemas, certificação do produto, garantia de produto, desenvolvimento tecnológico, gerenciamento de projetos e qualidade do produto.

A função “desenvolvimento de sistemas” foi alocada ao grupo focal exploratório por estar diretamente envolvida com o gerenciamento das bases de requisitos e das matrizes de validação e verificação do seu respectivo subsistema, portanto sendo uma função em que os profissionais alocados possuem boa ciência dos conceitos relevantes do artefato e podem opinar, diretamente, como usuários dos processos de avaliação de maturidade propostos.

A funções “desenvolvimento tecnológico” e “certificação do produto” tiveram, cada uma, um membro alocado ao grupo focal exploratório e outro ao grupo focal confirmatório. Optou-se por essa separação devido à diferente atuação dos especialistas alocados a essa função nas suas instituições de origem. Independentemente, por estarem diretamente envolvidos com avaliações de maturidade tecnológica, ambos podem oferecer comentários relevantes sobre as avaliações de maturidade por intermédio de requisitos de projeto, conforme proposto no artefato ROERM.

A função “gerenciamento de projetos” foi alocada ao grupo focal exploratório por estar diretamente envolvida com o planejamento de atividades, estimativas de custos tecnológicos, avaliação e rastreamento de progresso, bem como cumprimento de metas de projeto, podendo opinar diretamente sobre a concepção estrutural da abordagem ERM e sua proposta de evolução para a abordagem ROERM.

As funções “garantia de produto”, “qualidade de produto foram alocadas ao grupo focal confirmatório, pois não se identificou correlação direta entre as atividades desenvolvidas por esses grupos com os elementos abordados nos artefatos. Porém, como o resultado produzido pelo uso da abordagem ERM e,

conseqüentemente, de sua evolução para a abordagem ROERM, direcionam o planejamento do desenvolvimento do projeto, esses grupos também são diretamente afetados por sua execução. Portanto, considerou-se relevante a coleta de opiniões provenientes de especialistas que executam essas funções em suas instituições.

São apresentados, nessa seção, os resultados das avaliações da demonstração do artefato para os especialistas consultados. Os dados foram coletados por intermédio de um questionário após a realização das apresentações com o grupo focal exploratório e confirmatório. A apresentação dos dados foi dividida em três subseções: avaliação da abordagem ERM, avaliação da abordagem ROERM e comentários gerais sobre a pesquisa. Todas as informações foram extraídas do Apêndice B, que compila as respostas aos questionários fornecidas pelos participantes.

Após a realização das apresentações, foi identificada uma inconsistência na seleção das soluções otimizadas para a simulação de execução da abordagem ROERM devido a uma referência errônea no algoritmo. Portanto, os valores de TRL e IRL para cada ano do subsistema teórico ELT1 apresentados no slide 47 da apresentação da Figura B.2 não estão corretos. Essa inconsistência se propaga para o slide 49, presente na mesma apresentação, pois este compila a extração dos dados de evolução de maturidade de cada ano para alocar os cronogramas de emissão dos relatórios que garantem o atingimento de um determinado nível de maturidade. Concluiu-se que essa deficiência não penaliza em nenhum aspecto a validade dos questionários de avaliação da utilização da abordagem ROERM e mantém todos os comentários dos entrevistados válidos para discussão, uma vez que o detalhamento das soluções não é questionado e não altera a percepção geral de como executar o artefato. A inconsistência foi corrigida e os valores apresentados na demonstração executada na Seção 6 foram atualizados e estão em acordo com os critérios de busca pela solução otimizada de evolução de maturidade para um determinado aumento percentual de SRL. Vislumbra-se que a compilação dos resultados dos questionários a serem respondidos pelos especialistas e pessoas envolvidas diretamente com o desenvolvimento de

sistemas complexos aeroespaciais auxiliie a compreender sobre a receptividade de profissionais da indústria aeroespacial à abordagem conceitual ERM desenvolvida por Magnaye et al. (2014) e a evolução para a abordagem ROERM, proposta neste trabalho de pesquisa.

### **7.1 Avaliação do método ERM**

Questionados sobre a utilidade da abordagem ERM em desenvolvimento de sistemas complexos, todos os respondentes a consideraram útil para o gerenciamento de desenvolvimento de produtos complexos, com exceção de um entrevistado.

Questionados sobre a eficácia de se gerenciar o indicador de performance maturidade em oposição a se gerenciar, puramente, as atividades de trabalho previstas para o desenvolvimento conforme abordado em Magnaye et al. (2014), a maioria dos respondentes consideraram, em uma escala de 1 a 5, que há ganho em se gerenciar a maturidade agregada de um produto complexo. As avaliações do grupo focal exploratório resultaram em média 4.14. As avaliações do grupo focal confirmatório resultaram em média 3.71.

Questionados se, como apresentada, a abordagem ERM aparenta gerenciar a maturidade de um sistema complexo, todos os respondentes concederam respostas positivas, com exceção de um entrevistado. Questionados se o uso da abordagem ERM é factível no desenvolvimento de sistemas complexos na sua instituição/corporação, todos os respondentes concederam respostas positivas, com exceção de um entrevistado. Questionados sobre as dificuldades para se utilizar a abordagem ERM em futuros projetos de sua instituição/corporação, a Tabela 7.1 compila as respostas concedidas pelos entrevistados. As respostas estão separadas de acordo com as funções dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Questionados sobre lacunas, falhas ou possíveis melhorias evidentes na utilização da abordagem ERM, a Tabela 7.2 apresenta a compilação de respostas concedidas pelos entrevistados. Manteve-se a mesma separação de acordo com as funções dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Tabela 7.1 – Dificuldades de utilização da abordagem ERM em futuros projetos de sua instituição/corporação.

Função	Resposta
Desenvolvimento de sistemas	<p>1. Mudar as atuais "formas consagradas" de gerenciamento.                      2. Avaliar o projeto e produto como um todo, logo em seu início.                      3. Como atualizar/modificar o esqueleto do projeto feito, inicialmente, baseado em novas informações de projeto coletadas ao longo da sua execução.</p>
	<p>Essa abordagem exige um investimento em tempo e recursos para se estruturar no início do projeto. Algumas empresas tem assumido abordagens que priorizam a agilidade de implementação para identificação de falhas e correção do <i>design</i>. Para convencer, o uso da abordagem ERM tem que mostrar o ganho contra abordagens do tipo "fail fast".</p>
	<p>Interface com <i>suppliers</i> é fundamental para estruturação correta da metodologia.</p>
	<p>A Mitac (Mitsubishi Aircraft Corporation) ainda precisa passar por outras transformações antes de conseguir chegar ao ponto de poder usar a abordagem ERM.</p>
Certificação de produto	<p>Os seguintes aspectos precisam ser esclarecidos: objetivo da abordagem, fases do projeto onde é aplicável, possíveis ganhos a serem obtidos. A apresentação do método precisa iniciar pela discussão dos problemas que ele resolve.</p>
	<p>Trata-se de uma abordagem factível, porém complexa para ser utilizada na empresa, onde o fator tempo é o mais crítico no desenvolvimento de sistemas.</p>
Desenvolvimento Tecnológico	<p>A utilização da abordagem ERM implicaria em uma mudança cultural, treinamentos, divulgação da nova metodologia e comprovação da eficácia. Em organizações menos flexíveis, esse processo pode ser demorado.</p>
	<p>Separar todas as informações do progresso do projeto, de maneira a contabilizar os avanços de maturidade de acordo com os elementos escolhidos (CTEs). Se os elementos forem de nível hierárquico mais alto, por exemplo subsistemas, talvez seja mais fácil de contabilizar. Quanto mais baixo o nível hierárquico escolhido, o projeto precisaria ter uma contabilização bem detalhada para conseguir utilizar esta abordagem.</p>
Garantia de produto	<p>Analogamente a outras abordagens, a dificuldade maior é ter conhecimento sobre os detalhes que podem influenciar o projeto.</p>
Gerenciamento de projetos	<p>Integração deste método, visando entregas intermediárias.</p>
	<p>A avaliação da maturidade depende do nível de maturidade da equipe do projeto e da estrutura organizacional da empresa disponível para suportá-la. Nem sempre uma equipe madura e/ou estrutura da empresa estão disponíveis para suportar de forma adequada.</p>

continua

Tabela 7.1 – Conclusão.

Qualidade de produto	A cultura e a maturidade organizacional são pequenas e os projetos institucionais de desenvolvimento de sistemas espaciais, normalmente, possuem soluções tecnológicas maduras, considerando o contexto internacional. Além disso, as margens de projeto são grandes devido ao contexto organizacional (ex. processos de aquisição de serviços e produtos; política de garantir sucesso da missão mesmo a custos maiores) e ao nível de experiência da organização (racional: ao adquirir maior <i>know-how</i> , por realizar e absorver conhecimento em múltiplas missões, margens de projeto ou projetos mais otimizados são realizados). Portanto, a pequena diversidade de níveis de maturidade e pouca experiência em desenvolvimento de grandes projetos pode dificultar a utilização da abordagem ERM.
----------------------	--

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

Tabela 7.2 – Lacunas, falhas observadas na abordagem ERM.

<b>Função</b>	<b>Respostas</b>
Desenvolvimento de sistemas	<p data-bbox="518 985 1375 1131">Veja item 3 acima: "Como atualizar/modificar o esqueleto do projeto feito, inicialmente, baseado em novas informações de projeto coletadas ao longo da sua execução."</p> <p data-bbox="518 1131 1375 1388">A quantificação da maturidade representada por um número resultado da multiplicação de dois fatores que são qualitativos me parece inapropriada. Porém, o processo de estimativa de custo para evolução da maturidade do sistema compensa esse fator, dado que o custo de progressão da maturidade se torna - uma vez que bem quantificado - o principal fator para tomada de decisão.</p> <p data-bbox="518 1388 1375 1612">Deveria ter uma proposta mais objetiva em relação a interface com <i>suppliers</i>. Além disto, deveria ser possível simplificar a metodologia uma vez que, hoje, na indústria, a nomenclatura mais conhecida é o TRL e muitas vezes se busca efetuar a mesma análise (de complexidade do sistema ou interface) usando o TRL.</p>
Certificação de produto	<p data-bbox="518 1612 1375 1803">Não exatamente na abordagem, mas sim na apresentação do método, onde os seguintes pontos não ficaram muito claros: objetivo da abordagem, fases do projeto onde é aplicável, possíveis ganhos a serem obtidos.</p> <p data-bbox="518 1803 1375 1834">A subjetividade é a principal lacuna na minha visão.</p>

continua

Tabela 7.2 – Conclusão.

Desenvolvimento Tecnológico	A princípio não identifiquei qualquer lacuna. Parece importante marcar alguns elementos tecnológicos como críticos, e planejar ter prioridade na evolução de sua maturidade, pois se todos os elementos tem a mesma criticidade, ou prioridade, o algoritmo pode priorizar o avanço de itens menos complexos e críticos e deixar de avançar na maturidade de itens críticos para o projeto, o que poderia levar a identificação tardia de problemas com estes itens críticos.
Garantia de produto	Penso que o conteúdo mais fragmentado, para facilitar a visualização por partes.
Gerenciamento de projetos	Parece que os riscos não foram, detalhadamente, considerados no método ERM.
Qualidade de produto	Sim, identifiquei que existe a oportunidade de melhoria quanto à apresentação de fatores de incerteza. A revisão de literatura apresentada mostra o ERM com a visão de maturidade tecnológica ( <i>readiness</i> no sentido de maturidade tecnológica) e suas interfaces com aspectos gerenciais de custos e cronograma. Entretanto, estes aspectos trazem incertezas importantes de consideração.

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

## 7.2 Avaliação do método ROERM

Questionados sobre a utilidade da abordagem ROERM em complementar de forma positiva a abordagem ERM, todos os respondentes concederam respostas positivas. Questionados sobre a eficácia da abordagem ROERM em auxiliar nas dificuldades de avaliação de níveis tecnológicos das escalas TRL e IRL, a maioria dos respondentes considerou, em uma escala de 1 a 5, que a abordagem auxilia nessas dificuldades. Nesse contexto, as avaliações do grupo focal exploratório resultaram em média 4.1. As avaliações do grupo focal confirmatório resultaram em média 3.7.

Questionados se a abordagem ROERM trouxe ganhos para tornar o uso dos conceitos da abordagem ERM mais factível nos projetos de sua respectiva instituição/corporação, todos os respondentes concederam respostas positivas com exceção de dois entrevistados.



Baseado no estudo de caso apresentado na Seção 6, em que se simulou a execução da abordagem ROERM, pretendeu-se medir a percepção de dificuldade de execução de cada uma das etapas propostas. Questionados sobre a dificuldade de se realizar a alocação de requisitos a CTEs e CIEs (primeiro passo da abordagem ROERM, apresentado na Seção 5.2.1), em uma escala de 1 a 5, 1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil", as avaliações do grupo focal exploratório resultou em média 3.57. As avaliações do grupo focal confirmatório resultaram em média 3.71.

Foi aberta, no questionário, a possibilidade de tecerem-se comentários com relação a essa primeira etapa da abordagem ROERM. O resultado é apresentado na Tabela 7.3, que constitui a compilação de respostas concedidas pelos entrevistados. As respostas estão separadas de acordo com as funções dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Tabela 7.3 – Comentários sobre a primeira etapa da abordagem ROERM.

<b>Função</b>	<b>Respostas</b>
Desenvolvimento de sistemas	Essa é uma das etapas mais importantes do projeto. É importante ressaltar que a definição de requisitos seja feita por um grupo ( <i>peer</i> ) de pessoas com experiência e que troquem informações relevantes com o intuito da melhor definição dos requisitos do projeto.
	Deve-se pensar numa forma de significar a abordagem no começo do projeto e detalhar a mesma ao longo do desenvolvimento. Proposta é que, no início, a análise fique no nível de funções e ao longo do detalhamento, desça no nível de requisito.
	Nem fácil nem difícil, mas como em qualquer mudança de conceito, o "mudar" sempre vai levar a reações iniciais contrárias. Propor uma forma de implementar esse novo conceito de forma menos traumática nas corporações alvo seria um complemento interessante para o trabalho apresentado.

continua

Tabela 7.3 – Conclusão.

Certificação de produto	Vi pouco ganho no material apresentado. Acho que a abordagem ROERM agrega muito valor, entretanto é, também, complexa. Talvez a empresa privada encontre dificuldade de seguir a abordagem devido o tempo gasto neste processo. De qualquer forma, vejo muito valor.
Desenvolvimento Tecnológico	Esta alocação pode ajudar a minimizar incertezas, contribuindo com as tomadas de decisão. Isto vai depender de como o projeto realiza a alocação de requisitos.
Garantia de produto	Avaliações de criticidade tendem a necessitar da disponibilidade de diversos profissionais com experiência, além do trabalho de organização dos dados, essa etapa é sempre difícil. Ferramentas podem e ajudam muito. Exige muito conhecimento por parte da engenharia de sistemas e times de AIT para que haja um levantamento minimamente realista, no entanto, avaliações outras que envolvam conhecimento em relação a IRL exigem o mesmo nível de esforço técnico.
Gerenciamento de projetos	Não houve comentários.
Qualidade de produto	Partindo do princípio que os requisitos de natureza técnica (engenharia), normalmente, estão vinculados a itens de configuração (produtos), a alocação de requisitos a CTE e CIE é menos complexa. Uma lógica (método de exclusão) que poderia ser utilizada para alocação de CTE e CIE é que, quando o requisito não aponta para um CIE (caso específico), este pode ser alocado como CTE (interpretação mais ampla). Entretanto, para requisitos de outras naturezas (ex. requisitos de qualidade), a alocação de CTE e CIE pode ser complexa e, possivelmente, não aplicável à abordagem.

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

Questionados sobre a dificuldade de se realizar a avaliação de maturidade atual e alocação de maturidades futuras (*Readiness Work Package*) a CTEs e CIEs (segundo passo da abordagem ROERM, apresentado na Seção 5.2.2), em uma escala de 1 a 5, 1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil", as avaliações do grupo focal exploratório resultaram em média 3.57. As avaliações do grupo focal confirmatório resultaram em média 2.86.

Foi aberta, no questionário, a possibilidade de tecerem-se comentários com relação à segunda etapa da abordagem ROERM. O resultado é apresentado na Tabela 7.4, que compila as respostas concedidas pelos entrevistados. As

respostas estão separadas de acordo com as funções dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Tabela 7.4 – Comentários sobre a segunda etapa da abordagem ROERM.

<b>Função</b>	<b>Respostas</b>
Desenvolvimento de sistemas	Tem que ser bem claro a definição da aplicação da tecnologia para definir a maturidade atual. Em se tratando de um sistema complexo, a quantidade de requisitos pode ser bem relevante, e terminar por ser um processo oneroso e fundamentado em palpites. Tem que se priorizar os requisitos mais relevantes para que esses sejam bem avaliados.
	Tende a ser mais fácil do que o item anterior, com a ressalva de que é importante achar uma maneira de conseguir informações reais sobre o estágio de desenvolvimento dos produtos sendo avaliados, sem filtros, o que tende a ser difícil no universo corporativo.
Certificação de produto	Eu senti muita falta de uma discussão de quais problemas estão sendo atacados pelos métodos propostos.
	Processo inteligente, porém um pouco complexo.
Desenvolvimento Tecnológico	Entendi como uma etapa importante, principalmente para a verificação e a validação dos atributos.
	A avaliação da maturidade tem um vínculo com as atividades de verificação. Como a planilha de avaliação também traz os dados de verificação, este fato deve ajudar na avaliação da maturidade.
Garantia de produto	Nesse ponto, uma vez que o projeto esteja claro em relação aos seus objetivos, não deve ser difícil demais traçar o <i>roadmap</i> .
Gerenciamento de projetos	Conforme mencionado anteriormente para o método ERM, a qualidade da avaliação dependerá do nível de maturidade técnica da equipe do Projeto.
Qualidade de produto	A avaliação de maturidade atual vinculada a solução de tecnologia (CTE) ou de integração (CIE) de cada requisito é um processo normalmente realizado e que possui maturidade. Entretanto, entendendo que o <i>Readiness Work Package</i> são os níveis de maturidade futuras a serem demonstrados para cada requisito, esta avaliação depende de outros fatores estratégicos do projeto e pode ser mais difícil em fases iniciais.

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

Questionados sobre a dificuldade de se realizar as estimativas de custo financeiro e horas de trabalho ao se avaliar as matrizes de validação e verificação de requisitos em conjunto com as alocações de maturidade realizadas no atributo *Readiness Work Package* (terceiro passo da abordagem

ROERM, apresentado na Seção 5.2.3), em uma escala de 1 a 5, 1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil", as avaliações do grupo focal exploratório resultaram em média de, aproximadamente, 2.71. As avaliações do grupo focal confirmatório resultaram em média 4.

Foi aberta, no questionário, a possibilidade de tecerem-se comentários com relação à terceira etapa da abordagem ROERM. O resultado é apresentado na Tabela 7.5, que compila as respostas concedidas pelos entrevistados. As respostas estão separadas de acordo com as funções dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Questionados sobre a importância de um algoritmo de otimização semelhante ao SCODmin para se obter um cronograma otimizado de evolução de maturidade do sistema (quarto passo da abordagem ROERM, apresentado na Seção 5.2.4), em uma escala de 1 a 5, 1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil", as avaliações do grupo focal exploratório resultaram em média de, aproximadamente, 3.57. As avaliações do grupo focal confirmatório resultaram em média 3.86.

Tabela 7.5 – Comentários sobre a terceira etapa da abordagem ROERM.

Função	Respostas
Desenvolvimento de sistemas	<p>A quantificação de horas e custo do desenvolvimento de um produto inovador pode ser desafiador quando se falta referências de custo e prazo para desenvolvimento de determinado produto, a matriz de evolução da maturidade pode se distanciar da realidade e o caminho tomado para evolução da mesma não ser o melhor. Seria aconselhável, talvez, <i>milestones</i> intermediários para reavaliação da previsão dos custos e reavaliar o melhor caminho para atingir a maturidade.</p> <p>Esse tipo de estimativa requer conhecimento detalhado do que se está avaliando, e acesso a informações relacionadas a custos. Não é tarefa simples, e que possa ser delegada para qualquer membro de uma equipe de trabalho, e requer informações geralmente classificadas como sensíveis dentro de grandes corporações, o que pode tornar o processo de difícil implantação.</p>

continua

Tabela 7.5 – Conclusão.

Certificação de produto	A criação de matrizes de validação e verificação é normalmente postergada para o último minuto. Essa abordagem tem que endereçar esta característica também.
Desenvolvimento Tecnológico	A melhor compreensão por parte da liderança e outros usuários, em relação à importância e benefícios da metodologia/processos, pode facilitar a superação das dificuldades.
	Vai depender de como o projeto realiza estas estimativas e contabilização.
Garantia de produto	Quando abordamos a ignorância, as estimativas tendem a não serem precisas.
	Em geral, na área espacial, grandes agências como a NASA costumam errar em até 50% na previsão de custos de seus grandes projetos. Tal descolamento da realidade se verifica em maior ou menor grau em virtude do tamanho e complexidade do projeto de sistemas. Só a vivência pode reduzir os erros nas avaliações de custo e HH em projetos de desenvolvimento tecnológico. Em contrapartida, quando estas avaliações são endereçadas para itens de prateleira, as incertezas de avaliação se reduzem drasticamente, conseqüentemente tanto a dificuldade de avaliação quanto o erro diminuem drasticamente.
Gerenciamento de projetos	Uma vez que os requisitos são revisados em detalhes, o orçamento e a alocação do trabalho são facilitados, uma vez que um melhor entendimento do trabalho a ser executado está disponível.
Qualidade de produto	A alocação de recursos, de uma forma geral, é sempre complexa e apresenta incertezas. Esta atividade de planejamento já é realizada pelas disciplinas gerenciais e de engenharia de sistemas de um projeto (Technology Plan - ECSS-E-ST-10; ECSS-E-HB-11A), entretanto, o foco em maturidade com otimização de cronograma é inovador e pode complementar o planejamento gerencial.

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

Foi aberta, no questionário, a possibilidade de tecerem-se comentários com relação à quarta etapa da abordagem ROERM. O resultado é apresentado na Tabela 7.6, que compila as respostas concedidas pelos entrevistados. As respostas estão separadas de acordo com as funções dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Tabela 7.6 – Comentários sobre a quarta etapa da abordagem ROERM.

<b>Função</b>	<b>Respostas</b>
Desenvolvimento de sistemas	Tudo depende da complexidade do projeto e a granularidade que se pretende conseguir. Um algoritmo de otimização será útil caso a complexidade (número de componentes e suas inter-relações) seja elevada, e que se queira verificar com detalhes cada passo no progresso do projeto.
	Outro ponto a melhorar é que foi assumido que todo projeto deve evoluir a tecnologia a TRL-9 quando alguns projetos podem ter como objetivo colocar o produto no mercado e o ganho de experiência em campo seguiria por um projeto ou área separada. Isso tem que ser considerado ao planejar as metas e, conseqüentemente, o caminho que representa atingir maturidade esperada com menor custo. O algoritmo tem que considerar até que ponto cada tecnologia ou integração deve evoluir. Para alguns casos, TRL7 ou 8 pode ser o suficiente.
	Uma boa melhoria para desenvolvimento de projetos complexos, mas resta saber se o custo de implantação da nova metodologia se paga. Um estudo de caso real pode ajudar a responder essa questão.
Certificação de produto	Não houve comentários.
Desenvolvimento Tecnológico	É realmente muito importante.
	Parece uma boa ideia a otimização da maturidade do sistema.
Garantia de produto	Alguma estrutura é muito útil para estimativas, sempre considerando que deve haver margens.
Gerenciamento de projetos	Dependendo do tamanho do projeto e do número de itens a serem revisados, um algoritmo suportará a avaliação.
Qualidade de produto	Entendendo que a ferramenta de construção da abordagem ROERM foi criada em um software de programação, as próprias ferramentas disponibilizadas pelo software permitem a construção dessa lógica, inclusive, aparentemente, já está pronta pelos exemplos apresentados. O formato de apresentação do algoritmo (lógica da abordagem) pode tomar qualquer formato.

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

Questionados sobre a dificuldade de se alocar os resultados de evolução otimizada de maturidade nas matrizes de validação e verificação de requisito

para se obter um plano de emissão de documento orientado à evolução de maturidade (quinto passo da abordagem ROERM, apresentado na Seção 5.2.5), em uma escala de 1 a 5, 1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil", as avaliações do grupo focal exploratório resultaram em média 3. As avaliações do grupo focal confirmatório resultaram, aproximadamente, em média 2.71.

Foi aberta, no questionário, a possibilidade de tecerem-se comentários com relação à quinta etapa da abordagem ROERM. O resultado é apresentado na Tabela 7.7, que compila as respostas concedidas pelos entrevistados. As respostas estão separadas de acordo com as funções dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Tabela 7.7 – Comentários sobre a quinta etapa da abordagem ROERM.

<b>Função</b>	<b>Respostas</b>
Desenvolvimento de sistemas	Não houve comentários
Certificação de produto	Não enxerguei grandes dificuldades.
Desenvolvimento Tecnológico	Não houve comentários.
Garantia de produto	Conhecendo origem e destino, o mapeamento deve ser claro quando se conhece os requisitos de projetos e meios para V&V.
	Como comentado, a abordagem é simples, no entanto a escolha da equipe para implementá-la é crucial no processo e terá influência na qualidade da avaliação.
Gerenciamento de projetos	O método realmente apoia com mais precisão a criação de um plano para o progresso da maturidade.
Qualidade de produto	Não houve comentários.

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

### **7.3 Comentários gerais sobre a pesquisa**

Foi aberta, aos entrevistados, a oportunidade de tecerem-se comentários sobre a abordagem ERM, sua proposta de evolução para a abordagem ROERM, a pesquisa, pontos ausentes no questionário ou outros assuntos não cobertos. O resultado é apresentado na Tabela 7.8, que compila as respostas concedidas pelos entrevistados. As respostas estão separadas de acordo com as funções

dos entrevistados nos projetos de desenvolvimento de sua instituição/corporação.

Tabela 7.8 – Comentários gerais sobre a pesquisa.

<b>Função</b>	<b>Respostas</b>
Desenvolvimento de sistemas	Acho que é necessário considerar a aplicação desta metodologia de forma incremental. Nos projetos atuais, é irreal imaginar que estes serão iniciados com todos os requisitos já definidos. Assim, para agregar valor, deve ser possível uma avaliação da maturidade por funções e em seguida, com maior detalhamento descer no nível de requisitos. Esta avaliação posterior pode ser utilizada para validar a análise inicial e estabelecer o cronograma ROERM que suporte o aumento de maturidade pós CDR (geralmente quando termina-se a validação dos requisitos).
	Oportunidade de aplicar o processo na fase de <i>design</i> conceitual e seleção de fornecedores, no estabelecimento de metas contratuais mais alinhadas ao nível de maturidade do sistema a ser desenvolvido, e fugindo um pouco da abordagem mais tradicional de passagens de fase fixas ao longo do desenvolvimento.
Certificação de produto	Ficou bem difícil visualizar quais os problemas que os métodos propostos estão resolvendo, quais os cenários de utilização dos mesmos e como esses métodos podem ser complementares ao NASA-TRL.
	Achei muito interessante a proposta, uma vez que a subjetividade, relacionada as escalas de maturidade, é reduzida com a implantação da abordagem ROERM. Além disso, a definição adequada da maturidade favorece a boa gestão do plano a ser seguido.
Desenvolvimento Tecnológico	Vejo muitos benefícios na implementação da metodologia. Parabéns pelo trabalho.
	As respostas são de certa maneira teóricas, pois não pratiquei estes métodos.
Garantia de produto	A abordagem parece ser bem trabalhada com potencial de ser útil durante projetos complexos. Fluxogramas simplificados podem diminuir a barreira de entrada para sua adoção.
	Creio que a abordagem é robusta no que se propõe, uma questão outra que poderia ser considerada diz respeito a efeitos de custo no nível de sistemas causados problemas de cronograma de seus componentes individualmente, onde se faz necessário não apenas esforço extra para atendimento do cronograma de nível superior como, via de regra, relaxamento em relação a previsão de custo inicial do item em prol de se evitar a consequência de custos no nível de sistemas.
	A adequada aplicação será um ganho de conhecimento no assunto TRL.

continua



Tabela 7.8 – Conclusão.

Gerenciamento de projetos	<p>O método proposto (ROERM) realmente agrega mais precisão ao método ERM e está em um nível de qualidade adequado para ser colocado em execução em qualquer Organização. Graças ao Bernardo pelo brilhante trabalho!</p> <p>Conforme mencionado anteriormente nesta avaliação, uma equipe de projeto com maturidade adequada (não mencionada nos métodos) causará o impacto real no andamento do projeto, a partir da elaboração do plano. Uma equipe madura só pode estar disponível dependendo de uma estrutura organizacional para apoiá-la.</p> <p>É importante considerar que a avaliação da maturidade reduzirá os riscos associados ao projeto, porém, não está claro o quanto essa melhoria (redução do nível de risco) seria.</p> <p>Esses dois tópicos seriam minha recomendação de assuntos a serem tratados em estudos futuros neste Projeto.</p>
Qualidade de produto	<p>A formulação das respostas à pesquisa foi dificultada, possivelmente, por minha pouca experiência e conhecimento sobre o assunto além de somente utilizar como base a apresentação e solução de eventuais dúvidas, sem a disponibilização de material de consulta. Quanto à abordagem ERM, esta parece estar consolidada no contexto acadêmico, entretanto, a velocidade de absorção no contexto de aplicação, pelas organizações de desenvolvimento de sistemas espaciais, ainda é pequena. Porém, vejo que há uma tendência crescente e esforços para sua utilização, conforme a divulgação de materiais como o futuro <i>handbook</i> da NASA de TRA (2016 - Final Report of the NASA <i>Technology Readiness Assessment</i> (TRA) Study Team) e as recentes publicações da ECSS (ECSS-E-HB-11A(1March2017)). Quanto à proposta ROERM, esta apresenta uma forma interessante de planejar e gerenciar a maturidade tecnológica, desde os requisitos (elementos básicos que dão origem as soluções de produtos) e sua V&amp;V no processo de desenvolvimento. A abordagem está centrada na otimização de cronograma (utilizando h/h), mas poderia ampliar o seu escopo para atender, também, a otimização de outros recursos, como custos. Além disso, apresentar a contextualização de utilização da abordagem ROERM, como sua aplicabilidade durante o ciclo de vida, pode ajudar no entendimento da proposta.</p>

Baseado nos dados do Apêndice B.

Fonte: Produção do autor.

## **8 DISCUSSÃO**

Serão discutidos os resultados obtidos nas seções desenvolvimento da teoria, condução do estudo de caso e condução das entrevistas de avaliação da demonstração da abordagem ERM e de sua proposta de evolução para a abordagem ROERM. Para discussão das questões abertas, houve uma seleção, baseada em critério subjetivo, de comentários entendidos como mais relevantes e que mais poderiam contribuir para discutir o artefato proposto.

### **8.1 Discussão sobre o método ERM**

A abordagem ERM (MAGNAYE et al., 2014) foi avaliada de forma positiva pelos especialistas selecionados para avaliar a pesquisa. Todos os entrevistados, com exceção de um, consideraram que a maturidade tecnológica é um índice de desempenho interessante para determinar como evoluir o desenvolvimento de um produto complexo, bem como uma medida para avaliar e rastrear seu progresso. Entende-se que a abordagem ERM auxilie a endereçar, além dos desafios de avaliação de maturidade de integração e de sistemas ao utilizar as escalas IRL e SRL, outros desafios também apresentados em Olechowski et al. (2020): “influência de novos componentes ou ambiente”, “confiança em progresso de maturidade”, “esforço para progressão de maturidade” e “priorização de esforços de desenvolvimento tecnológico”.

Todavia, diversas dificuldades relacionadas à sua implantação prática foram listadas. A resistência à mudança das formas de gerenciamento atuais executadas nas indústrias avaliadas (aviação e espacial) foi levantada como um empecilho para implantação da abordagem. Também foi mencionado, como um fator de bloqueio, a maturidade e o nível de experiência da equipe que executa a abordagem ERM. Nesse contexto geral, considera-se que a abordagem ERM ainda precise evoluir para um nível de aplicação prática com novas publicações científicas que detalhem formas mais simplificadas para que as instituições e corporações realizem processos e estruturam as informações de forma não onerosas, mas que, ao mesmo tempo, forneça dados com alto índice de confiança. A abordagem ROERM, proposta como evolução da

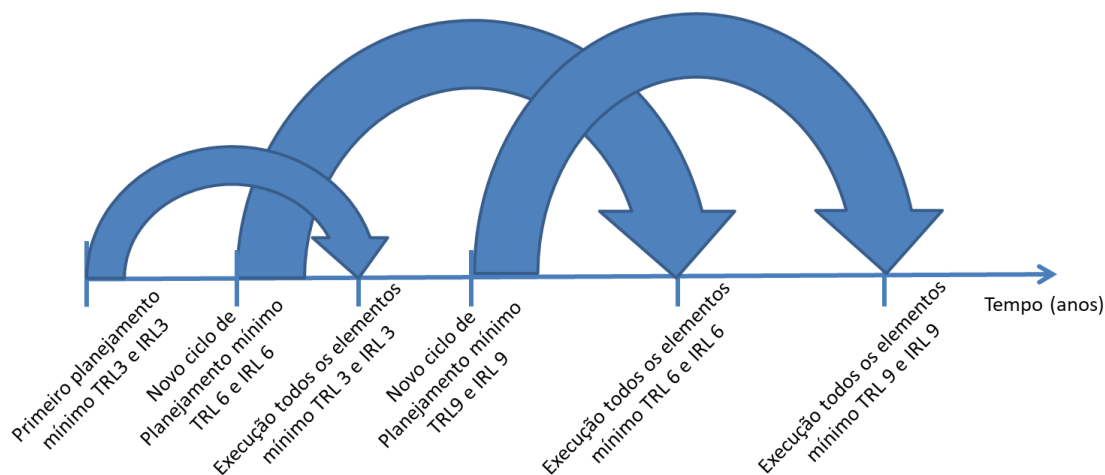
abordagem ERM, visa atuar nesse contexto, focando na utilização de processos, usualmente, já executados em desenvolvimento de produtos complexos, ou seja, processos relacionados a gerenciamento de requisitos, para que se possa, de forma mais natural, integrar a utilização da abordagem aos desenvolvimentos reais.

Outro fator a ser levado em consideração é que nem todas as informações para avançar as maturidades TRL e IRL podem estar disponíveis no momento em que se executa pela primeira vez a abordagem nos momentos iniciais do desenvolvimento do projeto. Espera-se que informações sejam aprimoradas e esclarecidas ao longo do desenvolvimento. Nesse cenário, pode fazer sentido planejar soluções de evolução de forma gradual, a ser exemplificado a seguir. Tomando como exemplo um produto complexo com diversos elementos de baixa maturidade (assumindo, a título de exemplo, TRL3, IRL 3 ou inferior) pode fazer sentido estipular um plano de evolução de maturidade otimizada para que todos os elementos atinjam maturidade 3 com as informações disponíveis no momento, ao invés de tentar se estimar tudo o que será feito para que os componentes atinjam maturidade 9. No próximo ano, com novas informações poder-se-ia progredir para um plano otimizado que leve todos os TRLs e IRLs a 6 seguindo-se essa filosofia até o planejamento final para obtenção de TRL9 e IRL9 aos elementos tecnológicos e integrações aplicáveis. A Figura 8.1 ilustra esse raciocínio. Executar tal proposta facilita, ainda, a tomada de decisão por um algoritmo de viés determinístico, como, por exemplo, o desenvolvido na presente pesquisa e apresentado na Seção 5.2.4. O motivo se fundamenta no fato de que, para cada esforço de planejamento progressivo, uma faixa restrita de níveis de maturidade será analisada, reduzindo, naturalmente, a quantidade de soluções de evolução de maturidade a ser analisada e aumentando, assim, a viabilidade da abordagem determinística.

Com relação ao comentário relacionado a metodologias *Fail-Fast* associado às filosofias *Lean Startup* (RIES, 2011) entende-se que a abordagem ERM e a metodologia *Fail-Fast* podem ser complementares. A metodologia *Lean Startup*

defende que testes constantes de protótipos ainda não totalmente finalizados sejam executados tão logo quanto possível para falhar o quanto antes.

Figura 8.1 – Execução progressiva da abordagem ERM.



Fonte: Produção do autor.

Entende-se que esses testes auxiliem no ganho de maturidade de forma acelerada, enquanto a abordagem ERM auxiliará a entender em qual momento do desenvolvimento a estrutura mínima para realização desses testes precisam estar preparadas para se iniciar a evidenciação de um determinado nível de maturidade, justificando, assim, o raciocínio da complementaridade entre as abordagens.

Com relação ao comentário relacionado a interface com *suppliers*, este é um ponto de ampla discussão, e, inclusive, alvo de futuros trabalhos tanto para a abordagem ERM quanto para a abordagem ROERM. Esse trabalho futuro se concentraria em endereçar os múltiplos níveis (sistema, subsistema, componentes, subcomponentes) de desenvolvimento e integração. Em um desenvolvimento de um produto complexo, espera-se que haverá interfaces entre múltiplas áreas de atuação de uma mesma instituição e de outras instituições, incluindo fornecedores que irão prover componentes ou, até mesmo, subsistemas inteiros. Tomando-se como exemplo o desenvolvimento de um satélite, pode-se imaginar que, ao computar a solução de evolução de maturidade otimizada do conjunto de subsistemas, essa solução pode diferir da

solução otimizada do desenvolvimento do subsistema em si, ou seja, em nível integração de subsistemas pode-se ter a expectativa de um determinado valor de SRL de um subsistema em um momento 't' do desenvolvimento, porém a solução otimizada de evolução de maturidade dos componentes do subsistema pode não atender a essa expectativa. Nesse caso, compromissos entre o nível integração de subsistemas e integração de componentes que compõem um subsistema precisariam ser realizados para a criação de um cronograma geral que enderece múltiplos níveis do desenvolvimento.

Com relação a lacunas, falhas ou possíveis pontos de melhoria, houve comentários quanto a fatores de incerteza, riscos e subjetividade na execução da abordagem. De uma forma geral, a proposta da abordagem ROERM visa reduzir riscos, incertezas e subjetividade relativas aos dados de entrada para cálculo da solução otimizada de evolução de maturidade ao estabelecer um processo estruturado para avaliação de maturidade que ficará evidenciado nas bases de requisitos e, posteriormente, nas tabelas de estimativas de custo de evolução de maturidade. De qualquer forma, podem-se associar outras metodologias de gerenciamento de riscos e incertezas à abordagem ROERM visando minimizar ainda mais os riscos do desenvolvimento. Aumentar a robustez dos processos propostos na abordagem ROERM também pode reduzir a subjetividade ainda existente nas avaliações.

Devido à sua maior disseminação nas indústrias de desenvolvimento de produtos complexos, houve um comentário relacionado à tentativa de se utilizar apenas a escala TRL para execução da abordagem. Comentou-se, também, sobre a possível impropriedade da escala SRL por ser uma multiplicação de dois fatores qualitativos, apesar do mesmo comentário contra-argumentar que uma estimativa de custo bem quantificada compensaria esse fator. Se o argumento da multiplicação de dois números ordinais for justificável, poder-se-ia pensar em formas de tornar a abordagem ERM aplicável apenas para o uso da escala TRL e, no limite, à escala IRL, o que eliminaria o já criticado cálculo matricial de números ordinais realizado para o SRL (JESUS, 2018). Magnaye et al. (2010) justificam, porém, que o processo de cálculo do SRL segue os moldes das avaliações de efeitos de modos de falha e análise de criticidade,

em inglês *Failure Mode Effects and Criticality Analysis*, ou FMECA, utilizada em uma ampla gama de aplicações como nas indústrias de semicondutores, saúde e veículos motores. Os mesmos autores argumentam que outros índices também de baseiam em cálculos de números ordinais e são amplamente utilizados. Na atual proposta, a escala SRL é a responsável por permitir a compilação da maturidade geral dos componentes e suas integrações em um único valor. Entende-se que seria necessário formular uma proposta que seja capaz de permitir uma avaliação semelhante apenas com valores de TRL de componentes, mesclando, em seu conteúdo, informações de integração entre os componentes, caso opte-se por não se utilizar nem mesmo a escala IRL. Essa possível proposta permitiria estipular uma meta de evolução, como é possível com a escala SRL na proposta atual. Utilizar apenas a escala TRL e IRL, sem a necessidade de um cálculo de números ordinais, conforme demandado pela proposta de obtenção do SRL, poderia reduzir questionamentos com relação a esse aspecto, porém justificados em Magnaye et al. (2010).

Questionou-se o objetivo da abordagem ERM, fases do projeto onde é aplicável e possíveis ganhos a serem obtidos. Os objetivos da abordagem ERM, conforme apresentado em Magnaye et al. (2014) é o planejamento otimizado, monitoramento e avaliação de desenvolvimento de sistemas utilizando avaliações de maturidade e estimativas de custo como informações de entrada. Uma recapitulação detalhada é fornecida na Seção 3.1.5 e na Seção 3.1.6. As fases de projeto em que são aplicáveis a utilização da abordagem ERM não são explicitamente mencionadas em Magnaye et al. (2014), porém ao se avaliar a Tabela 3.7 apresentada em Magnaye et al. (2010), estabelece-se uma correlação entre fases do projeto e a utilização do modelo de minimização de custos. Aparenta ser consistente correlacioná-la à abordagem ERM, pois as mesmas definições são aplicáveis ao passo “planejamento do ganho de maturidade” incluso na abordagem ERM. A inclusão das etapas “lançamento do sistema” (*Launch of the system*), “avaliação e validação da performance” (*Assessment and validation of performance*) e “re-avaliação” (*Re-evaluation*) como etapas associadas à

abordagem ERM precisa ser considerada, pois, ao adicionar os elementos “monitoramento e avaliação de maturidade” ao modelo SCODmin proposto em Magnaye et al. (2010), entende-se que a avaliação de maturidade dessas fases também serão aplicáveis. A norma ECSS-M-ST-10C (ECSS, 2009) define as fases de um projeto espacial como:

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

Baseado nas considerações supramencionadas para a Tabela 3.7 e comparando-se as etapas apresentadas nessa mesma tabela com as fases de projeto definidas pela ECSS, argumenta-se que a execução da abordagem ERM deva se iniciar desde a fase A até a fase E do projeto.

Os possíveis ganhos a serem obtidos, conforme apresentado em Magnaye et al. (2014), envolvem, principalmente, o paralelo feito entre a abordagem EVM e a abordagem ERM, sendo esta última focada em planejar as atividades de forma otimizada baseadas no índice de desempenho “maturidade do produto”, permitindo uma priorização e acompanhamento de atividades resultantes de avaliações específicas associadas a produtos e sistemas complexos.

## **8.2 Discussão sobre o método ROERM**

Apesar da simulação de execução da abordagem ROERM ter sido demonstrada aos entrevistados, idealmente, os especialistas deveriam ter praticado cada uma das etapas propostas na abordagem ROERM. Porém, considerou-se inviável, pela complexidade da abordagem, conceber um estudo

de caso completo que pudesse permitir, aos entrevistados, praticar as cinco etapas da abordagem ROERM. Contudo, espera-se que a reflexão sobre a dificuldade de se realizar cada etapa conceda um entendimento razoável e a percepção de como cada uma das etapas propostas são percebidas em termos de dificuldade de sua execução. Com a oportunidade de oferecer comentários para cada uma das etapas, os participantes tiveram a possibilidade de refletir e, se necessário, tirar dúvidas sobre a execução de cada uma delas. A seguir, será discutida cada etapa da abordagem ROERM.

### **8.2.1 Discussão sobre alocação de requisitos a CTEs e CIEs**

Entende-se que a percepção dos entrevistados sobre a dificuldade de realização dessa atividade está um pouco acima do neutro em direção ao complexo/difícil. Espera-se que não seja trivial alocar requisitos a CTEs ou CIEs, uma vez que nem todos os requisitos terão os aspectos de integração explicitamente definidos, como apresentado no estudo de caso. Para requisitos em que o texto não permita essa definição, pode ser necessário arbitrar essa escolha. Um fator que poderia facilitar esse tipo de análise é a criação de uma base específica de requisitos de interface. Um subsistema possuiria requisitos de interface para outros subsistemas e vice-versa, de forma que, ao se realizar a decomposição dos requisitos para níveis mais baixos, fique mais fácil visualizar que o requisito cumpre com uma especificação de um CIE.

Uma lógica de exclusão foi proposta, mencionando que a associação a CIEs são casos mais específicos e, caso o requisito não se enquadre nessa condição, seguir-se-ia na alocação do requisito a um CTE. A proposta de exclusão parece razoável, porém sugere-se cautela com funcionalidades de componentes que aparentam ser desenvolvidas para cumprir com necessidades do próprio componente, mas que no âmbito geral cumprem com alguma necessidade de integração não explícita em nível de componente. Uma visão do todo, avaliando-se os requisitos-pai dos componentes podem também auxiliar nesse entendimento. Outro comentário relevante é sobre a natureza dos requisitos (o exemplo de requisitos de qualidade foi fornecido) e que algumas dessas naturezas podem não fazer parte da abordagem ROERM.



Novamente, sugere-se cautela nessa determinação, uma vez que, para o exemplo específico de requisitos de qualidade, caso haja algum método de verificação desses requisitos que envolva, por exemplo, ensaios acelerados de ciclo de vida do produto (HALT), outros tipos de ensaio ou demonstrações pregressas, deve-se incluir essa contribuição no ganho de pedigree de maturidade de um componente. Uma proposta de trabalho futuro, nesse contexto, seria determinar quais aspectos de cada natureza de requisitos contribui para a determinação de maturidade de um componente.

A avaliação de quais requisitos são críticos para o desenvolvimento foi abordada pelos entrevistados. De fato, a abordagem ROERM não foi concebida pensando-se em estabelecer quais requisitos são críticos e quais não são críticos para o desenvolvimento do projeto. Uma possibilidade de melhoria poderia ser a atualização do fluxograma apresentado para essa etapa, em que se realizaria uma consideração da criticidade do requisito e da função a ser demonstrada no projeto do ponto de vista de maturidade tecnológica, fazendo com que a evolução otimizada de maturidade se concentre nesses aspectos mais críticos do projeto.

Comentou-se sobre a proposta de que nas fases iniciais do projeto a análise esteja contida no nível de funções e ao longo do detalhamento desça no nível do requisito. Avaliando-se a Tabela 3.7, a abordagem ROERM está alinhada com as etapas de projeto associadas ao modelo de evolução de maturidade com custos minimizados SCODmin, uma vez que as etapas de 2, 3 e 4, apresentadas na tabela, iniciam-se após a definição de requisitos. Nas fases iniciais do projeto, espera-se que apenas requisitos em nível de produto estejam definidos e que os detalhes de informação para estimar custos para execução da abordagem ROERM ainda sejam escassos. Nesse caso, a definição de quais detalhes são críticos ou mais relevantes (conforme discutido no parágrafo anterior) para a avaliação e estimativas de custos pode auxiliar nas fases de planejamento otimizado de evolução de maturidade e nas fases iniciais do projeto, em que estão sendo estudadas soluções tecnológicas que cumprem com os requisitos estabelecidos.

Houve um comentário sobre pouco ganho no material apresentado. Em posterior conversa com o entrevistado, houve evolução no entendimento da abordagem ERM e no seu refinamento para a abordagem ROERM, porém as mesmas respostas ao questionário foram mantidas. O conteúdo da conversa focou em uma revisão bibliográfica mais completa e maior exemplificação teórica sobre o uso das abordagens.

### **8.2.2 Discussão sobre alocação de requisitos a maturidades tecnológicas / integração**

Baseado nos resultados de avaliação, entende-se que a percepção dos entrevistados foi de uma complexidade/dificuldade neutra para a execução dessa etapa.

Para esta etapa, também houve o comentário sobre a priorização de requisitos comentada no antepenúltimo e penúltimo parágrafo da seção anterior. Considera-se que este pode ser um ponto interessante a ser avaliado para a abordagem, incluindo o aspecto “criticidade” ou “relevância” na avaliação dos requisitos. O fluxograma apresentado na Figura 5.4 já contempla a não alocação de níveis de maturidade para um determinado requisito, porém uma possível solução para se ignorar determinados requisitos não associados a aspectos críticos do desenvolvimento seria atualizar o fluxograma apresentado na Figura 5.3 para que não se atinja a pergunta “Este é um requisito de integração?” para requisitos avaliados como não aplicáveis devido à baixa criticidade.

Houve um comentário sobre a dificuldade em se realizar as estimativas de custo futuros em fases iniciais do projeto. De fato, a dificuldade de se estimar os custos de evolução de maturidades sem ter a visão acurada das atividades de validação e verificação de requisitos trará desafios. A Seção 8.1 discute uma possível solução para esse cenário, que seria o planejamento progressivo e subsequente até um determinado nível de maturidade, ilustrado na Figura 8.1.

### **8.2.3 Discussão sobre estimativa de custos financeiros e de horas de trabalho baseado em maturidade de requisitos**

Baseado nos resultados de avaliação, entende-se que a percepção dos entrevistados foi de uma complexidade/dificuldade ligeiramente inferior à neutra para a execução dessa etapa.

Um comentário abordou a possibilidade de se distanciar da solução ideal caso os dados de estimativas de custo estejam inapropriados e sugeriu a associação a *milestones* intermediários para reavaliação da previsão dos custos e reavaliar o melhor caminho para atingir a maturidade. De fato, o problema da falta de acurácia nos dados de entrada é significativo e foi listado na Seção 5.1.1 como um dos motivadores da criação de um artefato para solucioná-lo, sendo o resultado proposto como a abordagem ROERM. Ainda assim, erros de estimativa são possíveis mesmo com uma melhor estruturação de dados de entrada, como proposta na abordagem ROERM, e faz-se necessário tomar crédito da etapa de realimentação, originalmente proposta na abordagem ERM, para que novas ou corrigidas informações sejam levadas em consideração em um possível replanejamento da evolução otimizada de maturidade. Nesse contexto, ao se utilizar a abordagem ROERM como uma evolução da abordagem ERM, propõe-se utilizar os esforços de geração de linhas de base (*baselines*) de requisitos em conjunto com as reavaliações de maturidade futuras para cálculo de uma nova solução otimizada de evolução de maturidade. Dessa forma, ao serem estabelecidos *milestones* de geração de uma nova linha de base (por exemplo, PDR, CDR, Pré-fase de testes), pode-se reavaliar as maturidades previamente alocadas a cada requisito, os custos estimados para sua validação/verificação e confirmar a consistência da solução otimizada de evolução de maturidade anteriormente calculada.

Comentou-se sobre a sensibilidade das informações de custo e entende-se que este é, realmente, um aspecto que pode dificultar a realização das estimativas de custos. Um trabalho integrado entre as áreas de engenharia, gestão do produto, recursos humanos, gestão de contratos, gestão de fornecedores,

prestadores de serviços e gestão de infraestrutura será necessário para computar essas estimativas.

Comentou-se sobre o fato da matriz de validação e verificação de requisitos ser, normalmente, postergada para o último momento do projeto. Concorda-se que a compilação dos resultados da verificação e validação de produto nas matrizes podem ser compiladas na fase final do projeto, porém a criação das matrizes com todo o planejamento dos métodos de verificação e validação, como simulação, testes, análises, e definindo como será feita a validação e verificação de cada requisito é realizada o quanto antes for possível, pois esta definição irá nortear todo o desenvolvimento das atividades de testes e análises que virão a seguir.

Outro comentário foi a sobre os grandes erros de estimativas nos projetos espaciais e que apenas a vivência dos envolvidos irá reduzir os erros de avaliações de custo e homens hora em projetos de desenvolvimento tecnológico. Comentou-se, ainda, que para itens de prateleira (COTS) ou itens que já foram desenvolvidos para suportar projetos anteriores, essas incertezas são reduzidas drasticamente, conseqüentemente reduzindo as dificuldades da avaliação. Entende-se que a experiência da equipe realizando as atividades de estimativas de custo é um fator importante e que também será discutido na Seção 8.2.6. Concorda-se que os desafios de estimativas de custos para elementos tecnológicos que já estão disponíveis no mercado são menores, uma vez que já existe confiança nas demonstrações tecnológicas dos elementos. Por outro lado, não são claros os motivos dos potenciais erros de estimativas. Se um fator contribuinte para esses erros for um desalinhamento de informações entre as áreas de gerenciamento de programas e o grupo de engenharia, a abordagem ROERM visa fornecer uma estruturação que embasa e documenta as estimativas. Caso sejam identificados erros de estimativas ou novas informações estejam disponíveis e que, potencialmente, alterem os custos previamente estimados, estes devem ser prontamente corrigidos para recálculo da solução de evolução otimizada de maturidade.

#### **8.2.4 Discussão sobre cálculo do cronograma otimizado em custos financeiros e horas de trabalho orientado a requisitos**

Baseado nos resultados de avaliação, entende-se que a percepção dos entrevistados foi de que a necessidade de um algoritmo de otimização evolucionária probabilístico semelhante ao SCODmin está um pouco acima da opinião neutra. No momento em que a questão foi realizada aos entrevistados, os detalhes dos resultados do algoritmo desenvolvido na presente pesquisa ainda não estavam completamente disponíveis. Outros testes de robustez e tempos de cálculo podem ser feitos com o algoritmo desenvolvido para melhorar a caracterização de associação da quantidade de elementos e integrações, considerando seus aplicáveis níveis de maturidade, e intervalos de tempo que atendam às necessidades dos usuários do artefato.

Houve um comentário que mencionou a possibilidade do algoritmo, ou lógica da abordagem, poder tomar qualquer formato. Entende-se que a escolha entre um algoritmo determinístico e probabilístico se dará pela quantidade de elementos tecnológicos e de integração. Se um algoritmo garante o resultado ótimo em tempos razoáveis para uma determinada arquitetura em avaliação e outro fornece um resultado probabilístico, a escolha pela primeira opção é mais consistente. Porém, se a quantidade de elementos tecnológicos e de integração levar a tempos de cálculo mais elevados do que as expectativas dos usuários para sua utilização, uma abordagem probabilística será necessária.

Alguns entrevistados mencionaram sobre a quantidade de elementos e suas inter-relações e, realmente, esse é o motivo pelo qual o algoritmo de otimização evolucionária SCODmin foi desenvolvido.

Houve um comentário sobre o ajuste de TRL e IRL para 8 no caso de produtos de mercado aberto, pois não se pode contar com o cliente para planejar a fase de operação. A partir do momento em que um cliente aponte interesse de compra, começa-se a estimar custos mais precisos de avanço para TRL9 e IRL9, conforme aplicável. Concorda-se com esse comentário e realmente esse cenário deve ser levado em consideração. Nesse caso, o algoritmo utilizado precisaria ser ajustado para percorrer de maturidades atuais até o valor de TRL

8 e IRL 8, com suas respectivas alocações de custos financeiros e horas de trabalho. Quando as informações sobre as maturidades de TRL 9 e IRL 9 estiverem disponíveis reajustar-se-ia o algoritmo.

#### **8.2.5 Discussão sobre alocação de requisitos a maturidades tecnológicas / integração**

Para a última etapa da abordagem ROERM, entende-se que a percepção dos entrevistados sobre a complexidade/dificuldade de se alocar os resultados de evolução otimizada de maturidade às matrizes de validação e verificação de requisitos para oferecer um plano de emissão de documento orientado à evolução de maturidade está um pouco abaixo da complexidade neutra.

Espera-se que esta etapa seja mais direta e não apresente desafios técnicos significativos, uma vez que consiste em recuperar os dados do plano de evolução otimizado, comparar ao que havia sido estabelecido como necessário para evidenciar uma determinada maturidade e acrescentar o aspecto temporal. Para se melhorar o controle de evidências, pode-se exigir a criação de um relatório por demonstração de nível de maturidade de um requisito, ou seja, cada documento que será emitido para cumprir com cada nível de maturidade estipulado como necessário para ser demonstrado pelo aspecto tecnológico contido no requisito.

#### **8.2.6 Discussão sobre comentários finais**

Comentou-se sobre a execução da abordagem ERM e, sua evolução, ROERM ocorrer de forma incremental, iniciando por funções e, em seguida, com maior detalhamento de informações, descer no nível de requisitos. Comparando-se a Tabela 3.7 com o comentário, e levando-se em consideração a discussão apresentada acerca dessa tabela na Seção 8.2.1, entende-se que as funções sinalizadas poderiam ser transcritas para requisitos ou identificação de necessidades. No presente momento, entende-se que a abordagem ERM e sua evolução, a abordagem ROERM, passa a ter utilidade apenas quando os requisitos a serem atendidos pelas soluções tecnológicas são definidos. Todavia, concorda-se que a evolução dos requisitos de produto nas fases iniciais do projeto deverá ser significativa e que desafios relacionados ao uso

da abordagem ROERM existirão devido a essa volatilidade das bases de requisitos. Em um primeiro momento do desenvolvimento, espera-se que requisitos de alto nível estejam mais bem definidos, porém requisitos em nível de componentes ainda poderão ter lacunas ou dificuldades para se definir o que será necessário realizar para validá-los e verificá-los. A Figura 8.1 propõe uma abordagem ERM e, sua evolução, ROERM, executada de forma progressiva no tempo, definindo, como metas, níveis de maturidade mínimos a serem atingidos em uma determinada fase do projeto. Essa aplicação progressiva visa auxiliar na falta de informações consistentes relacionadas à maturidades mais altas em um determinado momento do cálculo a serem definidas em um momento posterior e que suportarão futuros cálculos de evolução otimizada de maturidade.

Comentou-se que a abordagem está centrada na otimização de cronograma (utilizando h/h), mas poderia ampliar o seu escopo para atender, também, a otimização de outros recursos, como custos e que, além disso, apresentar a contextualização de utilização da abordagem ROERM, como sua aplicabilidade durante o ciclo de vida, pode ajudar no entendimento da proposta. Para esclarecimento, conforme apresentado na Seção 3.1.5, o foco das abordagens consiste na minimização dos custos para se atingir um mesmo nível de maturidade SRL, utilizando a quantidade de horas de trabalho como variável restritiva. De fato, as abordagens não reduzirão custos se estes foram perfeitamente estimados desde o momento inicial. Porém, como os desafios de estimativas ao longo do desenvolvimento são grandes, espera-se que, ao focar-se os recursos nos elementos que aumentam a maturidade geral do produto de forma mais expressiva enquanto outros elementos, de maior custo, estão sendo entendidos de forma mais profunda, o caminho de evolução tenha menores riscos de descobertas de grande impacto ao desenvolvimento. A aplicação no ciclo de vida do projeto foi apresentada na Tabela 3.7 e suas considerações foram realizadas na Seção 8.2.1.

Comentou-se sobre a dificuldade de se visualizar quais os problemas os métodos propostos estão resolvendo, quais seus cenários de utilização e como esses métodos podem ser complementares ao NASA-TRL. As apresentações

focaram em apresentar as abordagens com escopo reduzido nos aspectos questionados, visando não polarizar a percepção dos entrevistados com a percepção do autor sobre os problemas de uso das abordagens e, dessa forma, permitindo aos entrevistados a também criarem um senso crítico para chegarem às mesmas conclusões ou, até mesmo, a conclusões distintas que agreguem ao resultado final da pesquisa, o que, após os diversos comentários dos entrevistados, de fato, ocorreu. Inclusive, este mesmo comentário levou a uma discussão subsequente com o entrevistado que permitiu melhor entender os problemas a serem resolvidos e atualizar aspectos relativos ao desenvolvimento da teoria. Os cenários de utilização estão contidos na Tabela 3.7 em conjunto com a discussão apresentada na Seção 8.2.1. Sobre a complementaridade com relação ao TRL, resumidamente, a escala apenas mede o estado tecnológico atual de um componente tecnológico, enquanto as abordagens ERM e ROERM vão além e visam elaborar uma teoria de planejamento e controle de desenvolvimento de produtos complexos utilizando como índice de desempenho o nível de maturidade SRL, calculado a partir dos índices TRL e IRL.

Comentou-se, também, sobre outros dois aspectos que poderiam ser abordados no futuro: a maturidade das equipes realizando as atividades relativas à abordagem ERM e sua evolução, a abordagem ROERM, e o quanto o uso dessas abordagens permite reduzir riscos de desenvolvimento. Com relação à maturidade da equipe, entende-se que o mesmo problema existe não só para uso das abordagens, porém para o próprio desenvolvimento de um produto complexo em si. Tomando, como exemplo, o processo de validação de requisitos para início da construção de protótipos, para o caso em que o nível de experiência da equipe seja baixa ou não existam as perícias corretas para realizar as validações, pode-se prosseguir com a construção de componentes ou protótipos que não atenderão as necessidades dos *stakeholders*. De forma semelhante, avaliações inconsistentes de maturidade irão impactar diretamente no cronograma de evolução otimizada de maturidade obtida pelo algoritmo aplicável. NASA (2017) considera o time que realiza avaliações de maturidade como um elemento crítico, mencionando ser extremamente importante ter uma



equipe bem equilibrada e experiente. Segundo NASA (2017), os membros da equipe não precisam, necessariamente, ser especialistas na disciplina avaliada, sendo a principal experiência necessária, para o avaliador, compreender o estado da arte atual da aplicação. A abordagem ROERM visa estruturar e avaliar, em detalhes, os requisitos de projeto a fim de minimizar a possibilidade de terem-se estimativas inconsistentes e com aspectos ausentes, portanto, idealmente, o responsável pela avaliação deveria ser especialista na disciplina avaliada. Com relação à quantificação de riscos de desenvolvimento, entende-se que a abordagem ERM e sua evolução, a abordagem ROERM, não possuem relação direta com gestão de riscos e incertezas de projetos como, por exemplo, matrizes de risco (MANKINS, 2009b). Entende-se que realizar a avaliação dos requisitos de forma detalhada para se determinar os níveis de maturidade e se estimar os custos possa contribuir para a identificação de potenciais riscos a serem mitigados e forneçam informações úteis para o controle de risco de desenvolvimento de sistemas por intermédio de uma ferramenta de gestão de risco adequada.

Um comentário menciona que as respostas são, de certa maneira, teóricas, pois os métodos não foram praticados. Idealmente, para total acoplamento à DSRM, os entrevistados deveriam ter praticado a abordagem ROERM. Porém, devido à abrangência de elementos de um desenvolvimento de produto complexos necessários para execução da abordagem, houve dificuldades em se conceber um exercício que pudesse ser praticado pelos entrevistados e que permitisse o exercício de determinação de níveis de maturidade e estimativas de custos. Porém, espera-se que esta condição seja mitigada pelo fato do artefato poder ser simulado em uma demonstração completa de execução e que essa demonstração já possua elementos suficientes para permitir uma ampla quantidade de comentários dos entrevistados por análise observacional. Essa suposição se materializou e as respostas aos questionários foram de fundamental importância para fornecer elementos de discussão e, inclusive, validar, ainda que teoricamente, as etapas execução do artefato em termos de funcionalidades e o acoplamento entre elas.

Outro comentário menciona os efeitos de custo no nível de sistemas (subsistemas) causando problemas de cronograma em seus componentes, individualmente. A questão de compromissos entre níveis sistema, subsistemas e componentes é relevante e foi abordada na Seção 8.1. Espera-se que, em um desenvolvimento real, compromissos entre os níveis componentes e subsistemas, muitas vezes envolvendo fornecedores de componentes ou subsistemas, deverão ser levados em consideração para que se possa criar o cronograma otimizado geral de desenvolvimento do produto final.

## 9 CONCLUSÃO

A identificação de um cronograma de evolução de maturidade otimizado para priorizar os recursos financeiros permite estabelecer um plano de liberação de evidências de validação e verificação de requisitos orientado ao avanço otimizado de maturidade. Esse cronograma pode trazer margens de orçamento mais altas para absorver eventuais impactos que possam ser resultado de novas informações ou situações adversas não originalmente previstas. A presente pesquisa propôs os esforços de validação e verificação de requisitos (V&V) como uma ferramenta para estimar a maturidade atual, os custos financeiros e as horas de trabalho associadas ao avanço de nível nas escalas de maturidade aplicáveis, trazendo, assim, mais acurácia aos dados de entrada para cálculo do cronograma de evolução de maturidade otimizado. O uso de matrizes modificadas de validação e verificação de requisitos que acrescentam atributos orientados à maturidade dos elementos tecnológicos e suas integrações estruturam e documentam informações relevantes do desenvolvimento permitindo quantas revisões forem necessárias. Este conjunto de conceitos constitui a essência da evolução da abordagem ERM (MAGNAYE et al., 2014) para a abordagem ROERM.

A utilização da abordagem ROERM permite que engenheiros e gerentes de sistemas complexos examinem a evolução do projeto e se as definições de requisitos feitas no passado ainda são válidas ou se são necessárias atualizações, por exemplo, devido a novas descobertas ou lacunas na atual validação de requisitos. Como a abordagem ROERM é orientada a requisitos e a processos de validação e verificação, entende-se ser obrigatório executar um gerenciamento de requisitos rigoroso para seu sucesso no projeto, o que incluirá atualizações nos atributos de requisitos, validação ou verificação assim que novas informações do projeto estiverem disponíveis. Isso permite aos usuários da abordagem ROERM, reavaliações de custos financeiros e de horas de trabalho, por intermédio do rigoroso controle das atividades de validação e verificação de requisitos. Atualizações das informações contidas sob os atributos propostos na abordagem ROERM podem (e espera-se que sejam frequentes) ser necessárias, dependendo dos novos desafios técnicos

referentes à validação ou verificação de um ou de um conjunto de requisitos. Nesse contexto, sugere-se, como boa prática, executar avaliações constantes e progressivas de maturidade de requisitos, por meio da abordagem ROERM, e finalizá-las em conjunto com a entrega de uma nova linha de base de requisitos, o que incluirá novas informações de validação e verificação de requisitos e permitirá determinar se uma solução otimizada de evolução de maturidade é aplicável. Os fluxogramas apresentados na abordagem devem ser entendidos como flexíveis, e adaptações de perguntas ou de suas estruturas para se enquadrarem de forma mais consistente nas aplicações que visam utilizar o artefato são viáveis e bem-vindas. Acrescenta-se que, caso ocorram evoluções nas escalas de maturidade ou novas propostas de definição de maturidade de um sistema sejam apresentadas, pode-se adaptar as perguntas e a estrutura do fluxograma da Figura 5.4 para endereçar esses possíveis cenários.

A discussão apresentada na Seção 8.1 culmina na identificação de dois relevantes direcionamentos de pesquisa passíveis de serem realizados para o artefato ROERM:

- Planejamento otimizado e integrado multiníveis, em que o resultado da execução do artefato seria um plano de liberação de relatórios que integra os níveis de requisitos de sistema, subsistemas e componentes. Dessa forma, cumprir-se-ia com a proposta original de evolução otimizada das maturidades das integrações tecnológicas, mas seriam considerados, simultaneamente, durante sua execução, elementos técnicos e gerenciais emergentes da distribuição de responsabilidades entre *stakeholders*, como empresas parceiras, fornecedores ou diferentes divisões da mesma empresa que iniciou o projeto.
- Planejamento otimizado progressivo de evolução de maturidade, em que se caracterizaria a proposta apresentada na Figura 8.1, inclusive analisando-se a viabilidade de associar este conceito a conceitos já apresentados na literatura como:

(1) a abordagem de engenharia de sistemas adaptativa apresentada em Shabtay e Zonnenshain (2010), uma vez que esta abordagem também propõe ciclos de planejamentos sucessivos que reagem a mudanças no ambiente de desenvolvimento com um gerenciamento flexível, variável e adaptativo; e (2) o conceito de “*Aprendizado ao se utilizar*”, apresentado em Chagas Junior e Campanário (2014), permitindo que incertezas sistêmicas sejam transformadas em riscos administráveis, por meio de sucessivas iterações de aprendizado sistêmico.

Espera-se que esta dissertação contribua para o avanço do conhecimento por meio do artefato proposto, sua demonstração, das avaliações realizadas com especialistas interessados na sua utilização e das discussões dos resultados das avaliações e da pesquisa. Existe, ainda, a expectativa de que a dissertação contribua para o avanço do conhecimento no INPE em relação à utilização dos conceitos de escalas de maturidade e de planejamento baseado em escalas de maturidade, levando à utilização destes conceitos em futuros projetos de desenvolvimento de satélites do INPE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERNETHEY, T. **An application of the Rayleigh distribution to contract cost data**. Monterey, CA: Naval Postgraduate School, 1984.

ARCHIBALD, R.D. **Managing high technology programs and projects**. 3.ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003.

AUSTIN, M. F.; YORK, D. M. System Readiness Assessment (SRA) an illustrative example. **Procedia Computer Science**, v. 44, p. 486–496, 2015.

AZIZIAN, N.; RICO, D.; SARKANI, S.; MAZZUCHI, T. The current state of DOD's technology readiness assessment (TRA) practice and its impact on system quality and program outcome. In: CONFERENCE ON SYSTEM ENGINEERING RESEARCH, 2010, Hoboken, NJ. **Proceedings...** 2010.

BLUMENSON, L. E.; MILLER, K. S. Properties of generalized Rayleigh distributions. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 34, p. 903–910, 1963.

CHAGAS JUNIOR, M. F.; CAMPANÁRIO, M. A. Systems architecture, procedural knowledge and learning by using: Implications on systems integration capabilities. **BAR - Brazilian Administration Review**, v. 11, n. 1, p. 1–21, 2014.

CILLI, M.; PARNELL, G. Vision for a multiple objectives decision support tool for assessing initial business cases of military technology investments. In: CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH, 8., 2010, Hoboken, NJ. **Proceedings...** 2010.

CRAWLEY, E.; CAMERON, B.; SELVA, D. **System architecture: strategy and product development for complex systems**. Harlow, UK: Pearson, 2016.

DAVIES, A.; HOBDAV, M. **The business of projects: managing innovation in complex products and systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design science research: a method for science and technology advancement**. Cham: Springer, 2015.

ERHARDT, W.; FLANIGAN, D.; HERDLICK, B. Defining and measuring federated model fidelity to support system-of-systems design and development. In: CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH, 8., 2010, Hoboken, NJ. **Proceedings...** 2010.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION - ECSS.  
**ECSS-M-ST-10C Rev.1 - Project planning and implementation.**  
Noordwijk, The Netherlands. ECSS, 2009.

FORBES, E.; VOLKERT, R.; GENTILE, P.; MICHAUD, K. Implementation of a methodology supporting a comprehensive system-of-systems maturity analysis for use by the Littoral Combat Ship mission module program. In: ANNUAL ACQUISITION RESEARCH SYMPOSIUM, 6., 2009. **Proceedings...** Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2009. p. 131–144.

GARRET, R.J.; ANDERSON, S.; BARON, N.; MORELAND, J.J. Managing the interstitials: a systems of systems framework suited for the ballistic missile defense system. **Systems Engineering**, v. 14, n.1, p. 87-109, 2010.

GREGOR, S; HEVNER, A.R. Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. **MIS Quarterly: Management Information Systems**, v. 37, n. 2, p. 337-355, 2013.

HEVNER, A.R. et al. Design science in information systems research. **MIS Quarterly: Management Information Systems**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.

HIRSHORN, S.; JEFFERIES, S. **Final report of the NASA Technology Readiness Assessment (TRA) study team.** NASA, 2016. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170005794>.

HOBDAV, M. Product complexity, innovation and industrial organisation. **Research Policy**, v. 26, n. 6, p. 689–710, 1998.

HOOKS, I. F.; FARRY, K. A. **Customer-centered products: creating successful products through smart requirements management.** New York: American Management Association, 2000.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE;  
INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC;  
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO.  
**ISO/IEC/IEEE 29148-2011 Systems and software engineering: requirements engineering.** Geneva, Switzerland, 2011.

\_\_\_\_\_. **ISO/IEC/IEEE 15288-2015 Systems and software engineering: system life cycle processes.** Geneva, Switzerland, 2015.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING - INCOSE.  
**INCOSE systems engineering handbook** version 4.0. Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons, 2015.

INTERNATIONAL SYSTEMS READINESS ASSESSMENT COMMUNITY OF INTEREST - ISRACOI. **System Readiness Assessment (SRA) engineering handbook**. ISRACOI, 2019. Disponível em: <http://www.isracoi.org/Library/Home>.

JESUS, G. T.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Integration readiness levels evaluation and systems architecture: a literature review. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 5, n. 4, p. 73–84, 2018.

JESUS, G. T. **Avaliação da maturidade de integração a partir de visões de arquitetura de sistemas espaciais**. 2019. 194p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

LEE, D. A.; HOGUE, M. R.; GALLAGHER, M. A. Determining a budget profile from a R&D cost estimate. **The Journal of Cost Analysis**, v. 14, n. 2, p. 29-41, 1993.

MAGNAYE, R. et al. Earned readiness management for scheduling, monitoring and evaluating the development of complex product systems. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 7, p. 1246–1259, 2014.

MAGNAYE, R.; SAUSER, B.; RAMIREZ-MARQUEZ, J.E. Using a system maturity scale to monitor and evaluate the development of systems. In: ANNUAL ACQUISITION RESEARCH SYMPOSIUM, 6., 2009. **Proceedings...** Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2009. p. 95–112.

MAGNAYE, R. B.; SAUSER, B. J.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E. System development planning using readiness levels in a cost of development minimization model. **Systems Engineering**, v. 13, n. 4, p. 311–323, 2010.

MANKINS, J. C. **Technology readiness levels: a white paper**. Washington, USA, 1995. Disponível em: <https://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trl.pdf>.

\_\_\_\_\_. Technology readiness assessments: a retrospective. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 9/10, p. 1216–1223, 2009a.

\_\_\_\_\_. Technology readiness and risk assessments: a new approach. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 9/10, p. 1208–1215, 2009b.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - **NASA. NASA systems engineering handbook (SP-2016-6105) rev 2**. Washington, USA NASA, 2017. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/release-of-revision-to-the-nasa-systems-engineering-handbook-sp-2016-6105-rev-2>.

OLECHOWSKI A. L.; EPPINGER S. D.; JOKLEGAR N.; TOMASCHEK K. Technology readiness levels: shortcomings and improvement opportunities. **Systems Engineering**, v. 23, n. 4, p. 395-408, 2020.



RAMIREZ-MARQUEZ, J. E.; ROCCO, C. Probabilistic knowledge discovery algorithm in network reliability optimization. In: ESREL ANNUAL CONFERENCE, 2007, Stavanger, Norway. **Proceedings...** 2007.

RAMIREZ-MARQUEZ, J. E.; ROCCO, C. All-terminal network reliability optimization via probabilistic solution discovery, reliability engineering & system safety. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 93, n. 11, p. 1689-1697, 2008.

RAMIREZ-MARQUEZ, J. E.; SAUSER, B. J. System development planning via system maturity optimization. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 56, n. 3, p. 533–548, 2009.

REZENDE, B. K.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Planejamento de atividades de desenvolvimento de sistemas complexos utilizando índices de maturidade em um modelo de minimização de recursos de projeto associado à matriz de verificação de requisitos. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS - WETE, 10., São José dos Campos, Brasil. **Anais...** São José dos Campos, Brasil: INPE, 2019. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m16d/2019/08.26.16.40>.

RIES, E. **The lean startup**: how today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses. [S.I.]: Crown Publishing Group, 2011.

ROEDLER, G.; RHODES, D.; JONES, C.; SCHIMMOLLER, H. **Systems engineering leading indicators guide**: version 2.0. San Diego, CA, USA: International Council on Systems Engineering (INCOSE), 2010. INCOSE-TP-2005-001-03.

SAGE, A. P.; LYNCH, C. L. Systems integration and architecting: an overview of principles, practices, and perspectives. **Systems Engineering**, v. 1, n. 3, p. 176–227, 1998.

SAUSER, B. J. et al. From TRL to SRL: the concept of systems readiness levels. In: CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH, 2006, Los Angeles, USA. **Anais...** Los Angeles, USA: 2006. Disponível em: <http://www.boardmansauser.com/downloads/2005SauserRamirezVermaGoveC SER.pdf>.

SAUSER, B. J. et al. A system maturity index for the systems engineering life cycle. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 3, n. 6, p. 673–691, 2008.

SAUSER, B.; RAMIREZ-MARQUEZ, J.; MAGNAYE, R.; TAN, W. **System maturity indices for decision support in the defense acquisition process**. [S.I.]: NPS, 2008a. p. 127–140.

SAUSER, B. J.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E.; TAN, W. A systems approach to expanding the technology readiness level within defense acquisition. **International Journal of Defense Acquisition Management**, v. 1, p. 39–58, 2008b.

SAUSER, B. J. et al. Defining an integration readiness level for defense acquisition. **INCOSE International Symposium**, v. 19, n. 1, p. 352–367, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/j.2334-5837.2009.tb00953.x>.

SCEARCE, P. **A study of US government's satellite incumbents and follow-on competitions**. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2007.

SHABTAY, M.; ZONNENSHAIN, A. Adaptive Systems Engineering. **4th edition of Israel's systems engineering magazine INCOSE**, p. 20–34, 2010. Disponível em: [https://incoseil.org/database\\_details.php?id=1073](https://incoseil.org/database_details.php?id=1073).

SIMON, H. A. The science of design: creating the artificial. In: \_\_\_\_\_. **The sciences of the artificial**. 3.ed. Cambridge, USA: MIT Press, 1996. p. 111–138.

TOMASCHEK, K.; OLECHOWSKI, A.; EPPINGER, S.; JOGLEKAR, N. A Survey of technology readiness level users. In: INCOSE INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2016 Edinburgh, UK. **Proceedings...** Edinburgh, UK, 2016. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/j.2334-5837.2016.00283.x>.

TREMBLAY, M. C.; HEVNER, A. R.; BERNDT, D. J. The use of focus gGroups in design science research. In: HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. (Ed.). **Design research in information systems: theory and practice**. Boston, USA: Springer, 2010. p. 121–143.

WERTZ, J. R. Reducing space mission cost and schedule. In: WERTZ, J. R. et al. (Ed.). **Space mission engineering: the new SMAD**. El Segundo, USA: Microcosm Press, 2011.

YOUNG, R. **The requirements engineering handbook**. [S.l.]: Artech House, 2011.

## APÊNDICE A – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Diversas pesquisas bibliométricas relativas às escalas de maturidade e ao gerenciamento de desenvolvimento de sistemas complexos foram realizadas utilizando a ferramenta de busca e análise de publicações Scopus (2020).

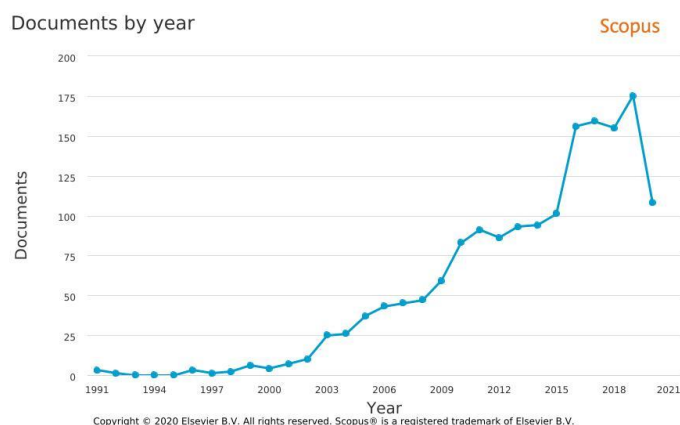
A ferramenta Scopus consiste em um banco de dados de resumos e citações da literatura que possuem processos de revisão: revistas científicas, livros e anais de congressos. A ferramenta oferece uma visão da produção mundial de pesquisa nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais e artes e humanidades, apresentando ferramentas para rastrear, analisar e visualizar pesquisas.

### A.1. Technology Readiness Level

Utilizando o termo “*Technology Readiness Level*” na ferramenta Scopus (2020), houve retorno de 1,621 publicações que contém o termo completo no título, resumo ou no campo de palavras-chave. Observa-se que um conjunto limitado de publicações relacionadas ao termo, de fato, discutem a escala ou propõem melhorias processuais para sua utilização e outro conjunto de publicações apenas menciona a escala no sentido de caracterizar o nível tecnológico da tecnologia discutida no artigo.

A Figura A.1 apresenta a evolução de publicações a cada ano, o que demonstra a consolidação da escala TRL como método de avaliação de maturidade tecnológica.

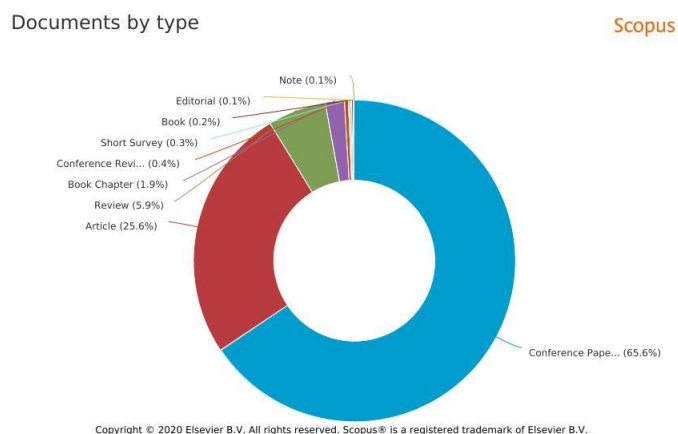
Figura A.1 – Publicações relativas à escala TRL por ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.2 apresenta os tipos de documentos que foram publicados relacionados à escala TRL, predominantemente artigos de conferência, porém também aparecendo em livros, capítulos de livros e outros.

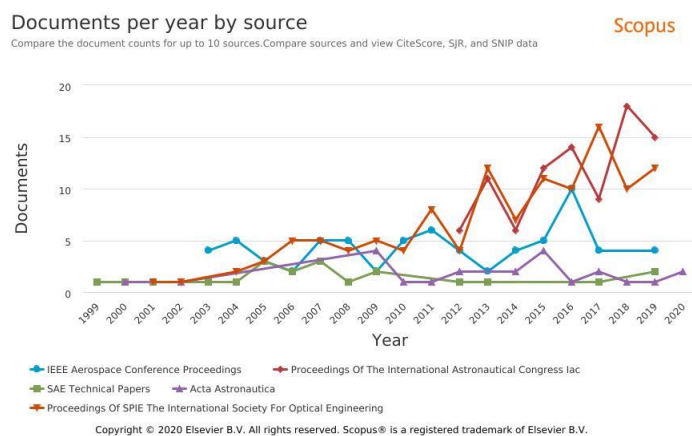
Figura A.2 – Publicações relativas à escala TRL por tipo.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.3 apresenta as fontes de publicação de documentos relacionados à escala TRL por ano, predominantemente da área aeroespacial.

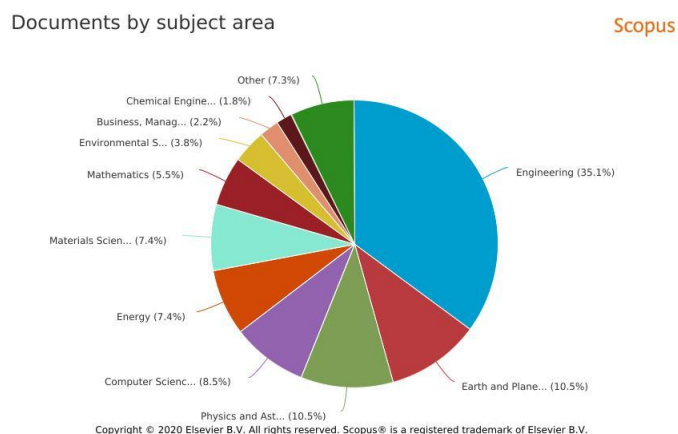
Figura A.3 – Publicações relativas à escala TRL por fonte a cada ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.4 apresenta a correlação de publicações com domínios do conhecimento relacionados à escala TRL, predominantemente da área Engenharia, porém com percentuais razoáveis em outras áreas do conhecimento como Ciências da Terra e Planetas, Física, Ciência da Computação, Ciência dos Materiais e Energia.

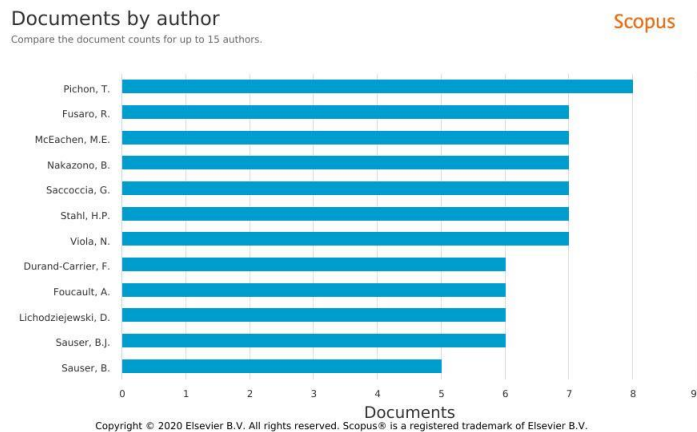
Figura A.4 – Publicações relativas à escala TRL por domínio do conhecimento.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.5 apresenta a correlação de publicações relacionadas à escala TRL e seus autores. O autor Brian Sauser possui duas entradas de nome na base Scopus e, por esse motivo, aparece nas últimas posições, porém ele é o autor com mais publicações sobre a escala.

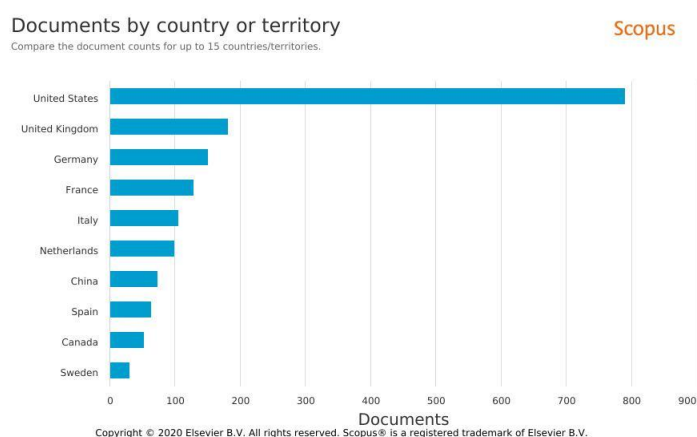
Figura A.5 – Publicações relativas à escala TRL por autor.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.6 apresenta a correlação de publicações relacionadas à escala TRL e seus países de origem. Os Estados Unidos e países da Europa dominam os estudos e referências à escala TRL.

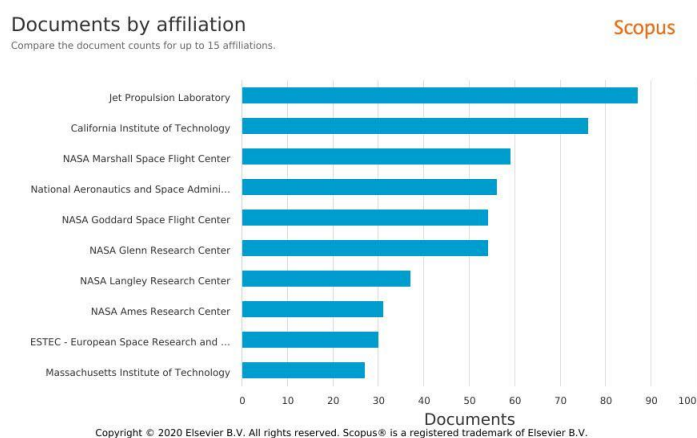
Figura A.6 – Publicações relativas à escala TRL por país.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.7 apresenta a correlação de publicações relacionadas à escala TRL e as instituições representantes. O predomínio de instituições relacionadas à NASA é visível.

Figura A.7 – Publicações relativas à escala TRL por afiliação institucional.



Fonte: Scopus (2020).

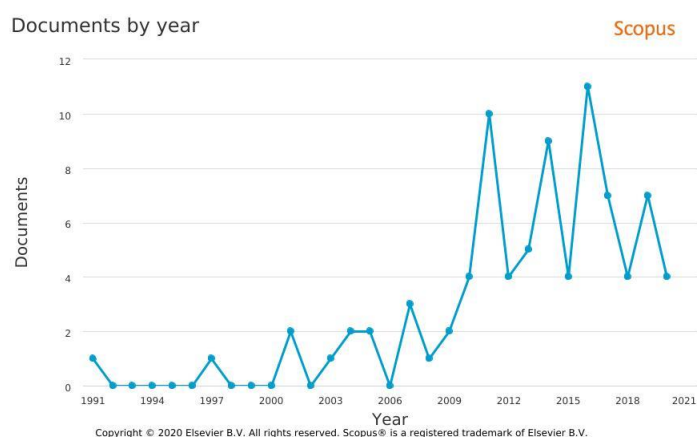
## A.2. Technology Readiness Assessment

Uma pesquisa avançada combinando os termos “Technology Readiness Assessment” e “Technology Readiness Level Assessment” e resultando na pesquisa lógica ["Technology Readiness Assessment" OR "Technology Readiness Level Assessment"] foi realizada na ferramenta Scopus (2020) com o intuito de fornecer uma visibilidade mais direta sobre as publicações que utilizam ou discutem esse processo de avaliação de maturidade. Houve um

retorno de 84 publicações atendendo o critério da pesquisa levando em consideração o título, resumo ou palavras-chave da publicação. Comparando-se com o número de publicações que mencionam o termo “Technology Readiness Level”, percebe-se uma redução significativa, e, apesar de não excluir todas as publicações que não realizam ou discutem processos TRA em seu conteúdo, fornecem um direcionamento bibliográfico para estudo de processos de avaliação de maturidade tecnológica.

A Figura A.8 apresenta a evolução de publicações a cada ano sobre processos de avaliação (*assessment*) de TRLs com média de sete publicações relacionadas por ano nos últimos dez anos.

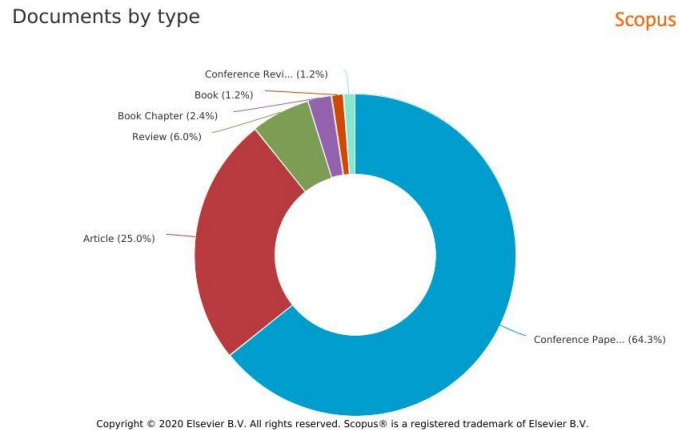
Figura A.8 – Publicações relativas a processos TRA por ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.9 apresenta os tipos de documentos que foram publicados relacionados a processos de avaliação de TRL, predominantemente artigos de conferência, porém também aparecendo em livros, capítulos de livros e outros.

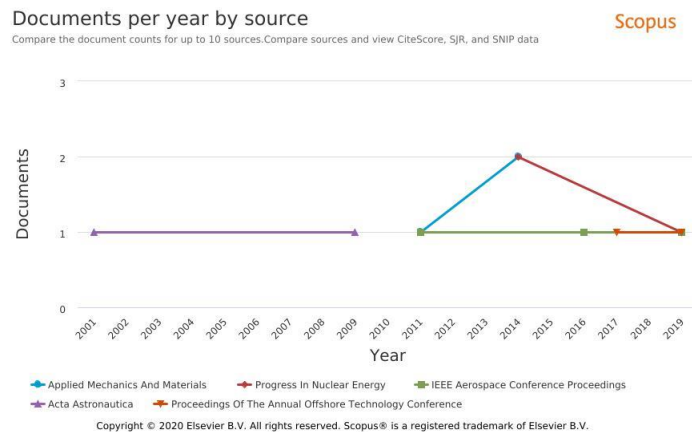
Figura A.9 – Publicações relativas a processos TRA por tipo.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.10 apresenta as fontes de publicação de documentos relacionados com avaliação de TRL por ano, apresentando uma ligeira redução da predominância da área aeroespacial quando se comparando à pesquisa da seção anterior.

Figura A.10 – Publicações relativas a processos TRA por fonte a cada ano.

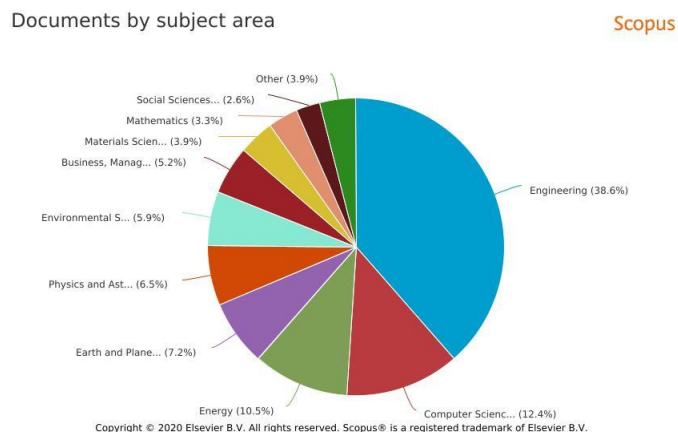


Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.11 apresenta a correlação de publicações com domínios do conhecimento relacionados a processos de avaliação na escala TRL, predominantemente da área Engenharia, porém com percentuais razoáveis em outras áreas do conhecimento como Ciência da Computação, Energia, Ciências da Terra e Planetas, Física, Ciência do Ambiente, Ciência dos Materiais e outros.



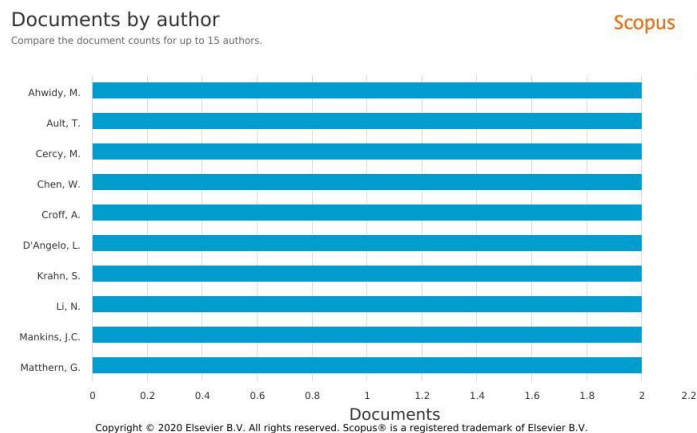
Figura A.11 – Publicações relativas a processos TRA por domínio do conhecimento.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.12 apresenta a correlação de publicações relacionadas a processos de avaliação TRL e seus autores. Não existe uma predominância de autor para essa pesquisa.

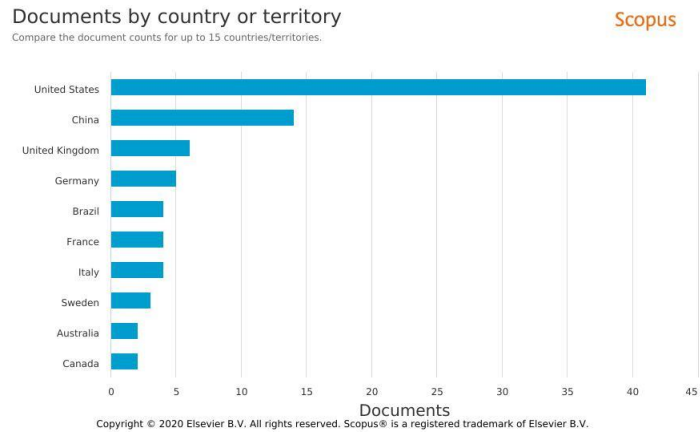
Figura A.12 – Publicações relativas a processos TRA por autor.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.13 apresenta a correlação de publicações relacionadas a avaliações de TRL e os respectivos países de origem. Os Estados Unidos apresentam maior número de publicações, mantendo a predominância sobre publicações relacionadas à escala TRL e sua avaliação, porém outros países figuram com o termo específico buscado, inclusive o Brasil.

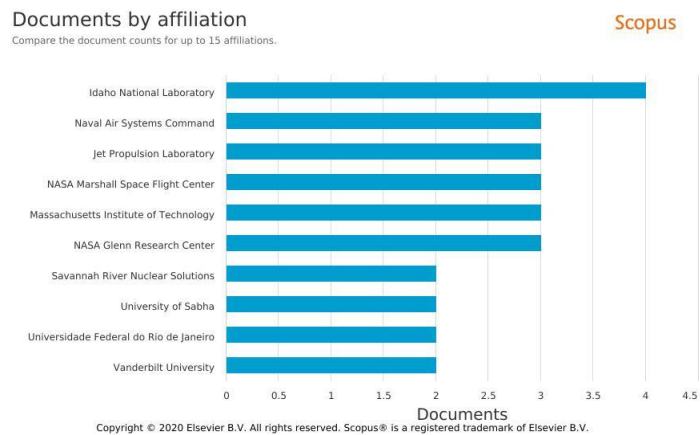
Figura A.13 – Publicações relativas a processos TRA por país.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.14 apresenta a correlação de publicações relacionadas a processos de avaliação na escala TRL e as instituições representantes. A relação com instituições relacionadas à NASA ainda é visível.

Figura A.14 – Publicações relativas a processos TRA por afiliação institucional.



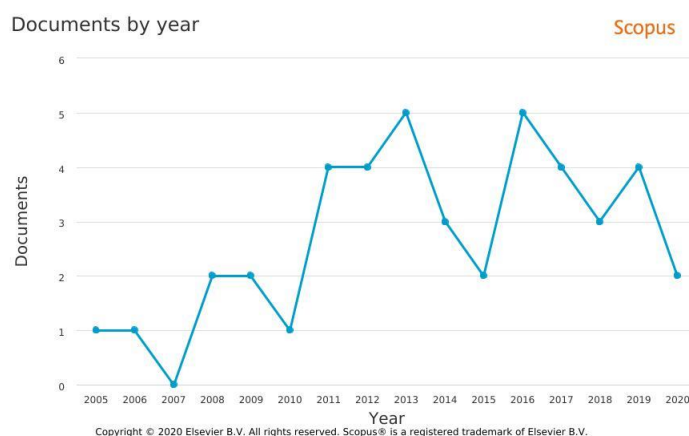
Fonte: Scopus (2020).

### A.3. System Readiness Level

Progredindo na análise bibliográfica das ferramentas utilizadas pela abordagem ERM, pesquisou-se o termo “System Readiness Level” na ferramenta Scopus (2020) e houve retorno de 43 publicações que contém o termo completo no título, resumo ou no campo de palavras-chave.

A Figura A.15 apresenta a evolução de publicações a cada ano relacionadas à escala SRL. Percebe-se que a escala SRL, quando comparado à escala TRL, ainda se encontra em singela difusão literária desde a primeira publicação, não apresentando a mesma evolução em termos de quantidade de publicações no intervalo de 15 anos após a primeira publicação.

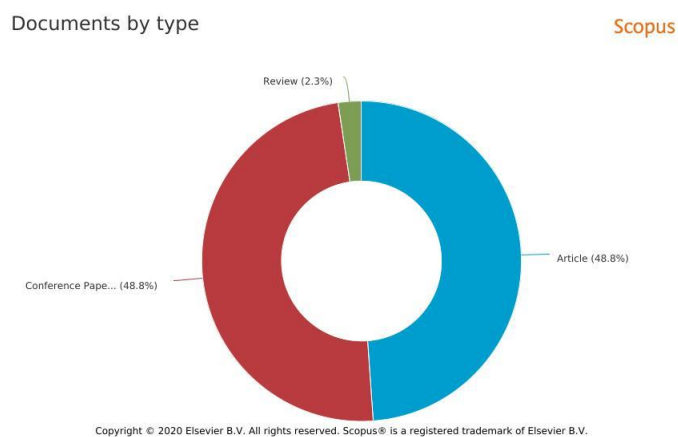
Figura A.15 – Publicações relativas à escala SRL por ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.16 apresenta os tipos de documentos que foram publicados relacionados à escala SRL, predominantemente, artigos e artigos de conferência. Essa realidade é semelhante à da escala TRL nos primeiros 15 anos após sua primeira publicação (1991 a 2006).

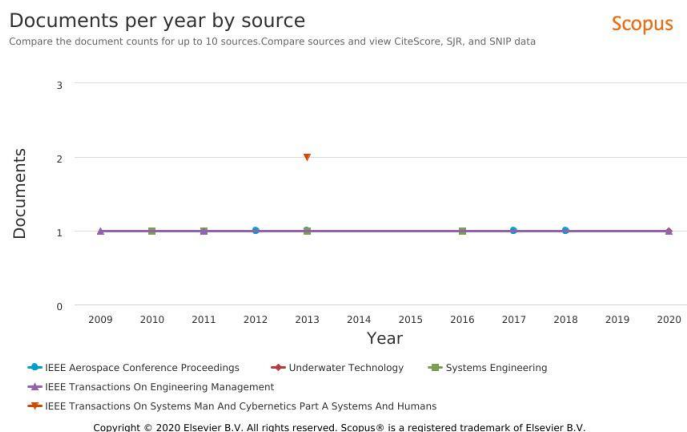
Figura A.16 – Publicações relativas à escala SRL por tipo.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.17 apresenta as fontes de publicação de documentos relacionados à escala SRL por ano, predominantemente da IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

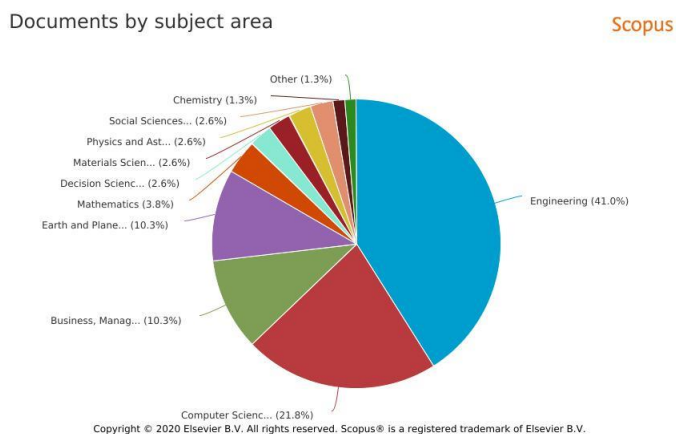
Figura A.17 – Publicações relativas à escala SRL por fonte a cada ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.18 apresenta a correlação de publicações com domínios do conhecimento relacionados à escala SRL, predominantemente da área Engenharia, porém com percentuais razoáveis em outras áreas do conhecimento como Ciência da Computação, Administração, Ciências da Terra e Planetas e outros.

Figura A.18 – Publicações relativas à escala SRL por domínio do conhecimento.

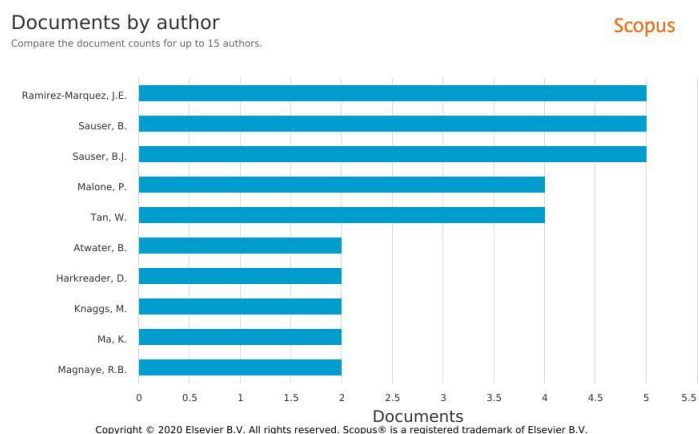


Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.19 apresenta a correlação de publicações relacionadas à escala TRL e seus autores. Como o autor Brian Sauser possui duas entradas de nome

na base Scopus, aparece como segundo e terceiro autor a publicar utilizando o conceito da escala, sendo o autor com mais publicações sobre a escala SRL seguido por Juan Ramirez-Marquez.

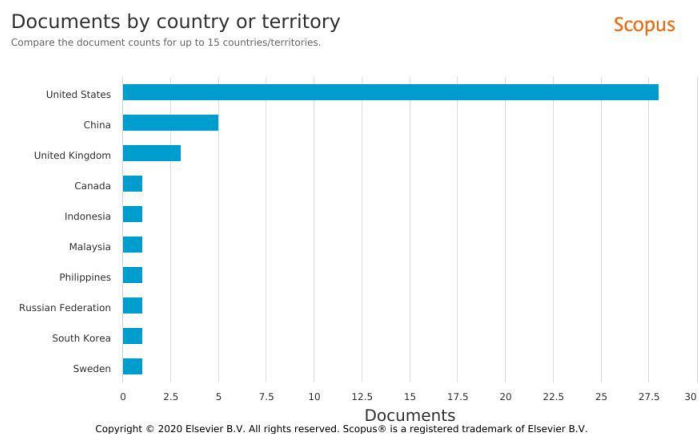
Figura A.19 – Publicações relativas à escala SRL por autor.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.20 apresenta a correlação de publicações relacionadas à escala SRL e os países de origem. Os Estados Unidos dominam os estudos e referências à escala SRL. Em comparação com a escala TRL, percebe-se que os países da Europa não apresentam até os dias atuais a mesma aderência à escala SRL.

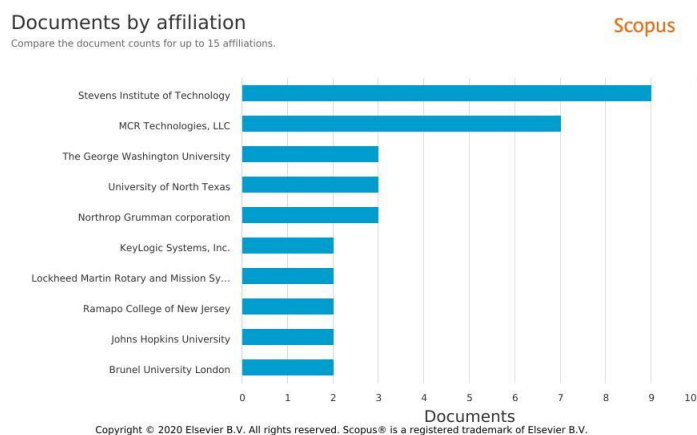
Figura A.20 – Publicações relativas à escala SRL por país.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.21 apresenta a correlação de publicações relacionadas à escala SRL e as instituições representantes. O predomínio das instituições Stevens Institute of Technology e MCR Technologies LLC é visível.

Figura A.21 – Publicações relativas à escala SRL por afiliação institucional.



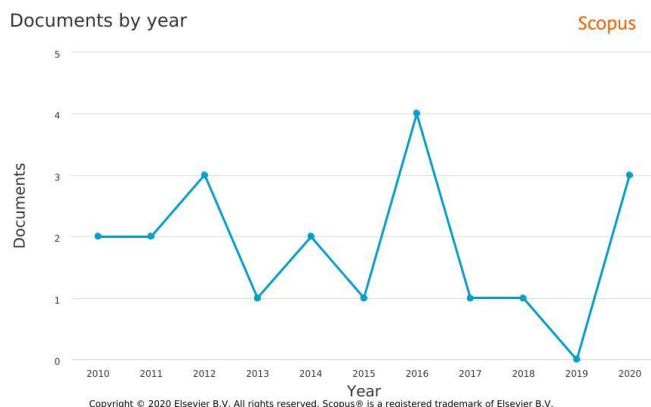
Fonte: Scopus (2020).

#### A.4. System Readiness Assessment

Semelhante à pesquisa sobre a avaliação de níveis de TRL, uma pesquisa avançada combinando os termos “System Readiness Assessment” e “System Readiness Level Assessment” que resulta na pesquisa lógica ["System Readiness Assessment" OR "System Readiness Level Assessment"] foi realizada na ferramenta Scopus (2020) com o intuito de fornecer uma visibilidade mais transparente sobre as publicações que utilizam ou discutem esse processo de avaliação de maturidade nessa escala. Houve um retorno de 20 publicações atendendo o critério da pesquisa levando em consideração o título, resumo ou palavras-chave da publicação. Comparando-se com o número de publicações que mencionam o termo “System Readiness Level”, percebe-se uma redução para, aproximadamente, metade das publicações, e, apesar de considerar todas as publicações, inclusive as que não realizam ou discutem processos SRA em seu conteúdo, fornecem um direcionamento bibliográfico para estudo de processos de avaliação de maturidade tecnológica que utilizam a escala SRL.

A Figura A.22 apresenta a evolução de publicações a cada ano sobre processos de avaliação (*assessment*) de SRLs. A primeira publicação em que o termo “*assessment*” aparece em conjunto com o “*System Readiness*” ocorreu cinco anos após a primeira publicação sobre a escala SRL.

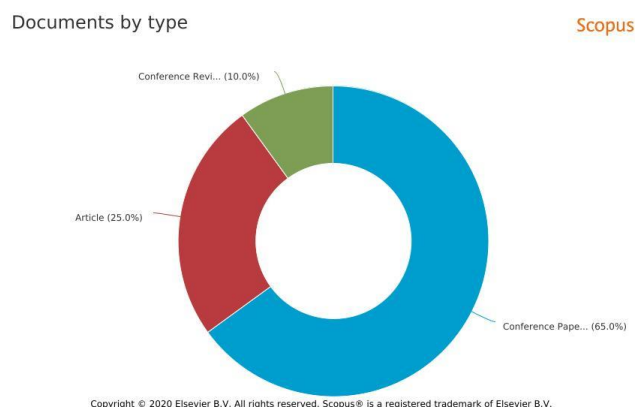
Figura A.22 – Publicações relativas a processos SRA por ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.23 apresenta os tipos de documentos que foram publicados relacionados a processos de avaliação na escala SRL, predominantemente artigos de conferência, seguido de artigos e revisões de conferência.

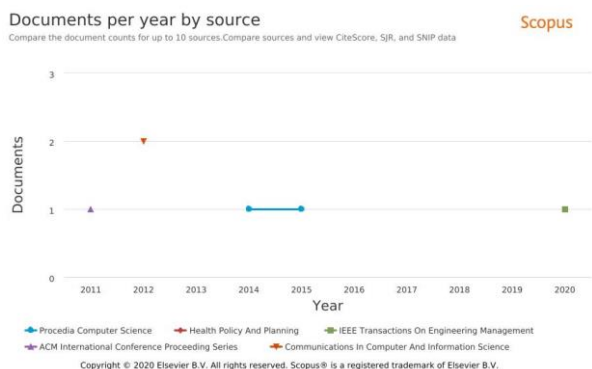
Figura A.23 – Publicações relativas a processos SRA por tipo.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.24 apresenta as fontes de publicação de documentos relacionados a processos de avaliação na escala SRL por ano, sendo bem diversificada.

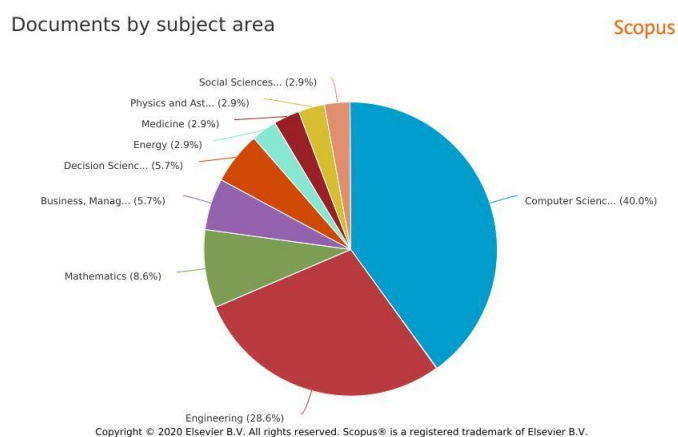
Figura A.24 – Publicações relativas a processos SRA por fonte a cada ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.25 apresenta a correlação de publicações com domínios do conhecimento relacionados a processos de avaliação na escala SRL, predominantemente da área de Ciência da Computação, seguida de Engenharia e percentuais razoáveis em outras áreas do conhecimento como Matemática, Administração e outros.

Figura A.25 – Publicações relativas a processos SRA por domínio do conhecimento.

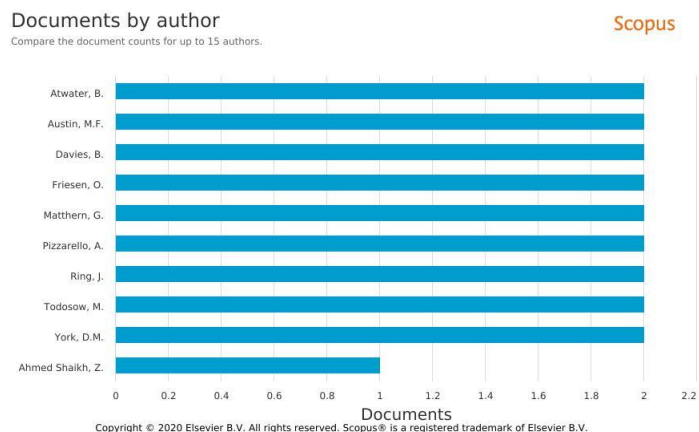


Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.26 apresenta a correlação de publicações relacionadas a processos de avaliação na escala SRL e seus autores. A predominância de autores acontece para os autores que publicaram duas publicações sobre o tema.



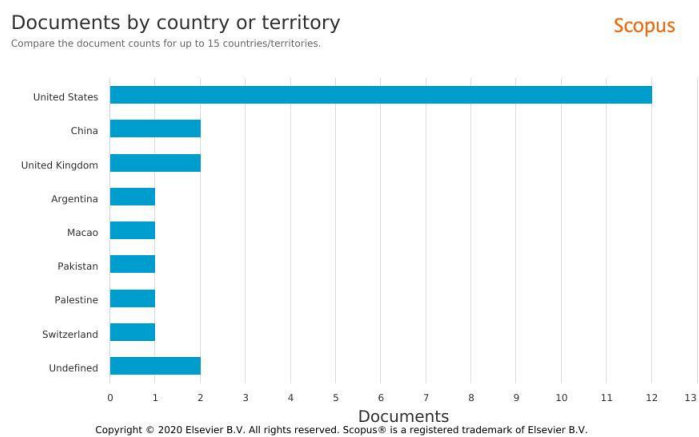
Figura A.26 – Publicações relativas a processos SRA por autor.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.27 apresenta a correlação de publicações relacionadas a processos de avaliação na escala SRL e os países de origem. Os Estados Unidos são, novamente, listados como o país com maior número de publicações.

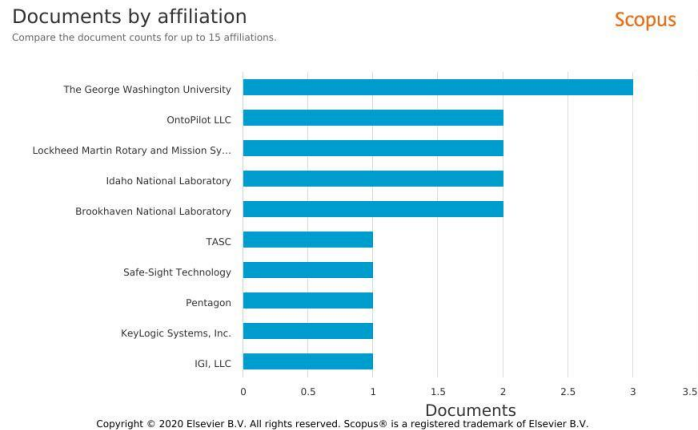
Figura A.27 – Publicações relativas a processos SRA por país.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.28 apresenta a correlação de publicações relacionadas a processos de avaliação na escala SRL e as instituições representantes. A lista de instituições é diversificada com a universidade *George Washington University* com maior número de publicações.

Figura A.28 – Publicações relativas a processos SRA por afiliação institucional.



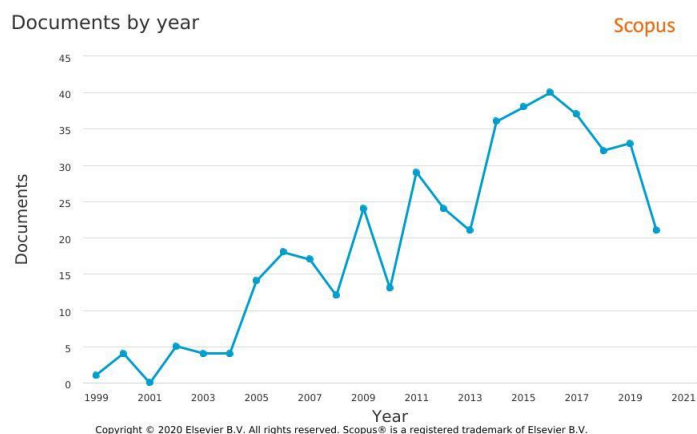
Fonte: Scopus (2020).

### A.5. Earned Value Management

Pelo fato da abordagem ERM ter sido comparada à abordagem EVM, uma análise bibliográfica sobre a abordagem EVM foi realizada para entender a abrangência de publicações relacionadas a essa abordagem de gerenciamento. Utilizando o termo “Earned Value Management” na ferramenta Scopus (2020), houve um retorno de 428 publicações que contém o termo completo no título, resumo ou no campo de palavras-chave.

A Figura A.29 apresenta a evolução de publicações a cada ano sobre a abordagem EVM. Percebe-se que a abordagem possui uma característica ascendente mais significativa 6 anos após a primeira publicação, demonstrando uma característica de aceitação da abordagem que será melhor detalhada nas análises subsequentes dessa subseção.

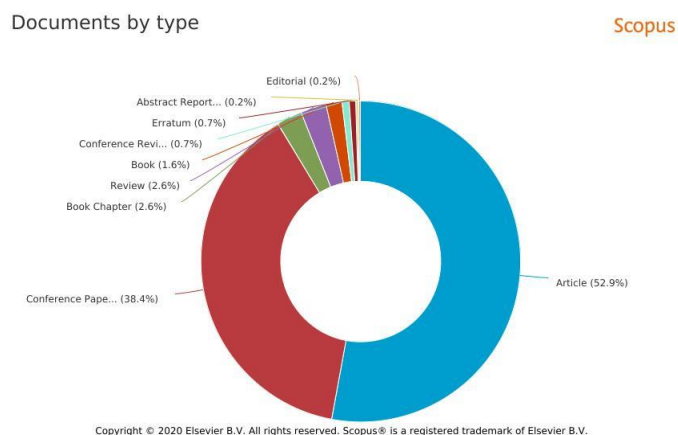
Figura A.29 – Publicações relativas à abordagem EVM por ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.30 apresenta os tipos de documentos que foram publicados relacionados à abordagem EVM, predominantemente artigos e artigos de conferência, porém também aparecendo em livros, capítulos de livros e outros.

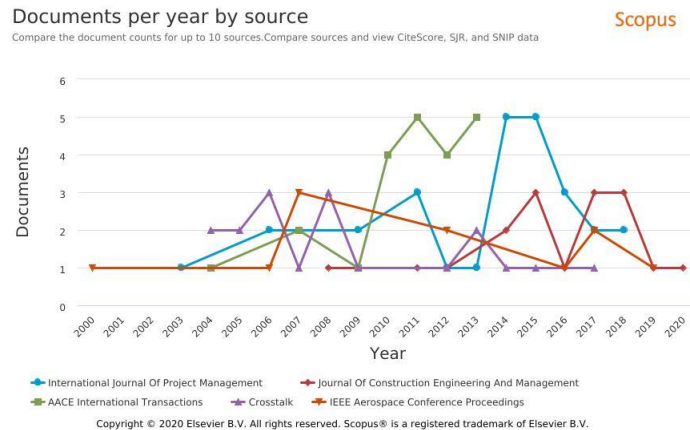
Figura A.30 – Publicações relativas à abordagem EVM por tipo.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.31 apresenta as fontes de publicação de documentos relacionados à abordagem EVM por ano, predominantemente das áreas de administração e engenharia.

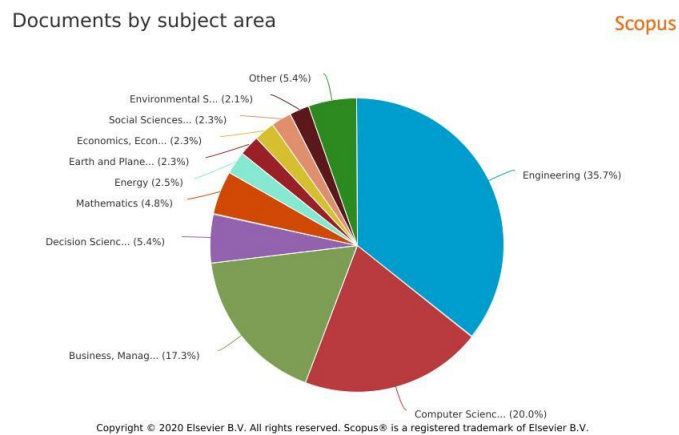
Figura A.31 – Publicações relativas à abordagem EVM por fonte a cada ano.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.32 apresenta a correlação de publicações com domínios do conhecimento relacionados à abordagem EVM, predominantemente da área Engenharia, seguido de percentuais significativos em Ciência da Computação e Administração e percentuais mais reduzidos em outras áreas do conhecimento como Ciências de Tomada de Decisão, Matemática, Energia e outros.

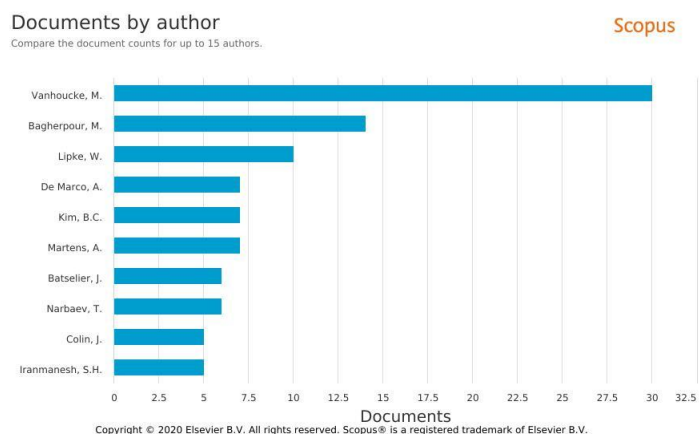
Figura A.32 – Publicações relativas à abordagem EVM por domínio do conhecimento.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.33 apresenta a correlação de publicações relacionadas à abordagem EVM e seus autores. O autor Mario Vanhoucke é o autor com mais publicações sobre a abordagem EVM.

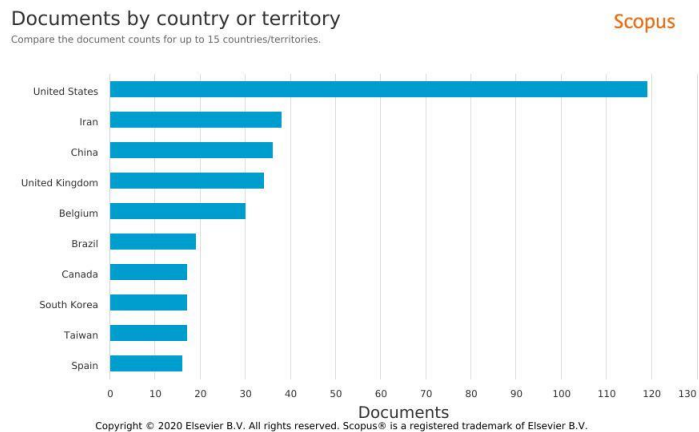
Figura A.33 – Publicações relativas à abordagem EVM por autor.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.34 apresenta a correlação de publicações relacionadas à abordagem EVM e os países de origem. Os Estados Unidos possuem maior número de publicações contendo o termo pesquisado e o Brasil aparece na sexta posição.

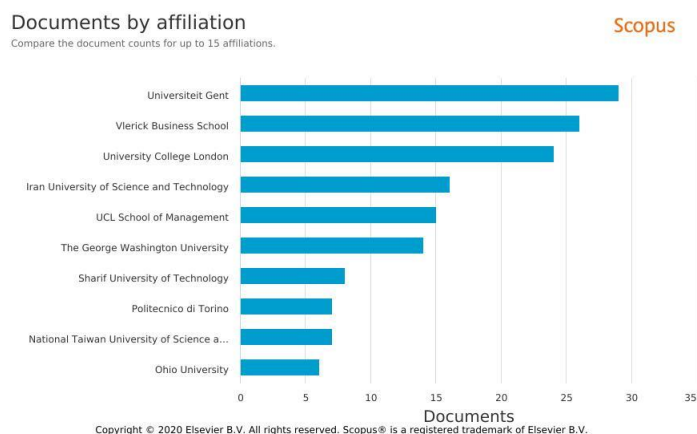
Figura A.34 – Publicações relativas à abordagem EVM por país.



Fonte: Scopus (2020).

A Figura A.35 apresenta a correlação de publicações relacionadas à abordagem EVM e as instituições representantes. As duas primeiras instituições são belgas e totalizam todas as 30 publicações realizadas pela Bélgica no assunto.

Figura A.35 – Publicações relativas à abordagem EVM por afiliação institucional.



Fonte: Scopus (2020).

## A.6. Earned Readiness Management

Uma análise bibliográfica sobre a abordagem ERM foi realizada para entender a abrangência de publicações relacionadas a essa abordagem de gerenciamento. Utilizando o termo “Earned Readiness Management” na ferramenta Scopus (2020) houve um retorno de apenas uma publicação contendo o termo completo no título, resumo ou no campo de palavras-chave. A publicação se trata de Magnaye et al. (2014), amplamente abordada no presente trabalho de pesquisa. Uma vez que não houve resultados com publicações que mencionaram diretamente o termo, foi realizada uma contagem da primeira camada de citações para os artigos Magnaye et al. (2010), com 19 citações, e Magnaye et al. (2014), com 11 citações.

## A.7. Outras pesquisas bibliográficas

Para avaliar se o conceito de utilização de gerenciamento de requisitos para uso da abordagem ERM já havia sido proposto, foi realizada pesquisas combinadas utilizando combinações lógicas de termos relacionados a escalas de maturidade e gerenciamento de requisitos.

A primeira pesquisa foi pela combinação lógica dos termos:

"Technology Readiness Management" OR "Technology Maturity Management"  
OR "System Readiness Management" OR "System Maturity Management" OR  
"Readiness Oriented Management" OR "Maturity Oriented Management"

Para essa combinação lógica de termos, não foram encontrados resultados.

A segunda pesquisa foi pela combinação lógica de termos:

"Technology Readiness" OR "Technology Maturity" OR "System Readiness"  
OR "System Maturity" AND "Requirements Management"

Para essa combinação lógica de termos, foi encontrado 1 resultado de título "*Shuttle shortfalls and lessons learned for the sustainment of human space exploration*", porém o termo "*requirements*" e "*management*" presentes no *abstract* do artigo se referiam a cada um desses elementos de forma separada, conforme compilado a seguir: "[...] *Shortfalls and lessons learned can be categorized as related to design factors, at the architecture, element and sub-system levels, as well as to programmatic factors, in terms of goals, requirements, management and organization*".

Baseado nesses resultados de buscas específicas, espera-se que a abordagem ROERM seja um conteúdo científico original que possa operacionalizar os conceitos da abordagem ERM e contribuir à Engenharia de Sistemas como um todo.

## **APÊNDICE B – COLETA DE DADOS DA PESQUISA**

### **B.1. Dados dos entrevistados**

A Tabela B.1 apresenta os seguintes dados dos profissionais entrevistados: código identificador, nome, função nos projetos de desenvolvimento de sistemas, instituição/corporação, grupo focal, data da apresentação e data da resposta ao questionário.



Tabela B.1 - Dados dos profissionais entrevistados.

ID	Entrevistado	Função	Instituição/Corporação	Grupo Focal	Data da apresentação	Data do questionário
1	Alex Gomes	Desenvolvimento de Sistemas	Mitsubishi Aircraft Corporation	Exploratório	19/08/2020	20/08/2020
2	Carlos Souza	Desenvolvimento de Sistemas	MagniX	Exploratório	24/08/2020	20/09/2020
3	Dinah Eluze Sales Leite	Desenvolvimento Tecnológico	Embraer	Exploratório	19/08/2020	25/08/2020
4	Luis Samico	Desenvolvimento de Sistemas	Mitsubishi Aircraft Corporation	Exploratório	14/08/2020	04/09/2020
5	Fabricio Spigolon	Desenvolvimento de Sistemas	Mitsubishi Aircraft Corporation	Exploratório	14/08/2020	29/09/2020
6	Gabriel Torres de Jesus	Desenvolvimento Tecnológico	INPE	Confirmatório	19/08/2020	19/08/2020
7	Gledson Hernandes Diniz	Garantia de produto	INPE	Confirmatório	19/08/2020	24/08/2020
8	Hadler Egidio da Silva	Garantia de produto	INPE	Confirmatório	22/08/2020	09/10/2020
9	Inaldo Soares de Albuquerque	Garantia de produto	INPE	Confirmatório	13/08/2020	20/08/2020
10	Laercio Filho	Gerenciamento de projetos	Embraer	Exploratório	13/08/2020	31/08/2020
11	Lucas Lopes Costa	Qualidade de produto	INPE	Confirmatório	19/08/2020	21/08/2020
12	Marcelo Almeida Silva	Certificação de produto	Mitsubishi Aircraft Corporation	Exploratório	18/08/2020	24/09/2020
13	Paulo Ricardo Laurentino	Gerenciamento de projetos	Mitsubishi Aircraft Corporation	Exploratório	13/08/2020	18/08/2020
14	Teresa Raquel	Certificação de produto	Embraer	Confirmatório	19/08/2020	19/08/2020

Fonte: Produção do autor.

## B.2. Apresentações utilizadas

Foram realizadas duas apresentações: uma contendo os aspectos bibliográficos e explicação sobre a abordagem ERM (Figura B.1); e outra contendo os aspectos bibliográficos e explicações sobre a abordagem ROERM (Figura B.2). Nota-se que a apresentação foi realizada com o nome predecessor R2O2S e que foi substituído para ROERM, como discutido na Seção 5.2.

Figura B.1 - Apresentação abordagem ERM.

The figure consists of six slides from a presentation. The first slide is the title slide, followed by a table of contents. The next three slides detail the Technology Readiness Level (TRL) scale and the Technology Readiness Assessment (TRA) process. The final slide discusses why a system maturity scale is needed.

**Slide 1: Abordagem Earned Readiness Management (ERM)**  
 Aluno: Bernardo Kaipper de Rezende  
 Orientador: Milton Chagas  
 Curso de Pós-Graduação do INPE  
 Engenharia e Tecnologia Espaciais  
 Área de Concentração  
 Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais  
 Agosto 2020

**Slide 2: Conteúdo**

- Escalas de maturidade TRL
- Processo TRA
- Escalas de maturidade IRL e SRL
- Processo SRA
- Modelo de minimização de custo de maturidade
- Abordagem Earned Readiness Management (ERM)

**Slide 3: Escala Technology Readiness Level (TRL)**

- Metodologia para mensurar sistematicamente a maturidade;
- Prover suporte para avaliações de maturidade;
- Permitir a comparação de maturidade entre diferentes tecnologias;
- Fornece o histórico de desempenho de uma tecnologia.

**Slide 4: Processo TRA (Technology Readiness Assessment)**

- Estabelecer um conjunto de definições relevantes para especificar a maturidade;
- Definir um processo para quantificar julgamentos de engenharia/produto;
- Montar um time de especialistas em avaliações de maturidade;
- Perguntar as perguntas certas.

**Slide 5: Processo TRA (Technology Readiness Assessment)**

Desenvolvimento do Sistema	Desenvolvimento do Sistema				Desenvolvimento do Sistema			
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4
1.0 System								
1.1 Subsystem X								
1.1.1 Mechanical Components								
1.1.2 Mechanical Systems								
1.1.3 Electrical Components								
1.1.4 Electrical Systems								
1.1.5 Control Systems								
1.1.6 Thermal Systems								
1.1.7 Fluid Systems								
1.1.8 Optical Systems								
1.1.9 Electro-Optical Systems								
1.1.10 Software Systems								
1.1.11 Mechanisms								
1.1.12 Integration								
1.2 Subsystem Y								
1.2.1 Mechanical Components								

**Slide 6: Porque uma escala de maturidade de sistema?**

- O TRL é apenas uma medida de uma tecnologia individual;
- O TRL não fornece uma indicação da maturidade do sistema, apenas de uma tecnologia.
- Não existe uma metodologia de integração de TRLs
- Não existe uma forma sistemática de medir a maturidade do sistema.

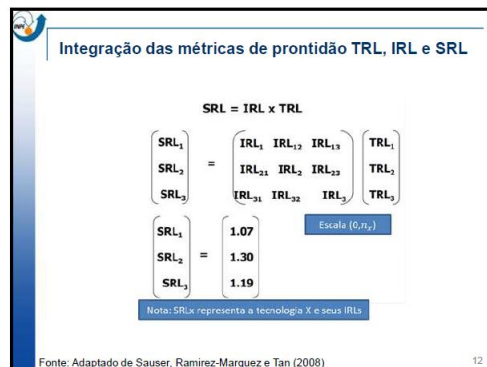
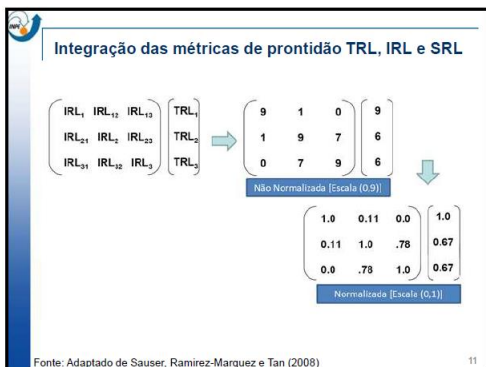
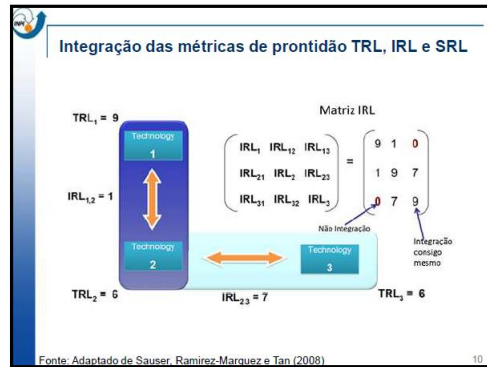
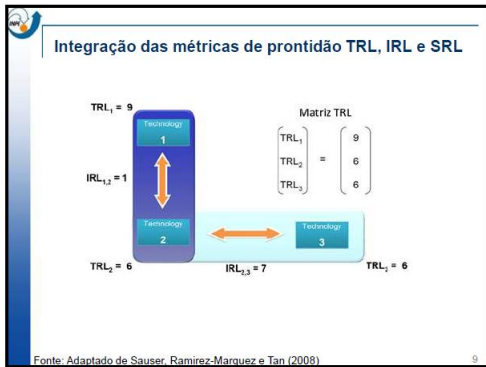
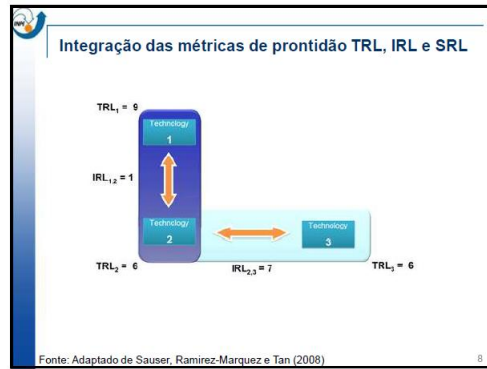
continua

Figura B.1 – Continuação.

**Métricas de prontidão Integration Readiness Level (IRL) e System Readiness Level (SRL)**

NÍVEL	Definição IRL	Definição SRL	Valor SRL
9	Sistema comprovado a partir de testes operacionais de sucesso	A integração está comprovada para a maioria das operações de sucesso	Operação e Suporte Produção 0,90 a 1,00 0,80 a 0,89
8	Sistema validado e qualificado a partir de testes demonstrativos	Integração comprovada e qualificada para a maioria dos testes e demonstrações de sucesso	Desenvolvimento e demonstração do sistema 0,80 a 0,79
7	Desenvolvimento do Projeto do sistema em ambiente operacional	A integração tecnológica foi verificada e validada com testes formais para ser aprovada	0,60 a 0,59
6	Modelo de Desenvolvimento desenvolvido em ambiente operacional	Análise de tecnologia para avaliar, validar e qualificar o desempenho para ser integrado	Desenvolvimento da tecnologia 0,40 a 0,39
5	Validação Comparativa e/ou preliminar em ambiente relevante	Uma comparação entre tecnologia tecnológica e ambiente operacional é realizada	
4	Validação Comparativa e/ou preliminar em ambiente relevante	Cada sistema tecnológico é validado e a estabilidade da tecnologia é comprovada	
3	Fundação analítica e experimental para a tecnologia operacional	Estão estabelecidas as tecnologias para integrar e integrar a tecnologia	Refinamento do conceito 0,10 a 0,09
2	Conceito tecnológico desenvolvido	Um plano geral de especificações para tecnologia e integração é desenvolvido	
1	Princípios básicos observados e reportados	Uma lista de tecnologias identificadas com testes preliminares para permitir a integração tecnológica	

Fonte: Adaptado de Sauser, Ramirez-Marquez e Tan (2008)



continua

Figura B.1 – Continuação.

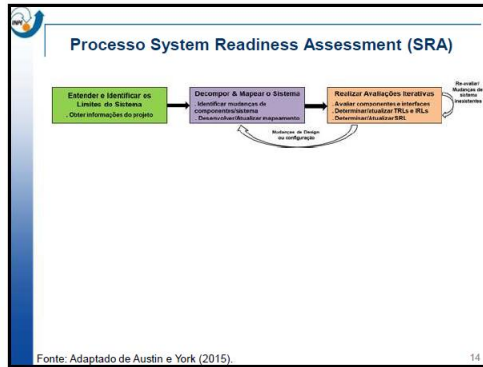
### Integração das métricas de prontidão TRL, IRL e SRL

$$\begin{bmatrix} SRL_1 & SRL_2 & SRL_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.07 & 1.30 & 1.19 \end{bmatrix} \quad \text{Escala } (0,1)_{\text{e}}$$

$$\begin{bmatrix} SRL_1 & SRL_2 & SRL_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.54 & 0.43 & 0.60 \end{bmatrix} \quad \text{Escala } (0,1)$$

$$\begin{aligned} \text{SRL Composto} &= \frac{1}{3} (0.54 + 0.43 + 0.60) \\ &= \mathbf{0.52} \end{aligned}$$

Fonte: Adaptado de Sauser, Ramirez-Marquez e Tan (2008) 13



### Processo System Readiness Assessment (SRA)

Exemplo: CBERS-04

Fonte: Adaptado de Austin e York (2015). 15

### Processo System Readiness Assessment (SRA)

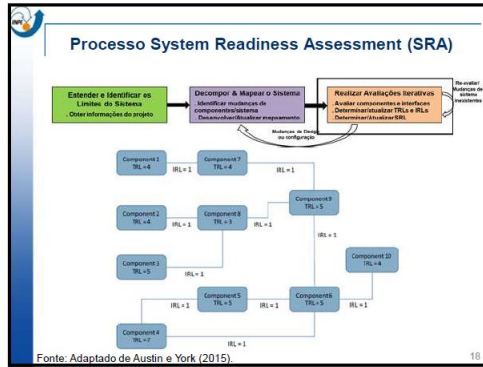
Operational Activities	Service Functions (Level 1)	Service Functions (Level 2)	System Components	TRL	System Technologies	TRL
A2.1.1 Activity	1. Service Function	1.1 Service Function	Component 1	4	System Technology	5
A2.1.2 Activity				5	System Technology	4
A2.1.3 Activity				4	System Technology	6
A2.1.4 Activity			Component 2	4	System Technology	4
A2.1.6 Activity				7	System Technology	5
A2.2.1 Activity				6	System Technology	5
A2.2.2 Activity	Component 3	1.2 Service Function	5	System Technology	6	
A2.2.3 Activity			7	System Technology	5	
A2.2.4 Activity			4	System Technology	7	
A2.2.5 Activity	7	System Technology	7			

Fonte: Adaptado de Austin e York (2015). 16

### Processo System Readiness Assessment (SRA)

Operational Activities	Service Functions (Level 1)	Service Functions (Level 2)	System Components	TRL	System Technologies	TRL
A2.1.1 Activity	1. Service Function	1.1 Service Function	Component 1	4	System Technology	5
A2.1.2 Activity				5	System Technology	4
A2.1.3 Activity				4	System Technology	6
A2.1.4 Activity			Component 2	4	System Technology	4
A2.1.6 Activity				7	System Technology	5
A2.2.1 Activity				6	System Technology	5
A2.2.2 Activity	Component 3	1.2 Service Function	5	System Technology	6	
A2.2.3 Activity			7	System Technology	5	
A2.2.4 Activity			4	System Technology	7	
A2.2.5 Activity	7	System Technology	7			

Fonte: Adaptado de Austin e York (2015). 17



continua

Figura B.1 – Continuação.

### Modelo de Minimização de Custos de maturidade

- Como definir o mapa de evoluções de TRL e IRL?
- Como otimizar o custo de avanço de maturidade?
- Propôs-se uma estrutura de suporte para otimização do avanço de maturidade em conjunto com o algoritmo definido como SCODmin;
- O algoritmo é caracterizado como do tipo PSDA (*Probabilistic Solution Discovery Algorithm*);

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 19

### Modelo de Minimização de Custos de maturidade

- O algoritmo SCODmin é dividido em três fases:
  - Desenvolvimento Estratégico – simulação de Monte Carlo para identificar *links* de maturação TRL e IRL;
  - Análise – cada solução potencial é analisada calculando o custo, o tempo de execução e o SRL;
  - Seleção – técnica de otimização evolucionária que escolhe um conjunto ótimo de TRL e IRL baseado em custo, tempo de execução e valores de SRL.

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 20

### Modelo de Minimização de Custos

Missão de serviço robótico para o Telescópio Espacial Hubble

Tech 1 - Remote Manipulator System (RMS);  
 Tech 2 - Special Purpose Dexterous Manipulator (SPDM);  
 Tech 3 - Electronic Control Unit (ECU);  
 Tech 4 - Autonomous Grappling (AG);  
 Tech 5 - Autonomous Proximity Operations (APO);  
 Tech 6 - Laser Image Detection and Radar (LIDAR);  
 SRL avallado = 0,48 (ainda em Desenvolvimento Tecnológico)

Fonte: Adaptado de Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 21

### Modelo de Minimização de Custos

Custo Incremental Estimado (× 1000) e Tempo para cada esforço Tecnológico

Technology	1		2		3		4		5		6	
TRL Level	Effort		Effort		Effort		Effort		Effort		Effort	
1	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time
2												
3												
4												
5												
6												
7							\$876	127	\$467	280	\$780	450
8					\$689	476	\$421	341	\$551	236	\$123	21
9	\$900	349	\$765	432	\$734	299	\$853	568	\$169	48	\$389	306

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 22

### Modelo de Minimização de Custos

Custo Incremental Estimado (× 1000) e Tempo para cada esforço de Integração

Integration	1,2		1,3		2,3		2,4		3,5		4,5		5,6	
IRL Level	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time	Cost	Time
1														
2														
3									\$453	290	\$123	80		
4									\$591	490	\$215	309		
5									\$721	606	\$695	632		
6	\$110	140					\$276	184			\$600	790	\$700	621
7	\$1175	180	\$290	63	\$50	26	\$540	320	\$345	324	\$1200	954	\$908	863
8	\$400	300	\$430	165	\$450	300	\$620	432	\$457	400	\$1432	1021	\$1083	997
9	\$660	500	\$650	380	\$550	465	\$745	690	\$678	600	\$1795	1238	\$1110	1145

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 23

### Modelo de Minimização de Custos

- Custo total estimado: \$26.574.000 (soma de custos nas tabelas TRL e IRL)
- Tempo total: 19.122 horas de trabalho (soma de horas de trabalho nas tabelas TRL e IRL)
- Desejado acréscimo de 80% de SRL:
  - $\Delta SRL = (1,0 - 0,48) \times 0,80 = 0,52 \times 0,80 = 0,416$
  - $SRL \text{ final} = 0,48 + 0,416 = 0,896$

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 24

continua

Figura B.1 – Continuação.

### Modelo de Minimização de Custos

O modelo de minimização de custo SCODmin calculou:

- custo mínimo de \$16.888 milhões;
- 11,309 horas de trabalho;
- Aumento de 80% do SRL com 63,5% do orçamento total;
- Aumento de 80% do SRL com 59,1% do tempo de trabalho total.

Cycle 1										
SRL <sub>1</sub>	SRL <sub>2</sub>	SRL <sub>3</sub>	SRL <sub>4</sub>	SRL <sub>5</sub>	SRL <sub>6</sub>	SRL <sub>7</sub>	SRL <sub>8</sub>	SRL <sub>9</sub>	SRL <sub>10</sub>	cost
0.943	0.944	1.000	0.778	0.896	0.889	0.897	1.1715	0.7008		
1.000	0.972	0.844	0.892	0.778	0.833	0.897	1.1261	0.7128		
0.963	0.944	0.972	0.778	0.893	0.889	0.897	1.1596	0.7137		
0.961	0.944	0.972	0.778	0.893	0.889	0.897	1.1596	0.7137		
1.000	0.944	0.972	0.778	0.896	0.889	0.898	1.1254	0.7148		

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 25

### Modelo de Minimização de Custos

SRL final necessário de cada tecnologia para obter 80% de SRL total

SRL1	SRL2	SRL3	SRL4	SRL5	SRL6	Σ	Composite SRL = 776
1.000	0.948	0.972	0.778	0.760	0.889	5.377	0.896

Comparação de valores meta versus valores calculados

Desired Improvements in SRL	SRL		Time (man-hrs)		Computed Minimum Cost (\$ x1000)
	Targeted	Computed	Targeted	Computed	
0%	0.480	0.480	n.a	n.a	n.a
20%	0.584	0.587	3.524	1.554	2.203
40%	0.688	0.692	7.549	3.797	5.914
60%	0.792	0.794	11.473	7.867	11.065
80%	0.896	0.896	15.299	11.309	16.888

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 26

### Modelo de Minimização de Custos

Expectativa de TRL e IRL para cada ano de forma a cumprir com o desenvolvimento otimizado

Year	Target SRL	TRL					IRL							
		1	2	3	4	5	6	1.2	1.3	2.3	2.4	3.5	4.5	5.6
6	1.000	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
5	0.896	9	9	8	9	9	9	9	9	8	8	5	7	
4	0.792	8	9	9	6	9	9	9	9	5	8	4	6	
3	0.688	8	8	9	6	9	9	8	8	7	5	7	2	4
2	0.584	8	8	6	6	7	7	7	7	5	6	2	4	
1	0.480	8	7	6	6	5	6	6	5	6	2	2	2	

Fonte: Magnaye, Sausser e Ramirez-Marquez (2010). 27

### Abordagem Earned Readiness Management (ERM)

- Uma metodologia de monitoramento e controle focada em maturidade de tecnologias, dos elementos de integração e do sistema como um todo é importante para o sucesso de novos sistemas a serem desenvolvidos;
- Para ter sucesso deve ser aplicada "cedo", não ser excessivamente restritiva, baseada em maturidade como metas de projeto (milestones), interativa e sensível a mudanças em tecnologias e requisitos;
- Facilitada por um sistema de controle gerencial interativo que promove convergência de objetivos e aprimora aprendizados a partir de uma infraestrutura de informações com métricas de performance de processo interconectadas à estratégia da empresa.

Fonte: Magnaye et al. (2014). 28

### Modelo de maturidade para controle (planejamento, monitoramento e avaliação)

- Modelo conceitual formulado com os passos a seguir:
  - Definir uma estrutura analítica orientada à maturidade do sistema;
  - Atribuir custos para atingir cada nível de maturidade do sistema;
  - Identificar o plano de desenvolvimento otimizado;
  - Converter o plano em cronograma de desenvolvimento do sistema;
  - Estabelecer a linha de base para os indicadores de maturidade;
  - Monitorar o progresso;
  - Avaliar o desempenho;
  - Aplicar medidas corretivas (quando necessário);
  - Identificar, disseminar e aplicar as lições aprendidas.

Fonte: Magnaye et al. (2014). 29

### Esquemático da abordagem ERM

- Modelo conceitual representado pelas áreas sombreadas.

Fonte: Adaptado de Magnaye et al. (2014). 30

continua



Figura B.1 – Conclusão.

### Plano otimizado de desenvolvimento (planejamento)

- Exemplo de um sistema de duas tecnologias e um link de integração entre os mesmos.

Example of an Optimal Development Plan.

Fiscal year	Target SRL	TRL		IRL
		Technology 1	Technology 2	
8	1.00	9	8,9	8,9
7	0.74	7,8	6,7	6,7
6	0.48	6	5	5
5	0.44	6	5	4
4	0.37	5	5	2,3
3	0.25	3,4	4	1
2	0.00	2	3	0
1	0.00	1	1,2	0

Fonte: Magnave et al. (2014). 31

### System Readiness Breakdown Structure (SRBS)

- Exemplo de um sistema de duas tecnologias e um link de integração entre os mesmos.

Fonte: Magnave et al. (2014). 32

### Índices de controle da abordagem ERM (monitoramento e avaliação)

- Budgeted Cost of Readiness Scheduled (BCRS);
- Budgeted Cost of Readiness Achieved (BCRA);
- Actual Cost of Readiness Achieved (ACRA);

Fonte: Magnave et al. (2014). 33

### Índices de controle da abordagem ERM (monitoramento e avaliação)

- Budgeted Cost of Readiness Scheduled (BCRS);
- Budgeted Cost of Readiness Achieved (BCRA);
- Actual Cost of Readiness Achieved (ACRA);

Fonte: Magnave et al. (2014). 34

### Índices de controle da abordagem ERM (monitoramento e avaliação)

- Budgeted Cost of Readiness Scheduled (BCRS);
- Budgeted Cost of Readiness Achieved (BCRA);
- Actual Cost of Readiness Achieved (ACRA);
- Readiness Cost Performance Index (RCPI);
- Readiness Performance Index (RPI).

- $RCPI = BCRA / ACRA$
- $RPI = BCRA / BCRS$
- Ambos RCPI e RPI desfavoráveis quando entre 0 e 1.

Fonte: Magnave et al. (2014). 35

**OBRIGADO!**

Fonte: Produção do Autor.

Figura B.2 – Apresentação abordagem ROERM.

Abordagem *Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)*  
**Aluno:** Bernardo Kaipper de Rezende  
**Orientador:** Milton Chagas

**Curso de Pós-Graduação do INPE**  
*Engenharia e Tecnologia Espaciais*  
**Área de Concentração**  
*Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais*  
 Agosto 2020

### Conteúdo

- Requisitos e Maturidade
- Gestão de Requisitos
- Validação de Requisitos
- Verificação de Requisitos
- Abordagem R2O2S

2

### Requisitos e maturidade

- Infusão tecnológica frequentemente resulta em:
  - Atrasos de cronograma;
  - Custos exorbitantes;
  - Ocasionalmente em cancelamentos e falhas.
- A causa-raiz é usualmente atribuída à "definição inadequada de requisitos".
- A correção da situação seria uma simples questão de definir melhores requisitos, porém pode não ser o caso, pelo menos não totalmente.
- Na verdade, existem vários contribuintes, incluindo a falta de definição de requisitos adequados.

Fonte: NASA (2017). 3

### Requisitos e maturidade

- A eliminação das incertezas de infusão tecnológica podem ser substancialmente reduzida pela aplicação antecipada de:
  - boas práticas de engenharia de sistemas;
  - entendimento dos requisitos tecnológicos;
  - a maturidade da tecnologia necessária;
  - o avanço tecnológico necessário para atender às metas, objetivos e requisitos do programa / projeto.

Fonte: NASA (2017). 4

### Gestão de Requisitos

- Gerenciar:
  - Expectativas dos stakeholders;
  - Requisitos de cliente e requisitos técnicos do produto;
  - Todos os níveis do desenvolvimento, desde nível sistema ao mais baixo nível de componente.
- O processo de gestão de requisitos é usado para:
  - Identificar, controlar, decompor e alocar requisitos em todos os níveis da Estrutura analítica do projeto (EAP), do inglês, *Work Breakdown Structure (WBS)*;
  - Fornecer rastreabilidade bi-direcional;
  - Gerenciar as alterações para estabelecer baselines de requisitos ao longo do ciclo de vida do produto.

Fonte: adaptado de NASA (2017). 5

### Validação de Requisitos

- Tipos de requisitos:
  - *Requisito organizacional:*
    - A parte responsável XYZ deve realizar tal e tal.
  - *Requisito de produto*
    - O sistema deve operar em nível de potência de...
    - O software deve adquirir dados a partir de...
    - A estrutura deve suportar cargas de...
    - O hardware deve ter uma massa de...

Fonte: adaptado de NASA (2017). 6

continua



Figura B.2 – Continuação.

**Validação de Requisitos**

- **“Checklist” de boas práticas de validação de requisitos:**
  - O requisito está gramaticalmente correto
  - O requisito está livre de erros de digitação, erros de ortografia e pontuação.
  - O requisito está em conformidade com as regras de modelo e estilo do projeto.
  - O requisito é declarado como uma sentença afirmativa (não contém “não deve”, do inglês, “shall not”).
  - O uso dos valores definidos como “a ser determinado” (TBD) deve ser minimizado. Recomenda-se usar uma melhor estimativa para um valor e marcá-lo como “a ser resolvido” (TBR) com a lógica, juntamente com o que deve ser feito para eliminar o TBR, o responsável por sua eliminação e quando deve ser eliminado.
  - O requisito é acompanhado por uma lógica inteligível, incluindo quaisquer bases lógicas (rationales). É possível validar (concordar com) essas bases lógicas? As premissas (assumptions) devem ser confirmadas antes da criação de baselines.
  - O requisito está localizado na seção apropriada do documento (por exemplo, não em um apêndice)

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 7

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Clareza (Clarity)**
    - Os requisitos são claros e inequívocos? (Todos os aspectos do requisito são compreensíveis e não estão sujeitos a erros de interpretação? O requisito está isento de pronomes indefinidos (este, estes) e de termos ambíguos (por exemplo, “conforme apropriado”, “etc.”, “a / ou”, “Mas não limitado a”)?
    - Os requisitos são concisos e simples?
    - Os requisitos expressam apenas um pensamento por declaração de requisitos, uma declaração autônoma em oposição a vários requisitos em um único estado ou um parágrafo que contém requisitos e justificativa?
    - A declaração de requisitos tem um sujeito e um predicado?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 8

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Completeness (Completeness)**
    - Os requisitos são declarados da maneira mais completa possível? Todos os requisitos incompletos foram capturados como TBDs ou TBRs e uma lista completa deles foi mantida com os requisitos?
    - Faltam alguns requisitos? Por exemplo, qualquer uma das seguintes áreas de requisitos foi esquecida: funcional, desempenho, interface, ambiente (desenvolvimento, fabricação, teste, transporte, armazenamento e operações), instalação (fabricação, teste, armazenamento e operações), transporte (entre as áreas de fabricação, montagem, pontos de entrega, dentro das instalações de armazenamento, carregamento), treinamento, pessoal, operacionalidade, segurança, proteção, aparência e características físicas e design.
    - Todas as premissas (assumptions) foram explicitamente declaradas?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 9

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Conformidade (Compliance)**
    - Todos os requisitos estão no nível correto (por exemplo, sistema, segmento, elemento, subsistema)?
    - Os requisitos estão livres de especificações de implementação? (Os requisitos devem indicar o que é necessário, não como fornecê-lo.)
    - Os requisitos estão livres de descrições de operações? (Não mistura-se operação com requisitos: atualize os ConOps em vez disso.)
    - Os requisitos estão livres de atribuições organizacionais ou tarefas? (Não mistura-se organizacional / tarefa com os requisitos do produto: atualiza-se a SOW ou a ordem das tarefas em vez disso.)

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 10

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Consistência (Consistency)**
    - Os requisitos são declarados de forma consistente, sem contradizerem com eles mesmos ou com os requisitos de sistemas relacionados?
    - A terminologia é consistente com a terminologia do usuário e do patrocinador? Com o glossário do projeto?
    - A terminologia é usada consistentemente em todo o documento? Os termos-chave estão incluídos no glossário do projeto?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 11

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Rastreabilidade (Traceability)**
    - Todos os requisitos são necessários? Cada requisito é necessário para atender ao(s) requisito(s) pai(s)? Cada requisito é uma função ou característica necessária? Distinguir entre necessidades e desejos. Se não for necessário, não é um requisito. Pergunte: “Qual é a pior coisa que poderia acontecer se o requisito não fosse incluído?”
    - Todos os requisitos (funções, estruturas e restrições) são rastreáveis bidirecionalmente aos requisitos do nível mais alto ou à missão ou ao escopo do sistema de interesse (ou seja, necessidades, metas, objetivos, restrições ou conceito de operações)?
    - Cada requisito é declarado de maneira que possa ser referenciado exclusivamente (por exemplo, cada requisito é numerado exclusivamente) em documentos subordinados?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 12

continua

Figura B.2 – Continuação.

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Correção (Correctness)**
    - Cada requisito está correto?
    - Cada premissa (assumption) declarada está correta? As premissas devem ser confirmadas antes que o documento possa ter bases/lines criadas.
    - Os requisitos são tecnicamente viáveis?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 13

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Funcionalidade (Functionality)**
    - Todas as funções descritas são necessárias e juntas são suficientes para atender às metas e objetivos da missão e do sistema?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 14

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Performance (Performance)**
    - Todas as especificações e margens de desempenho necessárias estão listadas (por exemplo, considere tempo, taxa de transferência, tamanho do armazenamento, latência, exatidão e precisão)?
    - Cada requisito de desempenho é realista?
    - As tolerâncias são muito rígidas? As tolerâncias são defensáveis e econômicas? Pergunte: "Qual a pior coisa que poderia acontecer se a tolerância fosse dobrada ou triplicada?"

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 15

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Interface (Interface)**
    - Todas as interfaces externas estão claramente definidas?
    - Todas as interfaces internas estão claramente definidas?
    - Todas as interfaces são necessárias, suficientes e consistentes entre si?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 16

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Mantenabilidade (Maintenance)**
    - Os requisitos de manutenção do sistema foram especificados de maneira mensurável e verificável?
    - Os requisitos são escritos para que os efeitos cascata das alterações sejam minimizados (ou seja, os requisitos são tão fracamente aceitados quanto possível)?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 17

**Validação de Requisitos**

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Confiabilidade (Reliability)**
    - Os requisitos de confiabilidade claramente definidos, mensuráveis e verificáveis estão especificados?
    - Existem requisitos de detecção, relatório, manuseio e recuperação de erros?
    - Eventos indesejados (por exemplo, transbordo de evento único (Single Event Upset), perda ou embaralhamento de dados, erro do operador) são considerados e suas respostas necessárias especificadas?
    - Foram feitas premissas (assumptions) sobre a sequência de funções pretendida? Essas sequências são necessárias?
    - Esses requisitos abordam adequadamente a capacidade de sobrevivência após uma falha de software ou hardware do sistema do ponto de vista de hardware, software, operações, organizacional e procedimentos?

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 18

continua

Figura B.2 – Continuação.

### Validação de Requisitos

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Verificabilidade/Testabilidade (Verifiability/Testability)**
    - O sistema pode ser testado, demonstrado, inspecionado ou analisado para mostrar que satisfazem os requisitos? Isso pode ser feito no nível do sistema em que o requisito é declarado? Existem meios para medir a realização do requisito e verificar sua conformidade? Os critérios de verificação podem ser declarados?
    - Os requisitos são estabelecidos precisamente para facilitar a especificação dos critérios de sucesso do teste e requisitos do sistema?
    - Os requisitos estão livres de termos não verificáveis (por exemplo, flexível, fácil, suficiente, seguro, conforme necessário, adequado, acomodar, fácil de usar, utilizável, quando necessário, se necessário, apropriado, rápido, portátil, leve, pequeno, grande, maximizar, minimizar, suficiente, robusto, rápido, fácil, claro, outras palavras terminadas em "mente")?
  - Condições

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 19

### Validação de Requisitos

- **Checklist de validação de requisitos:**
  - **Uso de dados (Data Usage)**
    - Onde aplicável, as condições "não importa" são realmente "não importa"? (Os valores "não importa" identificam casos em que o valor de uma condição ou bandeira é irrelevante, mesmo que o valor possa ser importante para outros casos.) Os valores das condições "não importa" são declarados explicitamente? (Identificação correta de "não importa" podem melhorar a portabilidade de um design.)

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 20

### Validação de Requisitos

- Existem várias fontes de extração de informações para se criar o plano de validação de um sistema a ser desenvolvido:
  - Condições
  - Documentação de necessidades, metas e objetivos de stakeholders/clientes
  - Instruções de justificativa para requisitos e requisitos em verificação
  - Banco de dados de lições aprendidas
  - Modelagem da arquitetura do sistema
  - Metas e restrições de design de teste à medida que você vai
  - Planos de SEMP, HSIP e V&V

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 21

### Validação de Requisitos

- Os produtos da validação podem assumir a forma de uma ampla variedade de *deliverables*, incluindo:
  - Avaliação e feedback de stakeholders;
  - Peer reviews;
  - Modelos físicos de todas as fidelidades;
  - Simulações;
  - Modelagem virtual;
  - Testes;
  - Verificações de envelope físico;
  - Procedimentos dry-run;
  - Atividades de integração (para informar procedimentos de manutenção em órbita);
  - Solicitação e feedback de revisão em nível de fase.
- Atenção especial deve ser dada ao planejamento para a fase do ciclo de vida, uma vez que a validação precoce pode, posteriormente, ter um profundo impacto sobre *design* e custo nas fases do ciclo de vida.

Fonte: Traduzido de NASA (2017). 22

### Validação de Requisitos

TABLE E-1 Validation Requirements Matrix

Validation Product #	Activity	Objective	Validation Method	Facility or Lab	Phase	Performing Organization	Results
Unique Identifier for validation product	Describe evaluation by the customer/sponsor that will be performed	What is to be accomplished by the customer/sponsor evaluation	Validation method for the requirement analysis, inspection, demonstration or test	Facility or laboratory used to perform the validation	Phase in which the verification/ validation will be performed <sup>a</sup>	Organization responsible for coordinating the validation activity	Indicate the objective evidence that validation activity occurred
1	Customer sponsor will evaluate the candidate displays	1. Ensure legibility is acceptable 2. Ensure overall appearance is acceptable	Test	xxx	Phase A	xxx	TPS 123456

a. Example: (1) during product selection process, (2) prior to final product selection (if CUS) or prior to PDR, (3) prior to CDPR, (4) during beta-level functional, (5) during system-level functional, (6) during end-to-end functional, (7) during integrated vehicle functional, (8) during on-orbit functional.

\* Phase A: Concept and Technology Development (initial phase)

Fonte: NASA (2017). 23

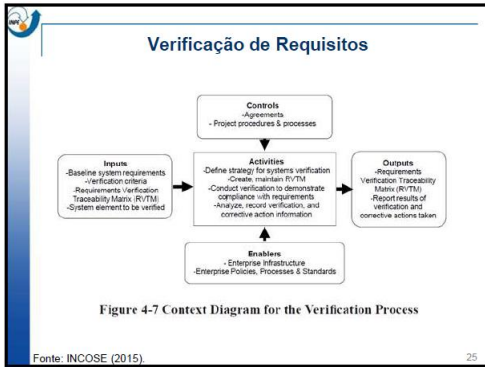
### Verificação de Requisitos

- Os processos de verificação incluem:
  - Desenvolver procedimentos de verificação
  - Agendar / confirmar / instalar sistemas de verificação de habilitação
  - Executar procedimentos de verificação
  - Documentar os resultados da verificação e inserir os dados na matriz de rastreabilidade.
- **Abordagens e dicas comuns:**
  - A matriz de rastreabilidade de verificação de requisitos é frequentemente usada como um único ponto de responsabilidade por rastrear um requisito de volta à fonte da necessidade e avançar no ciclo de vida para avaliar se a necessidade foi atendida.
  - Cuidado com a tentação de reduzir as atividades de verificação devido ao orçamento ou cronograma. Discrepâncias e erros são mais caros para se corrigir posteriormente no ciclo de vida.
  - Evitar realizar a verificação no final do cronograma, quando houver menos tempo para lidar com discrepâncias, ou muito cedo, antes da conclusão do desenvolvimento.

Fonte: Traduzido de INCOSE (2015). 24

continua

Figura B.2 – Continuação.

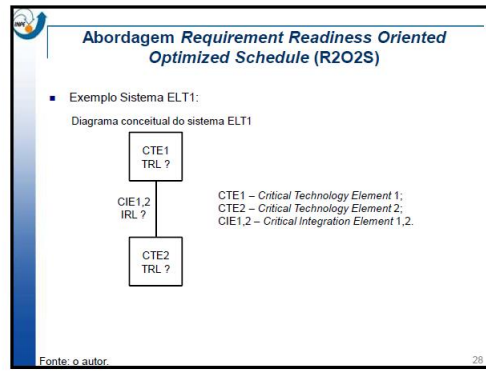
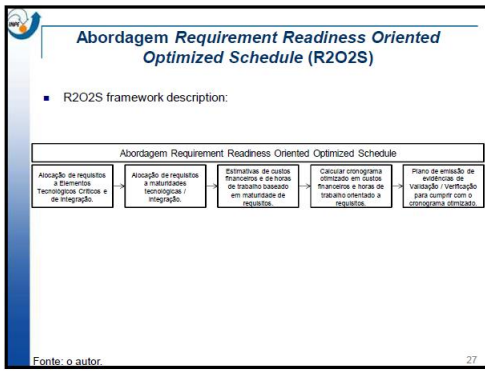


### Verificação de Requisitos

TABLE D1-1 Requirements Verification Matrix

Document No.	Document	Paragraph	Check Method	Verification Method	Verification Method	Facility or Phase?	Phase of Verification	Access to Requirements	Priority/Severity	Verification Status	Results
1.1	Req. Mgmt. Plan	3.1.1	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.2	Req. Mgmt. Plan	3.1.2	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.3	Req. Mgmt. Plan	3.1.3	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.4	Req. Mgmt. Plan	3.1.4	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.5	Req. Mgmt. Plan	3.1.5	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.6	Req. Mgmt. Plan	3.1.6	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.7	Req. Mgmt. Plan	3.1.7	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.8	Req. Mgmt. Plan	3.1.8	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.9	Req. Mgmt. Plan	3.1.9	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.10	Req. Mgmt. Plan	3.1.10	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.11	Req. Mgmt. Plan	3.1.11	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.12	Req. Mgmt. Plan	3.1.12	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.13	Req. Mgmt. Plan	3.1.13	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.14	Req. Mgmt. Plan	3.1.14	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.15	Req. Mgmt. Plan	3.1.15	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.16	Req. Mgmt. Plan	3.1.16	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.17	Req. Mgmt. Plan	3.1.17	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.18	Req. Mgmt. Plan	3.1.18	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.19	Req. Mgmt. Plan	3.1.19	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass
1.20	Req. Mgmt. Plan	3.1.20	Review	Review	Review	Yes	1	Yes	High	Pass	Pass

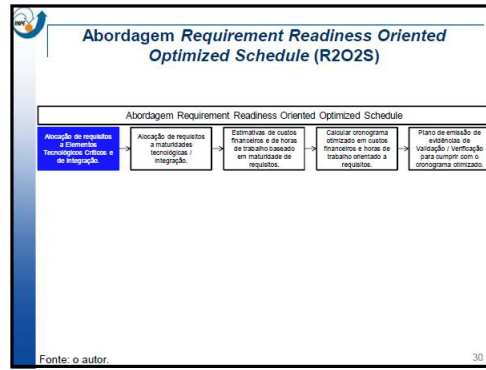
Fonte: NASA (2017).



### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

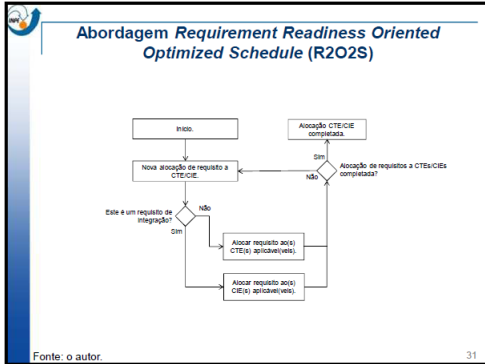
Requirement ID	Requirement Text
RL1.1	The system requirements shall control the delivery into the factory.
RL1.2	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.3	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.4	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.5	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.6	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.7	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.8	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.9	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.10	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.11	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.12	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.13	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.14	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.15	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.16	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.17	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.18	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.19	The factory delivery system shall control the factory.
RL1.20	The factory delivery system shall control the factory.

Fonte: o autor.



continua

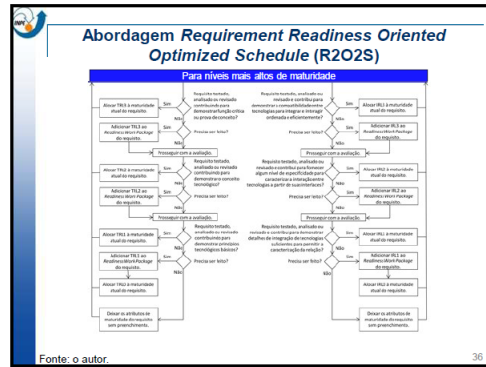
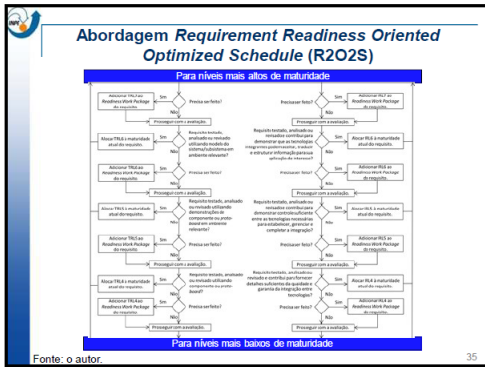
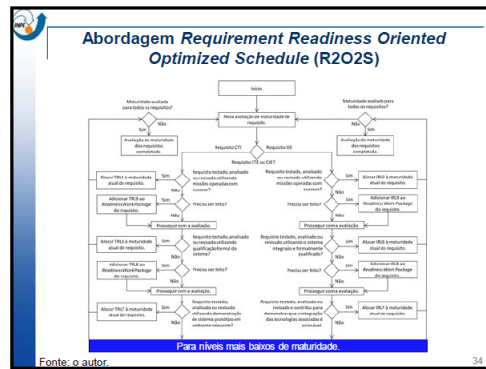
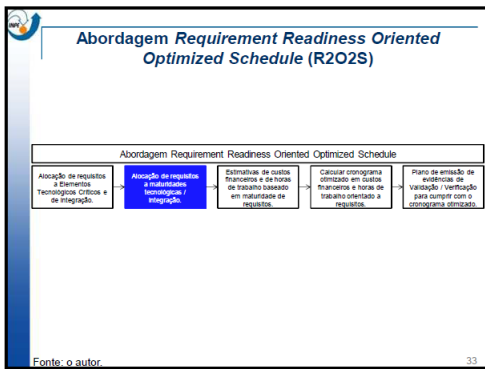
Figura B.2 – Continuação.



### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

Requirement ID	Requirement Text	CTE/CIE Assigned
R2-1	The system shall provide automatic control for the system when emergency mode.	CTE1
R2-2	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE1
R2-3	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE1
R2-4	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE2
R2-5	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE2
R2-6	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE2
R2-7	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE1,2
R2-8	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE1,2
R2-9	The system shall provide automatic control when the system is in emergency mode.	CTE1,2

Fonte: o autor. 32



continua

Figura B.2 – Continuação.

### Validação de Requisitos

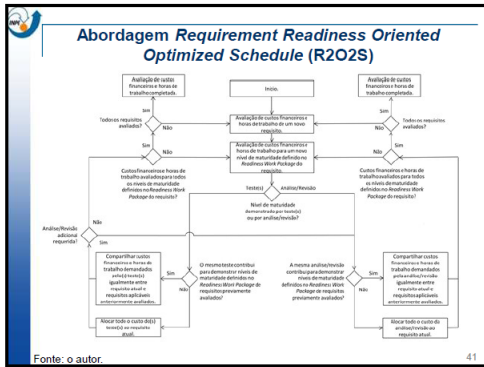
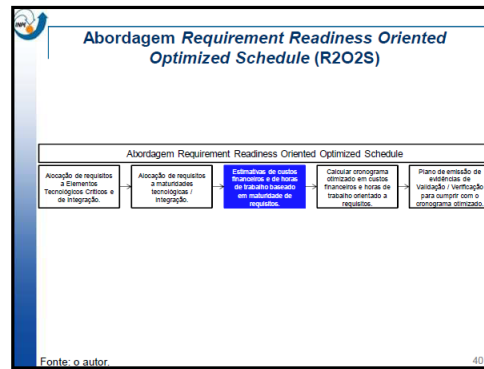
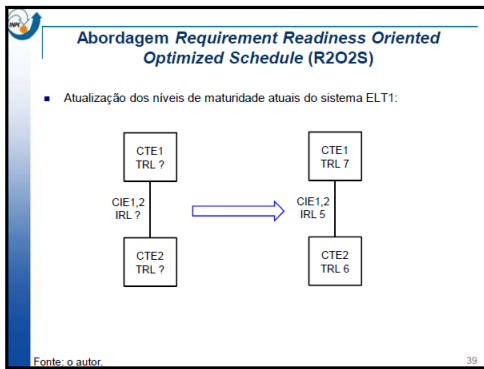
- Sub-grupos de validação de requisitos mais indicados para prover suporte para substanciar escalas de maturidade:
  - Completude (Completeness)
  - Correticeza (Correctness)
  - Performance (Performance)
  - Verificabilidade/Testabilidade (Verifiability/Testability)

Fonte: o autor. 37

### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

Requirement ID	Requirement Text	CI/IRL	Technology	Verification Method	Verification Level	Verification Point	Requirement Status
R-01	The battery charging system shall control the battery pack charging time.	CTE1	Test	Analysis	Electrical Model	SI-100 AS-100	TR1, TR2, TR3
R-02	The battery charging system shall control the battery pack charging time.	CTE1	Test	Analysis	Electrical Model	SI-100 AS-100	TR1, TR2, TR3
R-03	The battery charging system shall control the battery pack charging time.	CTE1	Test	Analysis	Electrical Model	AS-100	TR3
R-04	The Test Power sub-system shall be able to deliver the power to the test rig.	CTE2	Analysis	Electrical Model	AS-100	TR3	N/A
R-05	The Test Power sub-system shall be able to deliver the power to the test rig.	CTE2	Test	Analysis	Electrical Model	SI-100 AS-100	TR1, TR2, TR3
R-06	The Test Power sub-system shall be able to deliver the power to the test rig.	CTE2	Analysis	Electrical Model	AS-100	TR3	N/A
R-07	The Test Power sub-system shall be able to deliver the power to the test rig.	CTE2	Test	Analysis	Electrical Model	SI-100 AS-100	TR1, TR2, TR3
R-08	The Test Power sub-system shall be able to deliver the power to the test rig.	CTE2	Analysis	Electrical Model	AS-100	TR3	N/A
R-09	The Test Power sub-system shall be able to deliver the power to the test rig.	CTE2	Test	Analysis	Electrical Model	SI-100 AS-100	TR1, TR2, TR3
R-10	The Test Power sub-system shall be able to deliver the power to the test rig.	CTE2	Analysis	Electrical Model	AS-100	TR3	N/A

Fonte: o autor. 38



### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

- Custos financeiros e horas de trabalho estimados para o sistema ELT1 para aumento de níveis de maturidade dos CTEs baseado em avaliação dos requisitos:

TEC	Requisitos Disponíveis em Avaliação				Atualização de Custos e Horas de Trabalho Orientadas			
	Previdido (C)	CTE1	CTE2	CTE3	Previdido (C)	CTE1	CTE2	CTE3
Previdido (C)	100	100	100	100	100	100	100	100
CTE1		100	100	100	100	100	100	100
CTE2			100	100	100	100	100	100
CTE3				100	100	100	100	100
CTE4					100	100	100	100
CTE5						100	100	100
CTE6							100	100
CTE7								100
CTE8								
CTE9								
CTE10								

Fonte: o autor. 42

continua

Figura B.2 – Continuação.

### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

- Custos financeiros e horas de trabalho estimados para o sistema ELT1 para aumento de níveis de maturidade do CIE baseado em avaliação dos requisitos.

Requisitos Requisitos Básicos				Atual Financeiro Custo de Trabalho Básico			
Req.	CIE1	Prezado Cost	Labour Hour	Req.	Prezado Cost	Labour Hour	20% aumento
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
7				7			
8				8			
9				9			
10				10			
11				11			
12				12			
13				13			
14				14			
15				15			
16				16			
17				17			
18				18			
19				19			
20				20			
21				21			
22				22			
23				23			
24				24			
25				25			
26				26			
27				27			
28				28			
29				29			
30				30			
31				31			
32				32			
33				33			
34				34			
35				35			
36				36			
37				37			
38				38			
39				39			
40				40			
41				41			
42				42			
43				43			
44				44			
45				45			
46				46			
47				47			
48				48			
49				49			
50				50			
51				51			
52				52			
53				53			
54				54			
55				55			
56				56			
57				57			
58				58			
59				59			
60				60			
61				61			
62				62			
63				63			
64				64			
65				65			
66				66			
67				67			
68				68			
69				69			
70				70			
71				71			
72				72			
73				73			
74				74			
75				75			
76				76			
77				77			
78				78			
79				79			
80				80			
81				81			
82				82			
83				83			
84				84			
85				85			
86				86			
87				87			
88				88			
89				89			
90				90			
91				91			
92				92			
93				93			
94				94			
95				95			
96				96			
97				97			
98				98			
99				99			
100				100			

Fonte: o autor. 43

### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule

Associação de requisitos a elementos tecnológicos críticos e de integração. | Associação de requisitos a maturidades tecnológicas e de integração. | Estimativas de custos financeiros e de horas de trabalho baseado em maturidade de requisitos. | Calcular cronograma otimizado em custos financeiros e horas de trabalho orientado a requisitos. | Plano de estado de evolução de validação / verificação para cumprir com o cronograma otimizado.

Fonte: o autor. 44

### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

- Possíveis evoluções de maturidade do sistema ELT1 (parte 1 de 2):

Requisito	CIE1	CIE2	CIE3	Req.	Prezado Cost	Labour Hour	CIE4
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
7				7			
8				8			
9				9			
10				10			
11				11			
12				12			
13				13			
14				14			
15				15			
16				16			
17				17			
18				18			
19				19			
20				20			
21				21			
22				22			
23				23			
24				24			
25				25			
26				26			
27				27			
28				28			
29				29			
30				30			
31				31			
32				32			
33				33			
34				34			
35				35			
36				36			
37				37			
38				38			
39				39			
40				40			
41				41			
42				42			
43				43			
44				44			
45				45			
46				46			
47				47			
48				48			
49				49			
50				50			
51				51			
52				52			
53				53			
54				54			
55				55			
56				56			
57				57			
58				58			
59				59			
60				60			
61				61			
62				62			
63				63			
64				64			
65				65			
66				66			
67				67			
68				68			
69				69			
70				70			
71				71			
72				72			
73				73			
74				74			
75				75			
76				76			
77				77			
78				78			
79				79			
80				80			
81				81			
82				82			
83				83			
84				84			
85				85			
86				86			
87				87			
88				88			
89				89			
90				90			
91				91			
92				92			
93				93			
94				94			
95				95			
96				96			
97				97			
98				98			
99				99			
100				100			

Fonte: o autor. 45

### Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

- Possíveis evoluções de maturidade do sistema ELT1 (parte 2 de 2):

Requisito	CIE1	CIE2	CIE3	Req.	Prezado Cost	Labour Hour	CIE4
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
5				5			
6				6			
7				7			
8				8			
9				9			
10				10			
11				11			
12				12			
13				13			
14				14			
15				15			
16				16			
17				17			
18				18			
19				19			
20				20			
21				21			
22				22			
23				23			
24				24			
25				25			
26				26			
27				27			
28				28			
29				29			
30				30			
31				31			
32				32			
33				33			
34				34			
35				35			
36				36			
37				37			
38				38			
39				39			
40				40			
41				41			
42				42			
43				43			
44				44			
45				45			
46				46			
47				47			
48				48			
49				49			
50				50			
51				51			
52				52			
53				53			
54				54			
55				55			
56				56			
57				57			
58				58			
59				59			
60				60			
61				61			
62				62			
63				63			
64				64			
65				65			
66				66			
67				67			
68				68			
69				69			
70		</					

Figura B.2 – Conclusão.

**Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)**

Requirement ID	Requirement Text	CTE/CIE Requirement Priority	Verification Method	Verification Technique	Verification Priority	Current Maturity Level	Baseline Work Package	Release Point
R2.1	The system, including all subsystems, shall control the battery bank charging rates.	C7B1	Test Analysis	Electrical Model	7B1-0000 AB1-0000	7B.1	7B.1, 7B.9	4 (7B.1B) 6 (7B.1C)
R2.2	The battery charging rates shall control the battery bank charging rates.	C7B1	Test Analysis	Electrical Model	7B1-0000 AB1-0000	7B.1	7B.1, 7B.9	4 (7B.1B) 6 (7B.1C)
R2.3	The battery charging rates shall control the battery bank charging rates.	C7B1	Test Analysis	Electrical Model	AB1-0000	7B.9	N/A	4 (7B.1C)
R2.4	The state, from a condition, shall be able to take the power to the battery bank.	C7B2	Test Analysis	Electrical Model	AB1-0000	7B.9	N/A	3 (7B.1C)
R2.5	The state, from a condition, shall be able to take the power to the battery bank.	C7B2	Test Analysis	Electrical Model	7B1-0000 AB1-0000	7B.9	7B.1, 7B.9	3 (7B.1C)
R2.6	The state, from a condition, shall be able to take the power to the battery bank.	C7B2	Test Analysis	Electrical Model	AB1-0000	7B.9	N/A	1 (7B.1B)
R2.7	The state, from a condition, shall be able to take the power to the battery bank.	C8B1.2	Test Analysis	Electrical Model	7B1-0000 AB1-0000	7B.1	7B.1, 7B.9	2 (7B.1B) 3 (7B.1C)
R2.8	The state, from a condition, shall be able to take the power to the battery bank.	C8B1.2	Test Analysis	Electrical Model	7B1-0000 AB1-0000	7B.9	7B.1, 7B.9	1 (7B.1B, 7B.1C)
R2.9	The state, from a condition, shall be able to take the power to the battery bank.	C8B1.2	Test Analysis	Electrical Model	7B1-0000 AB1-0000	7B.9	7B.1, 7B.9	1 (7B.1B, 7B.1C)

Fonte: o autor. 49

- Abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)**
- Altamente integrável à abordagem ERM.
  - Importante executar um rigoroso gerenciamento de requisitos.
  - Permite uma avaliação de escalas de maturidade a partir de detalhes técnicos precisos naturalmente associados aos requisitos de produto.
  - Permite analisar múltiplas maturidades de um mesmo CTE/CIE.
  - Boa prática realizar executar a abordagem R2O2S sempre que uma nova baseline de requisitos for submetida.
- Fonte: o autor. 50

**OBRIGADO!**

Fonte: Produção do Autor.



### B.3. Questionário utilizado

A Figura B.3 apresenta o questionário utilizado na etapa de avaliação. Nota-se que o questionário foi realizado com o nome predecessor R2O2S e que foi substituído para ROERM, como discutido na Seção 5.2.

Figura B.3 - Questionário utilizado na etapa de avaliação.

## Questionário sobre as abordagens ERM e R2O2S

Avaliação das abordagens Earned Readiness Management (ERM) e de sua integração com a abordagem Requirement Readiness Oriented Optimized Schedule (R2O2S)

\* Required

1. Nome do entrevistado: \*

---

Avaliação da abordagem ERM

UTILIDADE

2. A abordagem ERM aparenta ser útil para gerenciar o desenvolvimento de sistemas complexos?

Sim

Não

EFICÁCIA

continua

Figura B.3 – Continuação.

3. Em uma escala de 1 a 5 (1 representando "pouco ganho" e 5 representando "muito ganho"), qual sua percepção de ganho em se gerenciar a maturidade de um sistema complexo em oposição a se gerenciar a quantidade de trabalho previsto a ser realizado conforme proposto na abordagem Earned Value Management (EVM)?

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. A descrição da abordagem ERM passa a impressão de atingir o resultado anterior?

- Sim
- Não

#### DEMAIS QUESTÕES

5. Você acredita que o uso da abordagem ERM é factível no desenvolvimento de sistemas complexos na sua instituição/corporação?

- Sim
- Não

continua

Figura B.3 – Continuação.

6. Se aplicável, quais as dificuldades para se utilizar a abordagem ERM em futuros projetos da sua instituição/corporação?

---

---

---

7. De forma geral, você identificou falhas, lacunas ou possíveis melhorias evidentes na utilização da abordagem ERM?

---

---

---

Avaliação da abordagem R2O2S

UTILIDADE

8. A abordagem R2O2S complementa de forma positiva a abordagem ERM?

Sim

Não

EFICÁCIA

continua

Figura B.3 – Continuação.

9. Na sua percepção, em uma escala de 1 a 5, (1 representando "pouco ganho" e 5 representando "muito ganho"), a abordagem R2O2S auxilia nas dificuldades de avaliação de níveis tecnológicos das escalas TRL e IRL?

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. A abordagem R2O2S trouxe ganhos em termos de tornar o uso da abordagem ERM mais factível nos projetos de sua instituição/corporação?

- Sim
- Não

#### AVALIAÇÃO GERAL

11. Em uma escala de 1 a 5 (1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil"), avalie a dificuldade de se realizar a alocação de requisitos a Critical Technological Elements e Critical Integration Elements (primeiro passo da abordagem R2O2S).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

continua

Figura B.3 – Continuação.

12. Gostaria de realizar algum comentário sobre essa etapa do processo?

---

---

---

13. Em uma escala de 1 a 5 (1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil"), avalie a dificuldade de se realizar a avaliação de maturidade atual e alocação de maturidades futuras (Readiness Work Package) a Critical Technological Elements e Critical Integration Elements (segundo passo da abordagem R2O2S).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Gostaria de realizar algum comentário sobre essa etapa do processo?

---

---

---

continua

Figura B.3 – Continuação.

15. Em uma escala de 1 a 5 (1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil"), avalie a dificuldade de se realizar as estimativas de custo financeiro e horas de trabalho ao se avaliar as matrizes de validação e verificação de requisitos em conjunto com as alocações de maturidade realizadas no atributo "Readiness Work Package" (terceiro passo da abordagem R2O2S).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16. Gostaria de realizar algum comentário sobre essa etapa do processo?

---

---

---

17. Em uma escala de 1 a 5 (1 representando "pouco necessário" e 5 representando "muito necessário"), avalie a importância de um algoritmo de otimização semelhante ao SCODmin para se obter um cronograma otimizado de evolução de maturidade do sistema (quarto passo da abordagem R2O2S).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

continua

Figura B.3 – Continuação.

18. Gostaria de realizar algum comentário sobre essa etapa do processo?

---

---

---

19. Em uma escala de 1 a 5 (1 representando "muito fácil" e 5 representando "muito difícil"), avalie a dificuldade de se alocar os resultados de evolução otimizada de maturidade nas matrizes de validação e verificação de requisito para se obter um plano de emissão de documento orientado à evolução de maturidade (quinto passo da abordagem R2O2S).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

20. Gostaria de realizar algum comentário sobre essa etapa do processo?

---

---

---

Comentários

continua

Figura B.3 – Conclusão.

21. Comentários opcionais sobre as abordagens ERM e R2O2S, a pesquisa, pontos ausentes no questionário ou outros assuntos não cobertos.

---

---

---

Submit

Never submit passwords through Google Forms.

This content is neither created nor endorsed by Google. [Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Privacy Policy](#).

Google Forms

Questionário realizado com auxílio da plataforma de criação e distribuição de questionários “*Google Forms*”.

Fonte: Produção do autor.

#### **B.4. Dados coletados nas entrevistas**

Serão apresentados, neste apêndice, os dados coletados nas entrevistas através do questionário apresentado no sub-apêndice B.3. A Tabela B.2 apresenta os dados relativos às perguntas com respostas de múltipla escolha. A Tabela B.3 apresenta os dados relativos às perguntas com respostas discursivas. Nota-se que as respostas ainda contêm o nome R2O2S, pois estas foram fornecidas antes da alteração do nome para ROERM conforme discutido na Seção 5.2.



Tabela B.2 - Dados coletados referentes às perguntas com respostas de múltipla escolha.

ID	Entrevistado	Grupo Focal	Questões											
			2	3	4	5	8	9	10	11	13	15	17	19
1	Alex Gomes	Exploratório	Sim	5	Sim	Sim	Sim	5	Sim	4	2	2	3	2
2	Carlos Souza	Exploratório	Sim	4	Sim	Sim	Sim	4	Sim	5	4	3	4	5
3	Dinah Eluze Sales Leite	Exploratório	Sim	5	Sim	Sim	Sim	5	Sim	4	4	4	5	4
4	Luis Samico	Exploratório	Sim	4	Sim	Não	Sim	3	Não	4	4	2	4	2
5	Fabricio Spigolon	Exploratório	Sim	3	Sim	Não	Sim	3	Não	3	2	4	3	3
6	Gabriel Torres de Jesus	Confirmatório	Sim	4	Sim	Sim	Sim	4	Sim	2	2	3	5	2
7	Gledson Hernandes Diniz	Confirmatório	Sim	4	Sim	Sim	Sim	5	Sim	3	2	4	5	4
8	Hadler Egydio da Silva	Confirmatório	Sim	4	Sim	Sim	Sim	4	Sim	4	4	5	5	4
9	Inaldo Soares de Albuquerque	Confirmatório	Sim	4	Sim	Sim	Sim	4	Sim	4	4	4	4	4
10	Laercio Filho	Exploratório	Sim	3	Sim	Sim	Sim	4	Sim	2	2	2	4	3
11	Lucas Lopes Costa	Confirmatório	Sim	4	Sim	Sim	Sim	2	Sim	4	2	5	3	2
12	Marcelo Almeida Silva	Exploratório	Não	2	Não	Sim	Sim	2	Não	5	2	4	3	2
13	Paulo Ricardo Laurentino	Exploratório	Sim	5	Sim	Sim	Sim	5	Sim	3	3	2	2	2
14	Teresa Raquel	Confirmatório	Sim	4	Sim	Sim	Sim	5	Sim	4	4	3	2	1

A partir dos dados coletados.

Fonte: Produção do autor.

Tabela B.3 - Dados coletados referentes às perguntas com respostas discursivas.

Q.	ID	Resposta
6	1	1. Mudar as atuais "formas consagradas" de gerenciamento 2. Avaliar o projeto e produto como um todo, logo em seu início 3. Como atualizar/modificar o esqueleto do projeto feito, inicialmente, baseado em novas informações de projeto coletadas ao longo da sua execução.
	2	Essa abordagem, exige um investimento em tempo e recursos para se estruturar no início do projeto. Algumas empresas tem assumido abordagens que priorizam a agilidade de implementação para identificação de falhas e correção do <i>design</i> . Para convencer o uso da abordagem ERM tem que ser possível mostrar o ganho contra abordagens do tipo "fail fast".
	3	A utilização da abordagem ERM implicaria uma mudança cultural, treinamentos, divulgação da nova metodologia e comprovação da eficácia. Em organizações menos flexíveis, esse processo pode ser demorado.
	4	Interface com <i>suppliers</i> é fundamental para estruturação correta da metodologia.
	5	A Mitac ainda precisa passar por outras transformações antes de conseguir chegar ao ponto de poder usar a abordagem ERM.
	6	Separar todas as informações do progresso do projeto, de maneira a contabilizar os avanços de maturidade de acordo com os elementos escolhidos (CTEs). Se os elementos forem de nível hierárquico mais alto, por exemplo, subsistemas, talvez seja mais fácil de contabilizar. Quanto mais baixo o nível hierárquico escolhido, o projeto precisaria ter uma contabilização bem detalhada para conseguir utilizar esta abordagem.
	7	Analogamente a outras abordagens, a dificuldade maior é ter conhecimento sobre os detalhes que podem influenciar o projeto.
	8	-
	9	Obter as informações necessárias.
	10	Integração deste método, visando entregas intermediárias.
	11	A cultura e a maturidade organizacional são pequenas e os projetos institucionais de desenvolvimento de sistemas espaciais, normalmente, possuem soluções tecnológicas maduras, considerando o contexto internacional. Além disso, as margens de projeto são grandes devido ao contexto organizacional (ex. processos de aquisição de serviços e produtos; política de garantir sucesso da missão mesmo a custos maiores) e ao nível de experiência da organização (racional: ao adquirir maior <i>know-how</i> , por realizar e absorver conhecimento em múltiplas missões, margens de projeto ou projetos mais otimizados são realizados). Portanto, a pequena diversidade de níveis de maturidade e poucas experiências de desenvolvimento de grandes projetos pode dificultar a utilização da abordagem ERM.
	12	Os seguintes aspectos precisam ser esclarecidos: objetivo da abordagem, fases do projeto onde é aplicável, possíveis ganhos a serem obtidos. A apresentação do método precisa iniciar pela discussão dos problemas que ele resolve.
	13	A avaliação da maturidade depende do nível de maturidade da equipe do projeto e da estrutura da Organização da Empresa disponível para suportá-la. Nem sempre uma equipe madura e / ou estrutura da empresa estão disponíveis para suportar de forma adequada.
	14	Trata-se de uma abordagem factível, porém complexa para ser utilizada na empresa, onde o fator tempo é o mais crítico no desenvolvimento de sistemas.

continua

Tabela B.3 – Continuação.

Q.	ID	Respostas
7	1	Veja item 3 acima.
	2	A quantificação da maturidade representada por um número resultado da multiplicação de dois fatores que são qualitativos me parece inapropriada. Porém, o processo de estimativa de custo para evolução da maturidade do sistema compensa um esse fator, dado que o custo de progressão da maturidade se torna - uma vez que bem quantificado - o principal fator para tomada de decisão.
	3	A princípio não identifiquei qualquer lacuna.
	4	Deveria ter uma proposta mais objetiva em relação a interface com <i>suppliers</i> . Além disto, deveria ser possível simplificar a metodologia uma vez q hoje na indústria a nomenclatura mais conhecia TRL e muitas vezes se busca efetuar a mesma análise (de complexidade do sistema ou interface) usando TRL.
	5	Ver resposta no último item. Oportunidades.
	6	Parece importante marcar alguns elementos tecnológicos como críticos, e planejar ter prioridade na evolução de sua maturidade. Pois se todos os elementos tem a mesma criticidade, ou prioridade, o algoritmo pode querer priorizar o avanço de itens menos complexos e críticos e deixar de avançar na maturidade de itens críticos para o projeto, o que poderia levar a identificação tardia de problemas com estes itens críticos.
	7	Penso que o conteúdo mais fragmentado, para facilitar a visualização por partes.
	8	-
	9	Dentro do meu conhecimento, não identifiquei.
	10	Não diria melhorias, mas flexibilidade para no fluxo.
	11	Sim, identifiquei que existe a oportunidade de melhoria quanto à apresentação de fatores de incerteza. A revisão de literatura apresentada mostra o ERM com a visão de maturidade tecnológica ( <i>readiness</i> no sentido de maturidade tecnológica) e suas interfaces com aspectos gerenciais de custos e cronograma, entretanto, estes aspectos trazem incertezas importantes de consideração.
	12	Não exatamente na abordagem, mas sim na apresentação do método onde os seguintes pontos não ficaram muito claros: objetivo da abordagem, fases do projeto onde é aplicável, possíveis ganhos a serem obtidos.
	13	Parece que os riscos não foram detalhadamente considerados no método ERM.
	14	A subjetividade é a principal lacuna na minha visão

continua

Tabela B.3 – Continuação.

Q.	ID	Respostas
12	1	Essa é uma das etapas mais importantes do projeto. É importante ressaltar que a definição de requisitos seja feita por um grupo ( <i>peer</i> ) de pessoas com experiência e que troquem informações relevantes com o intuito da melhor definição dos requisitos do projeto.
	2	-
	3	Esta alocação pode ajudar a minimizar incertezas, contribuindo com as tomadas de decisão.
	4	Deve-se pensar numa forma de significar a abordagem no começo do projeto e detalhar a mesma ao longo do desenvolvimento. A proposta é que, no início, a análise fique no nível funções e ao longo do detalhamento, desça no nível do requisito.
	5	Nem fácil nem difícil, mas como em qualquer mudança de conceito, o "mudar" sempre vai levar a reações iniciais contrárias. Propor uma forma de implementar esse novo conceito de forma menos traumática nas corporações alvo seria um complemento interessante para o trabalho apresentado.
	6	Isto vai depender de como o projeto realiza a alocação de requisitos.
	7	Avaliações de criticidade tendem a necessitar da disponibilidade de diversos profissionais com experiência, além do trabalho de organização dos dados, essa etapa é sempre difícil. Ferramentas podem e ajudam muito.
	8	Exige muito conhecimento por parte da engenharia de sistemas e times de AIT para que haja um levantamento minimamente realista, no entanto, avaliações outras que envolvam conhecimento em relação a IRL exigem o mesmo nível de esforço técnico.
	9	No momento, não.
	10	-
	11	Partindo do princípio que os requisitos de natureza técnica (engenharia) normalmente estão vinculados a itens de configuração (produtos), a alocação de requisitos a CTE e CIE é menos complexa. Uma lógica (método de exclusão) que poderia ser utilizada para alocação de CTE e CIE é que, quando o requisito não aponta para um CIE (caso específico), este pode ser alocado como CTE (interpretação mais ampla). Entretanto, para requisitos de outras naturezas (ex. requisitos de qualidade), a alocação de CTE e CIE pode ser complexa e possivelmente não aplicável a abordagem.
	12	Vi pouco ganho no material apresentado.
	13	N/A
	14	Acho que a abordagem R2O2S agrega muito valor, entretanto é também complexa. Talvez a empresa privada encontre dificuldade de seguir a abordagem devido o tempo gasto neste processo. De qualquer forma, vejo muito valor.

continua

Tabela B.3 – Continuação.

Q.	ID	Respostas
14	1	-
	2	Tem que ser bem claro a definição da aplicação da tecnologia para definir a maturidade atual. Se tratando de um sistema complexo a quantidade de requisitos pode ser bem relevante, e terminar por ser um processo oneroso e fundamentado em palpites. Tem que se priorizar os requisitos mais relevantes para que esses sejam bem avaliados.
	3	Entendi como uma etapa importante, principalmente para a verificação e a validação dos atributos.
	4	-
	5	Tende a ser mais fácil do que o item anterior, com a ressalva de que é importante achar uma maneira de conseguir informações reais sobre o estágio de desenvolvimento dos produtos sendo avaliados, sem filtros, o que tende a ser difícil no universo corporativo.
	6	A avaliação da maturidade tem um vínculo com as atividades de verificação. Como a planilha de avaliação também traz os dados de verificação, este fato deve ajudar na avaliação da maturidade.
	7	Nesse ponto, uma vez que o projeto esteja claro em relação aos seus objetivos, não deve ser difícil demais traçar o <i>roadmap</i> .
	8	-
	9	Não, no momento.
	10	-
	11	A avaliação de maturidade atual vinculada a solução de tecnologia (CTE) ou de integração (CIE) de cada requisito é um processo normalmente realizado e que possui maturidade. Entretanto, entendendo que o <i>Readiness Work Package</i> são os níveis de maturidade futuras a serem demonstrados para cada requisito, esta avaliação depende de outros fatores estratégicos do projeto e pode ser mais difícil em fases iniciais.
	12	Eu senti muita falta de uma discussão de quais problemas estão sendo atacados pelos métodos propostos.
	13	Conforme mencionado anteriormente para o método ERM, a qualidade da avaliação dependerá do nível de maturidade técnica da equipe do Projeto.
	14	Processo inteligente, porém um pouco complexo.

continua

Tabela B.3 – Continuação.

Q.	ID	Respostas
16	1	-
	2	A quantificação de horas e custo do desenvolvimento de um produto inovador pode ser desafiador, quando se falta referências de custo e prazo para desenvolvimento de determinado produto, a matriz de evolução da maturidade pode se distanciar da maturidade e o caminho tomado para evolução da mesma não ser o melhor. Seria aconselhável talvez <i>milestones</i> intermediários para reavaliação da previsão dos custos e reavaliar o melhor caminho para atingir a maturidade.
	3	A melhor compreensão por parte da liderança e outros usuários, em relação à importância e benefícios da metodologia/processos, pode facilitar a superação das dificuldades.
	4	-
	5	Esse tipo de estimativa requer conhecimento detalhado do que se está avaliando, e acesso a informações relacionadas a custos. Não é tarefa simples, e que possa ser delegada para qualquer membro de uma equipe de trabalho, e requer informações geralmente classificadas como sensíveis dentro de grandes corporações, o que pode tornar o processo de difícil implantação.
	6	Vai depender de como o projeto realiza estas estimativas e contabilização.
	7	Quando abordamos a ignorância, as estimativas tendem a não serem precisas.
	8	Em geral, na área espacial, grandes agências como a NASA costumam errar em até 50% na previsão de custos de seus grandes projetos. Tal descolamento da realidade se verifica em maior ou menor grau em virtude do tamanho e complexidade do projeto de sistemas. Só a vivência pode reduzir os erros nas avaliações de custo e HH em projetos de desenvolvimento tecnológico. Em contrapartida, quando estas avaliações são endereçadas para itens de prateleira as incertezas de avaliação se reduzem drasticamente, conseqüentemente tanto a dificuldade de avaliação quanto o erro diminuem drasticamente.
	9	Não, no momento
	10	-
	11	A alocação de recursos de uma forma geral é sempre complexa e apresenta incertezas. Esta atividade de planejamento já é realizada pelas disciplinas gerenciais e de engenharia de sistemas de um projeto (Technology Plan - ECSS-E-ST-10 ; ECSS-E-HB-11A), entretanto, o foco em maturidade com otimização de cronograma é inovador e pode complementar o planejamento gerencial.
	12	A criação de matrizes de validação e verificação é normalmente postergada para o último minuto. Essa abordagem tem que endereçar esta característica também.
	13	Uma vez que os requisitos são revisados em detalhes, o orçamento e a alocação do trabalho são facilitados, uma vez que um melhor entendimento do trabalho a ser executado está disponível.
	14	-

continua

Tabela B.3 – Continuação.

Q.	ID	Respostas
18	1	Tudo depende da complexidade do projeto e a granularidade que se pretende conseguir. Um algoritmo de otimização será útil caso a complexidade (número de componentes e suas inter-relações) seja elevada, e que se queira verificar com detalhes cada passo no progresso do projeto.
	2	Outro ponto a melhorar é que foi assumido que todo projeto deve-se evoluir a tecnologia a TRL-9 quando alguns projetos podem ter como objetivo colocar o produto no mercado e o ganho de experiência em campo seguiria por um projeto ou área separado. Isso tem que ser considerado ao planejar as metas e conseqüentemente o caminho que representa atingir maturidade esperada com menor custo. O algoritmo tem que considerar até que ponto cada tecnologia ou integração deve evoluir. Para alguns casos TRL7 ou 8 pode ser o suficiente.
	3	É realmente muito importante.
	4	-
	5	Uma boa melhoria para desenvolvimento de projetos complexos, mas resta saber se o custo de implantação da nova metodologia se paga. Um estudo de caso real pode ajudar a responder essa questão.
	6	Parece uma boa ideia a otimização da maturidade do sistema.
	7	Alguma estrutura é muito útil para estimativas, sempre considerando que deve haver margens.
	8	-
	9	Não
	10	-
	11	Entendendo que a ferramenta de construção da abordagem R2O2S foi criada em um software de programação, as próprias ferramentas disponibilizadas pelo software permitem a construção dessa lógica, inclusive aparentemente já está pronta pelos exemplos apresentados. O formato de apresentação do algoritmo (lógica da abordagem) pode tomar qualquer formato.
	12	NA
	13	Dependendo do tamanho do projeto e do número de itens a serem revisados, um algoritmo suportará a avaliação.
	14	-
20	1	-
	2	-
	3	-
	4	-
	5	-
	6	-
	7	Conhecendo origem e destino, o mapeamento deve ser claro quando se conhece os requisitos de projetos e meios para V&V.
	8	Como comentado, a abordagem é simples, no entanto a escolha da equipe para implementa-la é crucial no processo e terá influência na qualidade da avaliação.
	9	Não
	10	-
	11	Não
	12	NA
	13	O método realmente apoia com mais precisão a criação de um plano para o progresso da maturidade.
	14	Não enxerguei grandes dificuldades.

continua

Tabela B.3 – Conclusão.

Q.	ID	Respostas
21	1	-
	2	-
	3	Vejo muitos benefícios na implementação da metodologia. Parabéns pelo trabalho.
	4	Acho que é necessário considerar a aplicação desta metodologia de forma incremental. Nos projetos atuais é irreal imaginar q estes serão iniciados com todos os requisitos já definidos. Assim, para agregar valor deve ser possível uma avaliação da maturidade por funções e em seguida, com maior detalhamento descer no nível de requisitos. Está avaliação posterior pode ser utilizada para validar a análise inicial e estabelecer cronograma r2o2s que suporte o aumento de maturidade pós CDR (geralmente quando termina-se a validação dos requisitos).
	5	Oportunidade de aplicar o processo na fase de design conceitual e seleção de fornecedores, no estabelecimento de metas contratuais mais alinhadas ao nível de maturidade do sistema a ser desenvolvimento, e fugindo um pouco da abordagem mais tradicional de passagens de fase fixas ao longo do desenvolvimento.
	6	As respostas são de certa maneira teóricas pois não pratiquei estes métodos.
	7	Abordagens parecem ser bem trabalhadas com potencial de ser útil durante projetos complexos. Fluxogramas simplificados podem diminuir a barreira de entrada para sua adoção.
	8	Creio que a abordagem é robusta no que se propõe, uma questão outra que poderia ser considerada diz respeito à efeitos de custo no nível de sistemas causados problemas de cronograma de seus componentes individualmente, onde se faz necessário não apenas esforço extra para atendimento do cronograma de nível superior como, via de regra, relaxamento em relação a previsão de custo inicial do item em prol de se evitar a consequência de custos no nível de sistemas.
	9	A adequada aplicação, será um ganho de conhecimento no assunto TRL
	10	-
	11	A formulação das respostas à pesquisa foi dificultada, possivelmente, por minha pouca experiência e conhecimento sobre o assunto além de somente utilizar como base a apresentação e solução de eventuais dúvidas, sem a disponibilização de material de consulta. Quanto a abordagem ERM, esta parece estar consolidada no contexto acadêmico, entretanto, a velocidade de absorção no contexto de aplicação, pelas organizações de desenvolvimento de sistemas espaciais, ainda é pequena. Porém, vejo que há uma tendência crescente e esforços para sua utilização, conforme a divulgação de materiais como o futuro handbook da NASA de TRA (2016 - Final Report of the NASA Technology Readiness Assessment (TRA) Study Team) e as recentes publicações da ECSS (ECSS-E-HB-11A(1March2017)). Quanto a proposta R2O2S, esta apresenta uma forma interessante de planejar e gerenciar a maturidade tecnológica, desde os requisitos (elementos básicos que dão origem as soluções de produtos) e sua V&V no processo de desenvolvimento. A abordagem está centrada na otimização de cronograma (utilizando h/h), mas poderia ampliar o seu escopo para atender também otimização de outros recursos, como custos. Além disso, apresentar a contextualização de utilização da abordagem R2O2S, como sua aplicabilidade durante o ciclo de vida, pode ajudar no entendimento da proposta.
	12	Ficou bem difícil visualizar quais os problemas que os métodos propostos estão resolvendo, quais os cenários de utilização dos mesmos e como esses métodos podem ser complementares ao NASA-TRL.
	13	O método proposto (R2O2S) realmente agrega mais precisão ao método ERM e está em um nível de qualidade adequado para ser colocado em execução em qualquer Organização. Graças ao Bernardo pelo brilhante trabalho! Conforme mencionado anteriormente nesta avaliação, uma equipe de projeto com maturidade adequada (não mencionada nos métodos) causará o impacto real no andamento do projeto, a partir da elaboração do plano. Uma equipe madura só pode estar disponível dependendo de uma estrutura organizacional para apoiá-la. É importante considerar que a avaliação da maturidade reduzirá os riscos associados ao projeto, porém, não está claro o quanto essa melhoria (redução do nível de risco) seria. Esses dois tópicos seriam minha recomendação de assuntos a serem tratados em estudos futuros neste Projeto.
	14	Achei muito interessante a proposta, uma vez que a subjetividade I, relacionada as escalas de maturidade, é reduzida com a implantação da abordagem R2O2S. Além disso, a definição adequada da maturidade favorece a boa gestão do plano a ser seguido.

A partir dos dados coletados.

Fonte: Produção do autor.



## APÊNDICE C – COMO ESCREVER BONS REQUISITOS

Neste apêndice, encontra-se uma tradução do *checklist* de validação de requisitos contido no Apêndice C de NASA (2017) que foi avaliado para associação à avaliação de maturidade tecnológica. As perguntas consideradas mais diretamente associadas ao processo de avaliação de maturidade atual e seu avanço para a solução tecnológica atual proposta para cumprimento com um determinado requisito foram destacadas em negrito e sublinhadas a título ilustrativo, porém outras perguntas, provavelmente, poderão auxiliar nesse contexto.

### Clareza (*Clarity*):

- Os requisitos são claros e inequívocos? (Todos os aspectos do requisito são compreensíveis e não estão sujeitos a erros de interpretação? O requisito está isento de pronomes indefinidos (este, estes) e de termos ambíguos (por exemplo, “conforme apropriado”, “etc.” e / ou , "Mas não limitado a")?)
- Os requisitos são concisos e simples?
- Os requisitos expressam apenas um pensamento por declaração de requisitos, uma declaração autônoma em oposição a vários requisitos em um único estado ou um parágrafo que contém requisitos e justificativa?
- A declaração de requisitos tem um sujeito e um predicado?

### Completeness (*Completeness*):

- Os requisitos são declarados da maneira mais completa possível? Todos os requisitos incompletos foram capturados como TBDs ou TBRs e uma lista completa deles foi mantida com os requisitos?
- Faltam alguns requisitos? Por exemplo, qualquer uma das seguintes áreas de requisitos foi esquecida: funcional,

desempenho, interface, ambiente (desenvolvimento, fabricação, teste, transporte, armazenamento e operações), instalação (fabricação, teste, armazenamento e operações), transporte (entre as áreas de fabricação, montagem, pontos de entrega, dentro das instalações de armazenamento, carregamento), treinamento, pessoal, operacionalidade, segurança, proteção, aparência e características físicas e *design*.

- Todas as premissas (*assumptions*) foram explicitamente declaradas?

Conformidade (*Compliance*):

- Todos os requisitos estão no nível correto (por exemplo, sistema, segmento, elemento, subsistema)?
- Os requisitos estão livres de especificações de implementação? (Os requisitos devem indicar o que é necessário, não como fazê-lo.)
- Os requisitos estão livres de descrições de operações? (Não se mistura operação com requisitos: atualize os *ConOps* em vez disso.)
- Os requisitos estão livres de atribuições organizacionais ou tarefas? (Não se mistura organizacional / tarefa com os requisitos do produto: atualiza-se a SOW ou a ordem das tarefas em vez disso.)

Consistência (*Consistency*):

- Os requisitos são declarados de forma consistente, sem contradizerem eles mesmos ou requisitos de sistemas relacionados?
- A terminologia é consistente com a terminologia do usuário e do patrocinador? Com o glossário do projeto?
- A terminologia é usada consistentemente em todo o documento? Os termos-chave estão incluídos no glossário do projeto?

### Rastreabilidade (*Traceability*):

- Todos os requisitos são necessários? Cada requisito é necessário para atender ao(s) requisito(s) pai(s)? Cada requisito é uma função ou característica necessária? Distinguir entre necessidades e desejos. Se não for necessário, não é um requisito. Pergunte: "Qual é a pior coisa que poderia acontecer se o requisito não fosse incluído?"
- Todos os requisitos (funções, estruturas e restrições) são rastreáveis bidirecionalmente aos requisitos de nível mais alto ou à missão ou ao escopo do sistema de interesse (ou seja, necessidades, metas, objetivos, restrições ou conceito de operações)?
- Cada requisito é declarado de maneira que possa ser referenciado exclusivamente (por exemplo, cada requisito é numerado exclusivamente) em documentos subordinados?

### Correção (*Correctness*):

- Cada requisito está correto?
- Cada premissa (*assumption*) declarada está correta? As premissas devem ser confirmadas antes que o documento possa ter *baselines* criadas.
- Os requisitos são tecnicamente viáveis?

### Funcionalidade (*Functionality*):

- Todas as funções descritas são necessárias e juntas são suficientes para atender às metas e objetivos da missão e do sistema?

### Performance (*Performance*):

- Todas as especificações e margens de desempenho necessárias estão listadas (por exemplo, considere tempo, taxa de transferência, tamanho do armazenamento, latência, exatidão e precisão)?

- Cada requisito de desempenho é realista?
- As tolerâncias são muito rígidas? As tolerâncias são defensáveis e econômicas? Pergunte: "Qual a pior coisa que poderia acontecer se a tolerância fosse dobrada ou triplicada?"

**Interface (Interface):**

- **Todas as interfaces externas estão claramente definidas?**
- **Todas as interfaces internas estão claramente definidas?**
- **Todas as interfaces são necessárias, suficientes e consistentes entre si?**

Mantenabilidade (*Maintenance*):

- Os requisitos de manutenção do sistema foram especificados de maneira mensurável e verificável?
- Os requisitos são escritos para que os efeitos cascata das alterações sejam minimizados (ou seja, os requisitos são tão fracamente acoplados quanto possível)?

Confiabilidade (*Reliability*):

- Os requisitos de confiabilidade estão especificados de forma clara, mensurável e verificável?
- Existem requisitos de detecção, relatório, manuseio e recuperação de erros?
- Eventos indesejados (por exemplo, *Single Event Upset*, perda ou embaralhamento de dados, erro do operador) são considerados e suas respostas necessárias especificadas?
- Foram feitas premissas (*assumptions*) sobre a sequência de funções pretendida? Essas sequências são necessárias?

- Esses requisitos abordam adequadamente a capacidade de sobrevivência após uma falha de *software* ou *hardware* do sistema do ponto de vista de *hardware*, *software*, operações, organizacional e procedimentos?

**Verificabilidade/Testabilidade (*Verifiability/Testability*):**

- **O sistema pode ser testado, demonstrado, inspecionados ou analisados para mostrar que satisfazem os requisitos? Isso pode ser feito no nível do sistema em que o requisito é declarado? Existem meios para medir a realização do requisito e verificar sua conformidade? Os critérios de verificação podem ser declarados?**
- **Os requisitos são estabelecidos precisamente para facilitar a especificação dos critérios de sucesso do teste e requisitos do sistema?**
- **Os requisitos estão livres de termos não verificáveis (por exemplo, flexível, fácil, suficiente, seguro, conforme necessário, adequado, acomodar, fácil de usar, utilizável, quando necessário, se necessário, apropriado, rápido, portátil, leve, pequeno, grande, maximizar, minimizar, suficiente, robusto, rápido, fácil, claro, outras palavras terminadas em “mente”)?**

Uso de dados (*Data Usage*):

- Onde aplicável, as condições "não importa" são realmente "não importa"? (Os valores "não importa" identificam casos em que o valor de uma condição ou bandeira é irrelevante, mesmo que o valor possa ser importante para outros casos.) Os valores das condições "não importa" são declarados explicitamente? (Identificação correta de "não importa" podem melhorar a portabilidade de um *design*.)

## APÊNDICE D – MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DE REQUISITOS

Este apêndice apresenta uma tradução dos quatro métodos de verificação padrão apresentados em ISO/IEC/IEEE (2011) para se obter as evidências de que os requisitos foram atendidos: inspeção, análise ou simulação, demonstração e teste.

**Inspeção** - um exame do item contra a documentação aplicável para confirmar a conformidade com requisitos. A inspeção é usada para verificar as propriedades mais bem determinadas por exame e observação (por exemplo, cor da tinta, peso, etc.). A inspeção é geralmente não destrutiva e, normalmente, inclui o uso da visão, audição, olfato, tato e paladar; manipulação física simples; aferição mecânica e elétrica; e medição.

Boa prática: inclua a identificação do(s) documento(s) ou desenho(s) a ser usado para fazer a comparação entre o que é necessário e o que está sendo inspecionado.

**Análise (incluindo modelagem e simulação)** - uso de dados analíticos ou simulações em condições definidas para demonstrar cumprimento teórico. Usado onde um teste em condições realistas não é realizável ou economicamente viável. A análise (incluindo simulação) pode ser usada quando tais meios estabelecerem que o requisito, especificação ou requisito derivado apropriado é atendido pela solução proposta. A análise também pode ser baseada na 'similaridade', revisando a verificação anterior de um item semelhante e confirmando que seu status de verificação pode ser legitimamente transferido para o elemento do sistema no presente desenvolvimento. A similaridade só pode ser usada se os itens forem semelhantes em *design*, fabricação e uso; especificações equivalentes ou mais rigorosas de verificação foram usadas para o semelhante elemento de sistema; e o ambiente operacional pretendido é idêntico ou menos rigoroso do que o elemento de sistema semelhante.

Boa prática: Identifique o nome genérico da análise (como Modos de Falha e Análise de Efeitos), ferramentas analíticas ou de computador, ou métodos numéricos; a fonte de dados de entrada; e como os dados brutos serão

analisados. Revise e chegue a um acordo com os *stakeholders* de que os métodos e ferramentas de análise, incluindo simulações, são aceitáveis para o fornecimento de prova objetiva ou conformidade de requisitos.

**Demonstração** - uma exibição qualitativa de desempenho funcional, geralmente realizada sem ou com instrumentação mínima ou equipamento de teste. A demonstração usa um conjunto de atividades de teste com estímulos de sistema selecionados pelo fornecedor para mostrar que a resposta do sistema ou elemento do sistema aos estímulos é adequada ou para mostrar que os operadores podem executar suas funções alocadas ao usar o sistema. Observações são feitas e comparadas com critérios predeterminados. A demonstração pode ser apropriada quando requisitos ou especificações são dados em termos estatísticos (por exemplo, tempo médio de reparo, potência média de consumo, etc.).

Boa prática: Declare quem devem ser as testemunhas para fins de coleta de evidências de sucesso, quais etapas gerais devem ser seguidas e quais recursos especiais são necessários, como instrumentação, equipamentos ou instalações de teste especiais, simuladores, coleta de dados específicos ou análise rigorosa de resultados de demonstração.

**Teste** - uma ação pela qual a operabilidade, capacidade de suporte ou capacidade de desempenho de um item é verificado quantitativamente quando submetido a condições controladas, reais ou simuladas. Estas verificações costumam usar equipamentos de teste ou instrumentação especiais para obter dados quantitativos muito precisos para análise.

Boa prática: declare quem devem ser as testemunhas para fins de coleta de provas de sucesso. Identifique a instalação de teste, o equipamento de teste, quaisquer necessidades de recursos e condições ambientais exclusivas, qualificações exigidas e teste de pessoal, etapas gerais que devem ser seguidas, dados específicos a serem coletados, critérios para repetibilidade dos dados coletados e métodos para analisar os resultados.

Todos os métodos e suas informações são incluídas e documentadas em uma Matriz de Rastreabilidade de Requisitos (RTM) ou uma Matriz de referência cruzada de verificação (VCRM).