

Natalia Curado Carneiro

**Monitoramento e avaliação de projetos de PD&I
de produtos e sistemas complexos para a área
de defesa: proposição de critérios, indicadores e
métricas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre em Metrologia
pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia
(Área de concentração: Metrologia para Qualidade
e Inovação) da PUC-Rio.

Orientadora: Maria Fatima Ludovico de Almeida

Rio de Janeiro,
Maio de 2023



Natalia Curado Carneiro

Monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de produtos e sistemas complexos para a área de defesa: proposição de critérios, indicadores e métricas

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação) da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof.^a Maria Fatima Ludovico de Almeida

Orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Dr. José Adalberto França Junior

Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC)

Prof. Rodrigo Flora Calili

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Prof. Carlos Roberto Hall Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Prof. Daniel Ramos Louzada

Programa de Pós-Graduação em Metrologia – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 02 de maio de 2023

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e da orientadora.

Natalia Curado Carneiro

Graduada em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia (2009). Atualmente é integrante da Agência de Gestão e Inovação Tecnológica, atuando na área de Promoção da Cultura de Inovação, e mestranda do Programa de Pós-graduação em Metrologia da PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Carneiro, Natalia Curado

Monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de produtos e sistemas complexos para a área de defesa : proposição de critérios, indicadores e métricas / Natalia Curado Carneiro ; orientadora: Maria Fatima Ludovico de Almeida. – 2023.

167 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Centro Técnico Científico, Programa de Pós-Graduação em Metrologia, 2023.

Inclui bibliografia

1. Metrologia – Teses. 2. Metrologia para Qualidade e Inovação – Teses. 3. Gestão da inovação. 4. CoPS de defesa; 5. *Stage-Gate*. 6. TRL. 7. Métodos multicritério de apoio à decisão. I. Almeida, Maria Fatima Ludovico de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Centro Técnico Científico. Programa de Pós-Graduação em Metrologia. III. Título.

CDD:389.1

Agradecimentos

A Deus, pela mão sustentadora nos momentos quando achei que não podia.

Aos meus pais, Fernando Cesar Neves Carneiro e Maria Angélica Curado Carneiro, pela compreensão e apoio nos momento de dificuldade, fornecendo a estrutura necessária para que eu pudesse atingir meus objetivos.

À minha orientadora, Prof^a Maria Fatima Ludovico de Almeida, por me mostrar o caminho e muitas vezes percorrê-lo comigo. Sua disponibilidade, paciência, cuidado e sabedoria foram essenciais nessa jornada.

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Metrologia da PUC-Rio e aos professores pela dedicação e conhecimentos transmitidos. Em especial, ao Prof. Rodrigo Calili que, com generosidade e empatia, me incentivou a persistir na disciplina de Métodos Multicritério de Apoio à Decisão, contribuindo para o meu amadurecimento pessoal e profissional.

Ao Exército Brasileiro pela oportunidade de realizar este curso de mestrado e possibilitar meu aprimoramento técnico-profissional.

A Agência de Gestão e Inovação Tecnológica – AGITEC, pelo apoio institucional, e ao Centro Tecnológico do Exército – CTEx, em particular, ao Grupo Especial Radar, pelo compartilhamento de informações importantes para o desenvolvimento da fase aplicada desta pesquisa.

Ao meu supervisor militar, José Adalberto França Junior, por ter compartilhado seus conhecimentos na área de gestão de PD&I de projetos de CoPS de defesa, os quais foram fundamentais para o refinamento do modelo conceitual proposto nesta dissertação.

A todos que, de alguma maneira, colaboraram para realização desta dissertação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Resumo

Carneiro, Natalia Curado; Almeida, Maria Fatima Ludovico de (Orientadora). **Monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de produtos e sistemas complexos para a área de defesa: proposição de critérios, indicadores e métricas**. Rio de Janeiro, 2023. 167p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo desta dissertação é propor e aplicar um modelo conceitual para monitorar e avaliar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) de novos produtos e sistemas complexos (CoPS), mediante o emprego de uma abordagem metodológica, que integra a escala *Technology Readiness Level* (TRL) à ferramenta *Stage-Gate* e emprega dois métodos multicritério de apoio à decisão. A metodologia compreende: (i) pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa; (ii) construção do modelo conceitual de monitoramento e avaliação (MA) de projetos de PD&I de CoPS de defesa, baseado na ferramenta *Stage-Gate* e na escala TRL; (iii) emprego do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) em dois momentos, sendo o primeiro para definir os pesos dos critérios para validação da qualidade dos indicadores de desempenho referentes a projetos de PD&I e o segundo para atribuir pesos aos critérios de avaliação dos referidos projetos no portões de decisão (*gates*); (iv) emprego do método TOPSIS para validação da qualidade dos indicadores de desempenho; e (v) aplicação do modelo proposto, tendo como foco um projeto de PD&I de CoPS em andamento no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), visando evidenciar seu potencial de replicabilidade para os demais projetos de PD&I de CoPS daquele Centro. Destaca-se como resultado principal um modelo inovador de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa, que poderá ser aplicado no CTEx e em outras instituições de CT&I, que buscam a excelência em gestão da inovação, particularmente quando enfrentam os desafios do desenvolvimento de PD&I de CoPS. Os resultados do estudo empírico conduzido neste contexto organizacional mostraram que é possível empregar, de forma integrada e efetiva, a ferramenta *Stage-Gate* e a escala TRL para monitorar e avaliar projetos de PD&I de CoPS de defesa ao longo de seu desenvolvimento.

Palavras-chave

Metrologia; gestão da inovação; CoPS de defesa; *Stage-Gate*®; TRL; métodos multicritério de apoio à decisão.

Abstract

Carneiro, Natalia Curado; Almeida, Maria Fatima Ludovico de (Advisor). **Monitoring and Evaluation of RD&I Projects of Complex Products and Systems for the Defense Area: Proposition of Criteria, Indicators and Metrics**. Rio de Janeiro, 2023. 167p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Metrologia (Área de concentração: Metrologia para Qualidade e Inovação), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this dissertation is to propose and apply a conceptual model for monitoring and evaluating research, development, and innovation (RD&I) projects of new complex products and systems (CoPS), using a methodological approach that integrates the Technology Readiness Level (TRL) scale with the Stage-Gate tool and employs two multicriteria decision support methods. The methodology comprises: (i) bibliographic and documentary research on the central themes of the research; (ii) development of the conceptual model for monitoring and evaluation RD&I projects of CoPS for the defense area, based on the Stage-Gate tool and the TRL scale; (iii) use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method in two moments, the first to define the weights of the criteria for validation of the quality of performance indicators related to RD&I projects; and the second to assign weights to the evaluation criteria for the mentioned projects at decision gates; (iv) use of the TOPSIS method to validate the quality of the performance indicators; and (v) application of the proposed model, focusing on an RD&I project underway at the Army Technological Center (CTEx), aiming to show its potential for replicability to other RD&I projects of CoPS at that Center. The main result is an innovative model for monitoring and evaluating RD&I projects of CoPS for the defense area, which can be applied at CTEx and other Science and Technology Institutions seeking excellence in innovation management, particularly when facing the challenges of CoPS development. The results of the empirical study conducted in this organizational context showed that it is possible to use the Stage-Gate tool and the TRL scale in an integrated and effective manner to monitor and evaluate RD&I projects of CoPS for the defense area throughout their development.

Keywords

Metrology; innovation management; Defense CoPS; Stage-Gate; TRL; multicriteria decision-making methods.

Sumário

1. Introdução.....	13
1.1 Definição do problema de pesquisa.....	18
1.2 Objetivos: geral e específicos.....	19
1.3 Metodologia.....	20
1.3.1 Fase exploratória e descritiva.....	22
1.3.2 Fase de pesquisa aplicada.....	24
1.3.3 Fase conclusivo-propositiva.....	24
1.4 Estrutura da dissertação.....	24
 2. Monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de novos produtos e sistemas complexos (CoPS).....	 26
2.1 Conceituação de produtos e sistemas complexos (CoPS).....	26
2.2. Modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I com potencial de aplicação em projetos de CoPS.....	29
2.3. Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS.....	43
2.4 Considerações finais sobre o capítulo.....	53
 3. Modelo conceitual para monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa.....	 56
3.1 Visão geral do modelo.....	56
3.2 Visão detalhada do modelo.....	59
3.2.1 Fase I – Definição do problema de decisão e estrutura analítica para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa.....	59
3.2.2 Fase II – Validação dos indicadores de desempenho por portão de decisão: uso dos métodos AHP e TOPSIS.....	69
3.2.3 Fase III – Avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa durante seu desenvolvimento.....	77
 4. Aplicação do modelo conceitual na avaliação de um projeto de PD&I de CoPS na área de defesa.....	 81
4.1 Proposição do estudo empírico e definição das questões norteadoras.....	81
4.2 Caracterização da unidade de análise e seu contexto organizacional.....	82
4.2.1 Unidade de análise.....	82
4.2.2 Contexto organizacional.....	82
4.2.3 O Projeto Radar SABER M200 Multimissão (PO2).....	86
4.3 Aplicação do modelo conceitual no monitoramento e avaliação do Projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão.....	88
4.3.1 Coleta, formatação e análise dos dados.....	89
4.3.2 Resultados da Fase I – Definição do problema de decisão e estrutura analítica para monitoramento e avaliação.....	90
4.3.3 Resultados da Fase II – Validação dos indicadores de desempenho propostos para os portões de decisão, por tipo de projeto de PD&I.....	91
4.3.4 Resultados da Fase III – Avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa durante seu desenvolvimento.....	96
4.4 Discussão dos resultados.....	108

5. Conclusões.....	113
6. Referências bibliográficas.....	117
Apêndice A1 – Escala <i>Technology Readiness Level</i> (TRL) adaptada para uso pelo Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).....	125
Apêndice A2 – Descrição dos métodos multicritério de apoio à decisão adotados na pesquisa.....	132
Apêndice A3 – Definição dos indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa.....	141
Apêndice A4 – Definição dos indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa	144
Apêndice A5 – Procedimento para validação dos indicadores de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa.....	147
Apêndice A6 – Procedimento para avaliação de desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.....	154

Siglas

AGITEC	Agência de Gestão e Inovação Tecnológica
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
CTEx	Centro Tecnológico do Exército
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
DCT	Departamento de Ciência e Tecnologia
DNP	Desenvolvimento de novos produtos
ELECTRE	<i>Élimination et Choix Traduisant la REalité</i>
EME	Estado-Maior do Exército
ERM	<i>Earned Readiness Management</i>
ICT	Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
IRL	<i>Innovation Readiness Level</i>
MA	Monitoramento e avaliação
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multiple Attribute Utility Theory</i>
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ODG	Órgão de Direção Geral do Estado-Maior do Exército
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação
PMEX	<i>Performance Measurement Evaluation Matrix</i>
PósMQI	Programa de Pós-graduação em Metrologia
PRODE	Produto de defesa
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
SCTIEx	Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército
SRL	<i>System Readiness Level</i>
SMEM	Sistemas e Materiais de Emprego Militar
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>

Lista de figuras

Figura 1.1 –	Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos.....	21
Figura 1.2 –	Mapa conceitual da pesquisa.....	23
Figura 3.1 –	Fluxograma do modelo conceitual para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa: Fases I e II.....	57
Figura 3.2 –	Fluxograma do modelo conceitual para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa: Fase III	58
Figura 3.3 –	Estrutura analítica para monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa.....	61
Figura 3.4 –	Estrutura hierárquica de decisão para validação dos indicadores propostos para avaliação de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.....	77
Figura 4.1 –	Ilustração do Radar SABER M200 MM (PO2).....	86
Figura 4.2 –	Estrutura analítica para monitoramento e avaliação de desempenho do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2).....	90
Figura 4.3 –	Estágio atual do projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’	97
Figura 4.4 –	Estágio atual do Projeto de PD&I do ‘Radar Primário (Painel)’.....	101
Figura 4.5 –	Estágio atual do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2).....	105

Lista de quadros

Quadro 2.1 –	Características de produtos e sistemas complexos versus bens de produção em massa.....	27
Quadro 2.2 –	Diferenças entre desenvolvimento de tecnologia (DT) e de produto (DP).....	30
Quadro 2.3 –	Análise comparativa de modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DTs) e de produtos (DPs).....	31
Quadro 2.4 –	Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS.....	44
Quadro 2.5 –	Escala TRL desenvolvida pela NASA.....	52
Quadro 2.6 –	Escala TRL adaptada para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).....	52
Quadro 3.1 –	Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de subsistemas, componentes ou tecnologias (DTs).....	65
Quadro 3.2 –	Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de novos CoPS de defesa	66
Quadro 3.3 –	Indicadores de desempenho associados aos portões de decisão de projetos de PD&I de novas tecnologias (DT) de defesa.....	70
Quadro 3.4 –	Indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novos CoPS defesa (DP).....	72
Quadro 3.5 –	Critérios de M&A para validação dos indicadores de desempenho propostos para avaliar projetos de PD&I de CoPS de defesa.....	75
Quadro 3.6 –	Escala de Saaty para as comparações pareadas.....	75
Quadro 4.1 –	Estrutura simplificada do segundo protótipo do Radar SABER M200 Multimissão (PO2).....	88
Quadro 4.2 –	Quadro-síntese da coleta, formatação e análise dos dados....	89

Lista de tabelas

Tabela 4.1 –	Pesos dos critérios de monitoramento e avaliação (M&A) para validação dos indicadores de desempenho.....	91
Tabela 4.2 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD1 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa.....	92
Tabela 4.3 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD2 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa.....	92
Tabela 4.4 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD3 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa.....	93
Tabela 4.5 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD4 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa.....	93
Tabela 4.6 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD1 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.....	94
Tabela 4.7 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD2 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.....	94
Tabela 4.8 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD3 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.....	95
Tabela 4.9 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD4 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.....	95
Tabela 4.10 –	Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD5 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.....	96
Tabela 4.11 –	Matriz de comparações pareadas entre os critérios associados ao PD4 de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes tecnológicos (DT).....	97
Tabela 4.12 –	Pesos para os critérios de avaliação associados ao Portão de Decisão PD4 de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes tecnológicos de uma tecnologia crítica (DT).....	98
Tabela 4.13 –	Matriz para avaliação do projeto de PD&I do subsistema 'Bandeja'.....	99
Tabela 4.14 –	Matriz de comparações pareadas entre os critérios associados ao Portão de Decisão PD3 de um projeto de PD&I de novas tecnologias (DT).....	102
Tabela 4.15 –	Pesos para os critérios de avaliação associados ao Portão de Decisão PD3 de projetos de PD&I de uma tecnologia crítica (DT).....	102
Tabela 4.16 –	Matriz para avaliação do projeto de PD&I da tecnologia crítica 'Radar Primário (Painel)'.....	103
Tabela 4.17 –	Matriz de comparações pareadas entre os critérios associados ao portão de decisão PD2 de um projeto de PD&I de um novo CoPS.....	106
Tabela 4.18 –	Pesos para os critérios de avaliação associados ao Portão de Decisão PD2 de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.....	106
Tabela 4.19 –	Matriz para avaliação do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2).....	107

1

Introdução

Conhecimento, pesquisa e inovação são de crucial importância, tanto para a competitividade na economia moderna, quanto para gerar elevados níveis de riqueza e bem-estar. Este fenômeno é ainda mais expressivo no contexto do desenvolvimento de produtos e sistemas complexos (CoPS, do termo em inglês *Complex Products and Systems*) (Hobday, 1998; 2000; Hobday *et al.*, 2005; Brady *et al.*, 2012; Brady e Hobday, 2012), caracterizados como produtos e sistemas de alta tecnologia (Archibald, 2003).

CoPS constituem uma proporção significativa da produção industrial e da formação de capital fixo sobre a qual bens e serviços são produzidos e comercializados (Hobday e Rush, 1999; Acha *et al.*, 2004). Além disso, Hobday, Rush e Tidd (2000) consideram que a inovação em CoPS gera diversos transbordamentos tecnológicos, representando um ponto chave de entrada para novas tecnologias nos mais diversos contextos socioprodutivos.

Diferente da dinâmica da inovação dos sistemas de produção em massa, CoPS caracterizam-se pela alta variabilidade de produto, baixa escala de produção e por atenderem às necessidades específicas dos seus clientes (Davies e Brady, 2000).

Conceitualmente, CoPS são produtos, sistemas, bens de capital, unidades de controle, redes e construções de alta valor e intensivos em tecnologia (Hobday, 1998; 2000; Hobday e Rush, 2019). Normalmente, costumam ser produzidos em projetos únicos ou em pequenos lotes e a ênfase da produção está no design, gerenciamento de projetos, engenharia de sistemas e integração de sistemas. O termo “complexo” reflete o número de componentes, a amplitude do escopo de conhecimento e habilidades envolvidas na produção de cada um deles, bem como na sua integração e manufatura (Hobday, 1998; 2000; Hobday e Rush, 1999).

Exemplos incluem centrais telefônicas, simuladores de voo, motores de aeronaves e de trens, unidades de controle de tráfego aéreo, sistemas para redes

elétricas, equipamentos *offshore* de petróleo e gás, edificações inteligentes e equipamentos de redes celulares.

Além dessas particularidades, a integração de componentes, subsistemas e sistemas é outra capacidade central na produção de CoPS. No entanto, o domínio de conhecimento necessário para a capacidade de integração vai além da capacidade de engenharia de uma única empresa (Davies e Brady, 2000; Hobday, 1998; 2000), surgindo uma rede de atores com capacidades heterogêneas, composta por fornecedores, parceiros, reguladores, usuários e pequenas firmas especializadas. O entendimento comum entre esses atores é essencial para a coordenação do conhecimento necessário no desenvolvimento de novos CoPS e desempenha um papel fundamental para lidar com diferentes culturas organizacionais, óbices nas relações contratuais e a necessidade de integrar diferentes bases de conhecimentos (Davies *et al.*, 2011).

Essas características comuns aos produtos e sistemas complexos geram muitas incertezas no gerenciamento das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) de novos CoPS, especialmente nos estágios iniciais. Em particular, quando o nível de conhecimento comum (Grant, 1996; Schmickl e Kieser, 2008) e de entendimento entre os atores (Axelson, 2008; Okhuysen e Bechky, 2009) nos programas ou projetos desenvolvidos em rede é reduzido. (Davies *et al.*, 2011).

Nessa perspectiva, estimulados pela importância tecnológica e econômica dos CoPS e também pela incerteza inerente à gestão de PD&I desses produtos, pesquisadores e gestores têm impulsionado a produção científica referente ao desenvolvimento de ferramentas e métodos aplicáveis aos CoPS (Ranjabar *et al.*, 2018).

Em geral, as atividades de PD&I de novos produtos envolve o gerenciamento de incerteza e riscos ao longo de todo o funil de inovação, desde a geração e seleção de ideias até a chegada ao mercado das soluções inovadoras. Na realidade, antes de um produto ser lançado no mercado, a solução inovadora gerada no processo de pesquisa e desenvolvimento passa pelos processos de desenvolvimento da tecnologia e do novo produto (Cooper, 2006).

A literatura na área de conhecimento em desenvolvimento de novos produtos (DNP) é extensa e a maior parte das pesquisas existentes concentra-se no processo de desenvolvimento de novos produtos, abordando métodos e

ferramentas para seu gerenciamento. Uma dessas ferramentas, conhecida por *Stage-Gate* (Cooper, 1990; 2006; 2022) visa ao gerenciamento de um determinado projeto de PD&I segundo estágios de desenvolvimento e marcos decisórios bem definidos (portões de decisão ou *gates*). Ao final de cada estágio, é necessário submeter o projeto a um portão de decisão com critérios de avaliação objetivos, visando evitar gastos desnecessários com a condução de projetos que não são mais relevantes (podendo gerar inclusive cancelamento formal) ou até mesmo alterações e ajustes que se façam necessários para o sucesso do projeto. Em cada estágio, o avanço da tecnologia ou produto é monitorado para que, no portão de decisão, o progresso do projeto seja avaliado segundo um conjunto de critérios associados a cada portão, que precisam ser cumpridos para que o projeto prossiga em seu curso de desenvolvimento. Caso contrário, deverá ser cancelado (Cooper, 1990; 2006; 2022).

Particularmente, quando se trata da gestão de PD&I de novos CoPS, estudiosos reconhecem a complexidade e a incerteza inerente à problemática da integração de novas tecnologias e conhecimentos ao processo de PD&I em si e da heterogeneidade da rede de atores a serem envolvidos (p.ex., Ajamian e Koen, 2002; Brady, Davies e Nightingale, 2012; Johansson, 2014). Essas características requerem abordagens de gestão mais sofisticadas, que levem em consideração não só o planejamento com metas e pontos de controle intermediários, mas também de mecanismos de integração para o gerenciamento efetivo do desenvolvimento de novos CoPS.

Nessa perspectiva, na fase exploratória desta pesquisa, buscou-se identificar e classificar modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) ou de novos produtos (DP), segundo a abordagem metodológica proposta por Fettke e Loos (2003), como ponto de partida para se analisar a aplicabilidade desses modelos ao longo da execução de projetos de PD&I de CoPS de defesa. Com base em uma análise comparativa dos modelos levantados, foi possível identificar sete com potencial de aplicação em projetos de PD&I de CoPS, cujos elementos poderão ser considerados na fase de modelagem desta pesquisa. São eles: Clausing (1994); Cooper (2006); Johnsson *et al.* (2008); Cedergren (2011); Zhang *et al.* (2013); Brilhuis-Meijer *et al.* (2016); e Cooper (2022).

A partir desse entendimento e no contexto de desenvolvimento de projetos de PD&I de CoPS para a área de defesa, o monitoramento e avaliação do progresso tecnológico ao longo de um projeto de PD&I é considerada uma habilidade considerada fundamental para as organizações que integram sistemas complexos (Gholz, 2003). Nesse sentido, a escala de prontidão tecnológica conhecida como TRL (sigla em inglês de *Technology Readiness Level*), criada na década de 1970 pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) dos Estados Unidos, constitui uma opção metodológica para avaliar com menor grau de subjetividade o estágio de desenvolvimento em que se encontra um projeto de PD&I de um novo produto ou tecnologia.

Desde então, a escala TRL tem sido amplamente adotada em vários setores socioprodutivos e do governo para avaliar o nível de desenvolvimento de tecnologias emergentes ou complexas em todas as fases do ciclo de inovação, desde a sua concepção até o nível de prontidão para o mercado (Mankins, 1995; 2009a; 2009b).

Esta ferramenta combina a objetividade metodológica, que estabelece marcos evolutivos e métricas para posicionar os projetos segundo uma escala de nove níveis (TRL 1 a 9), e a vertente qualitativa, que emprega a experiência e a capacidade técnica de gestores e especialistas dos mais diversos ecossistemas de inovação.

No entanto, além da habilidade de gerenciar a estrutura complexa e monitorar o avanço tecnológico ao longo de um projeto de PD&I de CoPS, recomenda-se também o emprego de algum outro método de gestão que possa contribuir para tornar o processo decisório mais racional, eficaz e eficiente (Girardi e Santos, 2023). Nesse sentido, o emprego de métodos multicritério de apoio à decisão mostra-se adequado para a obtenção de uma solução metodológica mais robusta.

Assim, a revisão bibliográfica e análise documental conduzidas sob a perspectiva do tema central desta dissertação – monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS, incluindo doze modelos conceituais e 26 estudos empíricos, confirmaram a oportunidade de se desenvolver um modelo segundo uma abordagem multicritério que integre a ferramenta *Stage-Gate* e a escala TRL (ver quadros 2.3 e 2.4, no capítulo 2).

Considerando o interesse do Exército Brasileiro em relação ao desenvolvimento de um modelo para gestão de projetos de PD&I de Sistemas e Materiais de Emprego Militar (SMEM), esta pesquisa busca contribuir para a Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC), particularmente no apoio a processos decisórios sobre a continuidade (ou não) dos projetos de PD&I de CoPS para a área de defesa desenvolvidos no Centro Tecnológico do Exército (CTEx).

O propósito da presente pesquisa alinha-se ao Objetivo Estratégico do Exército (OEE 9), qual seja “Aperfeiçoar o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército (SCTIEx), que se desdobra na implantação da AGITEC, a qual deve executar a gestão da inovação por meio da implantação de diversos processos com emprego de indicadores de inovação consagrados”.

O SCTIEX compreende universidades, empresas, órgão de fomento e institutos de pesquisa, além das organizações do Exército Brasileiro responsáveis por planejar e executar projetos estratégicos de aquisição de sistemas e produtos complexos: o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), o Órgão de Direção Setorial e o Órgão de Direção Geral, o Estado-Maior do Exército (EME) (Prado Filho, 2014).

O DCT tem como missão planejar, organizar, dirigir e controlar as atividades científicas, tecnológicas e de inovação no âmbito do Exército Brasileiro. Sua área de atuação compreende temas associados às diversas fases do ciclo de vida de um produto ou sistema militar, como projeto conceitual, pesquisa e desenvolvimento, integração de sistemas, dentre outros (Prado Filho, 2014). Além disso, no DCT existem diversos projetos de PD&I de CoPS de defesa em andamento em diferentes níveis de prontidão tecnológica. Segundo França Jr. e Galdino (2019), esses projetos são resultado da integração de tecnologias críticas e de alta complexidade, possuem subsistemas desenvolvidos para atender requisitos funcionais dos usuários, e específicos dos us, serão produzidos em baixa escala, destinando-se a mercados específicos.

Face ao exposto, espera-se que o modelo aqui proposto propicie aos diversos atores do SCTIEX o ferramental adequado para o monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de produtos e sistemas complexos para a área de defesa.

Esta dissertação insere-se na linha de pesquisa “Gestão Estratégica da Inovação e Sustentabilidade” do Programa de Pós-graduação em Metrologia (PósMQI) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

1.1.

Definição do problema de pesquisa

Considerando que:

- Os produtos e sistemas complexos são estratégicos para o progresso industrial e econômico dos países e que o monitoramento e avaliação do desenvolvimento de novos CoPS são fundamentais para que possam ser efetivamente gerenciados;
- A gestão de PD&I de novos CoPS no Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) é considerada de relevância estratégica para o Exército Brasileiro e para o aperfeiçoamento do SCTIEx;
- A AGITEC poderá aprimorar seus processos de gestão de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa, mediante a implementação de uma sistemática de monitoramento e avaliação, que considere marcos de decisão ao longo do desenvolvimento desses projetos, incluindo critérios, indicadores e métricas em cada marco, para seu efetivo gerenciamento;
- Existem lacunas identificadas na literatura referentes ao tema central deste trabalho, i.e., monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de novos CoPS na área de defesa;

enunciam-se as seguintes questões norteadoras a serem respondidas ao longo da pesquisa:

- Que critérios de avaliação devem ser propostos para monitorar e avaliar o desempenho de projetos de PD&I de CoPS para defesa em cada um dos portões de decisão da ferramenta *Stage-Gate*?
- Que indicadores e métricas associados aos portões de decisão da ferramenta *Stage-Gate* devem ser definidos para integrar um modelo de monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de CoPS para defesa?
- Em que medida o emprego de uma abordagem multicritério de apoio à decisão pode conferir robustez metodológica ao modelo de monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de CoPS para defesa, mediante a atribuição de pesos aos critérios de avaliação em

cada portão de decisão e a validação da qualidade dos indicadores propostos para os referidos portões de decisão?

1.2.

Objetivos: geral e específicos

Buscando-se responder essas questões norteadoras, na perspectiva de gerar conhecimento para aprimorar a gestão de projetos de PD&I de CoPS em instituições científicas, tecnológicas e de inovação (ICT), em geral e, em particular, naquelas que atuam na área de defesa, essa dissertação tem como objetivo geral propor e aplicar um modelo conceitual para monitorar e avaliar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) de novos produtos e sistemas complexos (CoPS), mediante o emprego de uma abordagem metodológica, que integra a ferramenta *Stage-Gate* e a escala *Technology Readiness Level* (TRL) e emprega métodos multicritério de apoio à decisão.

Em termos específicos, a dissertação busca:

- Caracterizar produtos e sistemas complexos (CoPS) e identificar o que deve ser considerado no monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS, em comparação com modelos consagrados de gestão de PD&I de novas tecnologias e produtos;
- Analisar o potencial de aplicação dos principais modelos de gestão de PD&I de novas tecnologias e produtos no contexto da gestão de PD&I de novos CoPS de defesa;
- Identificar e selecionar métodos e ferramentas que vêm sendo adotados na gestão de PD&I de novas tecnologias e produtos, aplicáveis ao monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS na área de defesa;
- Desenvolver um modelo conceitual para monitorar e avaliar o desempenho de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa, integrando a escala TRL à ferramenta *Stage-Gate* e empregando métodos multicritério de apoio à decisão;
- Aplicar o modelo conceitual na avaliação de um projeto de PD&I de um novo CoPS para a área de defesa, que está sendo desenvolvido no CTEX, em três níveis: (i) avaliação de um projeto de PD&I de um subsistema que será integrado ao desenvolvimento de uma tecnologia crítica do novo CoPS; (ii) avaliação do projeto de PD&I dessa tecnologia crítica que

integrará o projeto de PD&I do novo CoPS; e (iii) avaliação propriamente dita do projeto de PD&I do novo CoPS.

1.3. Metodologia

De acordo com a taxonomia proposta por Vergara (2015), a pesquisa pode ser considerada descritiva, metodológica e aplicada, quanto aos fins.

A figura 1.1 apresenta o desenho da pesquisa, destacando seus componentes e métodos, de acordo com três fases principais: (i) exploratória e descritiva; (ii) pesquisa aplicada; e (iii) conclusivo-propositiva.

Quanto aos meios de investigação, a metodologia compreende: (i) pesquisa bibliográfica e documental sobre os temas centrais da pesquisa; (ii) construção do modelo conceitual de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa, baseado na ferramenta *Stage-Gate* e na escala TRL; (iii) emprego do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) em dois momentos, sendo o primeiro para definir os pesos dos critérios para validação da qualidade dos indicadores de desempenho referentes a projetos de PD&I de tecnologias e produtos; e o segundo para atribuir pesos aos critérios de avaliação dos referidos projetos no portões de decisão (*gates*); (iv) emprego do método TOPSIS para validação da qualidade dos indicadores desempenho em cada portão de decisão; e (v) aplicação do modelo proposto, tendo como foco um projeto de PD&I de CoPS em andamento no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), visando evidenciar seu potencial de replicabilidade para os demais projetos de PD&I de CoPS daquele Centro.

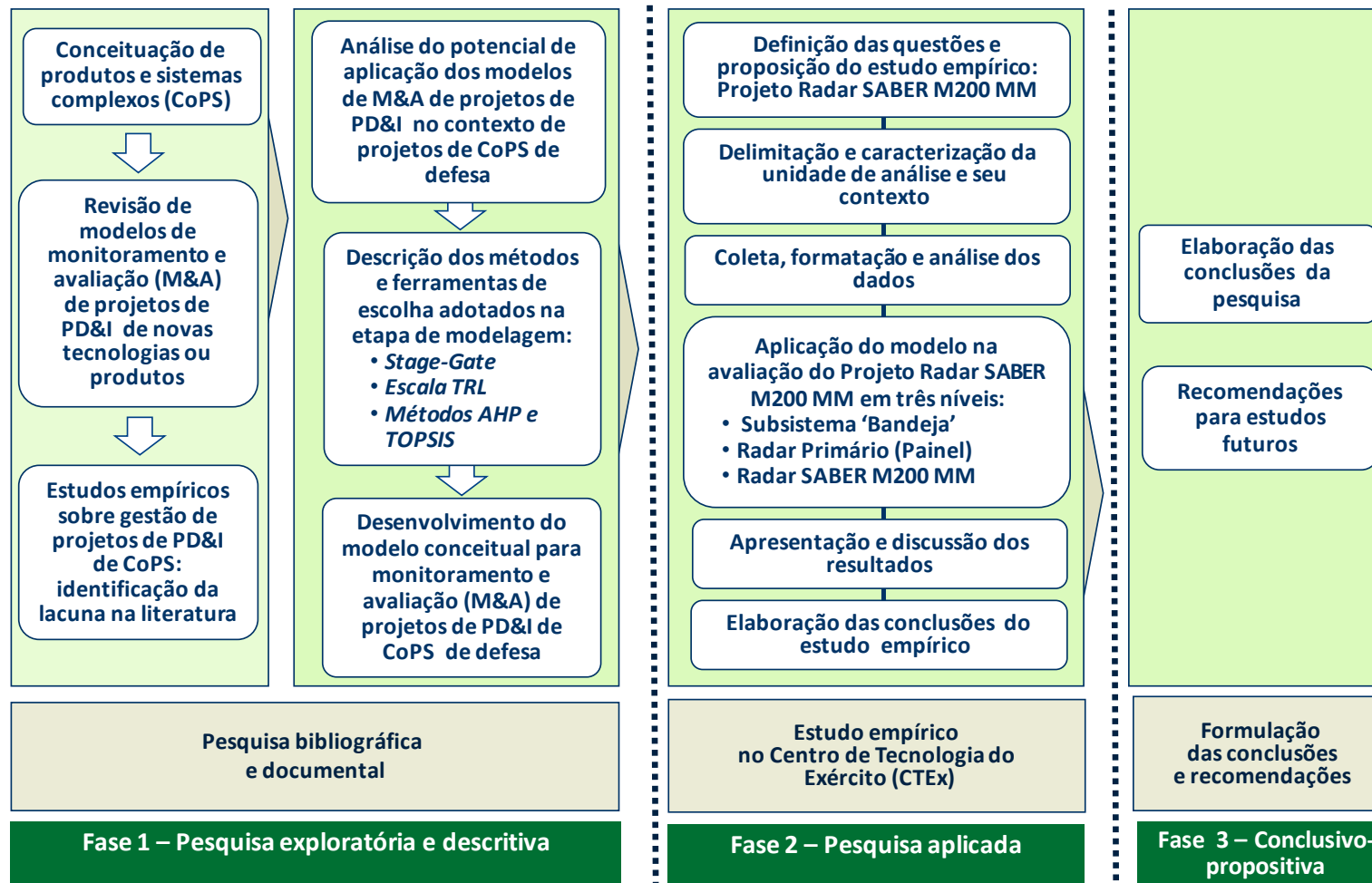


Figura 1.1 – Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos

Detalham-se, a seguir, o desenvolvimento das três fases da figura 1.1 e os resultados esperados em cada um de seus blocos.

1.3.1.

Fase exploratória e descritiva

Esta fase foi iniciada com pesquisa bibliográfica e documental, com o objetivo de identificar trabalhos conceituais e documentos de referência para delimitação do tema central da pesquisa – ‘gestão de PD&I de novos CoPS de defesa’. Na sequência, expandiu-se a revisão bibliográfica, buscando-se analisar comparativamente os modelos consagrados de gestão de PD&I de novas tecnologias e produtos, para analisar o potencial de aplicação desses modelos no contexto da gestão de PD&I de CoPS da área de defesa.

A pesquisa documental cobriu publicações de referência sobre a abordagem metodológica de escolha, i.e., a integração da ferramenta *Stage-Gate* e a escala Technology Readiness Level (TRL). Destaca-se para fins desta pesquisa o documento "*Technology Readiness Assessment Guide*", publicado pelo U.S. Government Accountability Office (GAO) em 2020. Esse Guia apresenta orientações e melhores práticas para apoiar os gestores desses programas e projetos a avaliar com precisão a prontidão de uma tecnologia antes de tomar decisões importantes de investimento e implementação (US GAO, 2020).

A partir dos resultados da revisão da literatura, partiu-se para a etapa de modelagem conceitual, que integrou as ferramentas *Stage-Gate* (Cooper, 1990; 2006; 2022) e a escala TRL adaptada para uso pelo Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (Girardi *et al.*, 2022). Além dessa integração, a modelagem empregou ainda dois métodos multicritério de apoio à decisão (Saaty, 1990; Hwang e Yoon, 1981), visando conferir robustez metodológica ao modelo conceitual, mediante a validação da qualidade dos indicadores propostos para os portões de decisão, de acordo com a ferramenta *Stage-Gate*, e a atribuição de pesos aos critérios de avaliação a serem empregados durante as avaliações propriamente ditas dos projetos de PD&I de CoPS de defesa.

Uma visão geral e esquemática dos resultados desta primeira fase é representada graficamente no formato de um mapa conceitual (figura 1.2).

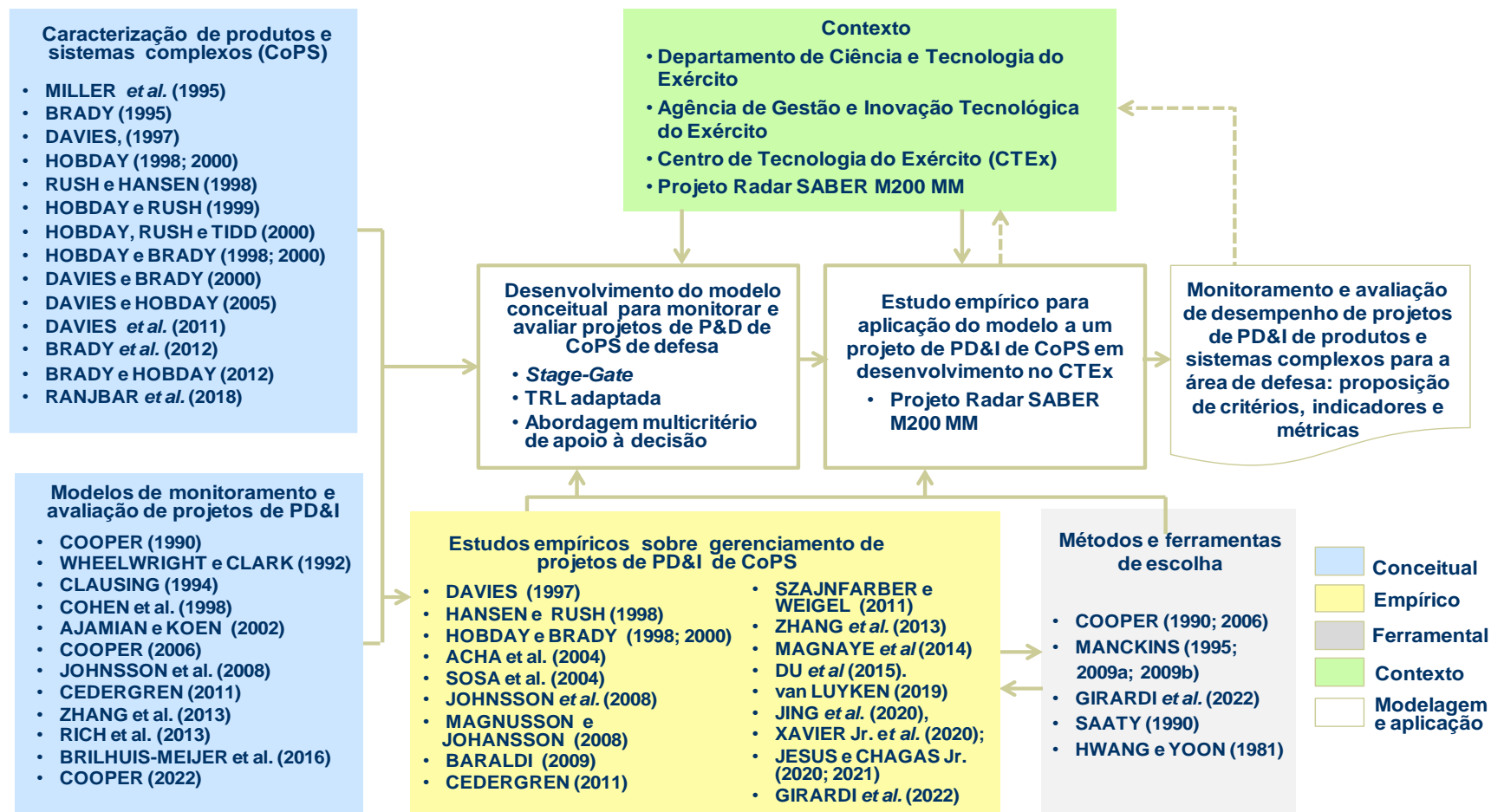


Figura 1.2 – Mapa conceitual da pesquisa

1.3.2.

Fase de pesquisa aplicada

Com o objetivo de aplicar na prática o modelo conceitual proposto na fase anterior, desenvolveu-se um estudo empírico no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), subordinado ao Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) do Exército, tendo como foco um dos projetos de PD&I de CoPS, que se encontra em desenvolvimento no CTEx – o Projeto Radar SABER M200 Multimissão (PO2). Este estudo seguiu os passos metodológicos de cada fase do modelo conceitual, descritos no capítulo 3, e seus resultados e conclusões são apresentados no capítulo 4.

1.3.3.

Fase conclusivo-propositiva

Nesta fase, elaboraram-se a conclusão geral e as específicas em relação às questões da presente pesquisa. Formulou-se ainda um conjunto de recomendações de temas de estudos acadêmicos futuros, como desdobramentos desta pesquisa.

1.4.

Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, incluindo esta introdução.

No capítulo 2, conceituam-se produtos e sistemas complexos (CoPS), destacando-se as características consideradas relevantes na gestão de PD&I desses produtos e sistemas. A partir desse entendimento, comparam-se doze modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) ou de novos produtos (DP), como ponto de partida para se analisar a aplicabilidade desses modelos no contexto de projetos de PD&I de CoPS. Além desta análise, apresenta-se uma síntese de 26 estudos empíricos nesse tema, com ênfase nos aspectos metodológicos, buscando-se evidenciar as lacunas na literatura que serão abordadas na fase de modelagem da presente pesquisa.

No capítulo 3, propõe-se um modelo conceitual para monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa. Inicialmente, apresenta-se uma visão geral do modelo, para em seguida descrever as fases que integram o modelo e os resultados esperados em cada fase. O modelo conceitual

compreende três fases: (i) definição do problema de decisão e estrutura analítica para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa; (ii) validação dos indicadores de desempenho propostos para os portões de decisão, por tipo de projeto de PD&I: uso dos métodos AHP e TOPSIS; e (iii) avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa ao longo de seu desenvolvimento.

No capítulo 4, apresentam-se e discutem-se os resultados de um estudo empírico conduzido no contexto do Centro Tecnológico do Exército (CTEx), subordinado ao Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) do Exército. Seu objetivo foi aplicar o modelo conceitual proposto no processo de avaliação de um projeto de PD&I de CoPS de defesa em curso no CTEx, em três níveis: (i) avaliação do projeto de PD&I de um subsistema que integrará o projeto de PD&I de uma tecnologia crítica do novo CoPS; (ii) avaliação do projeto de PD&I da tecnologia crítica que integrará o projeto de PD&I do novo CoPS; e (iii) avaliação do projeto de PD&I do novo CoPS.

Finalmente, no capítulo 5, formulam-se as conclusões da pesquisa e endereçam-se recomendações para estudos futuros, como desdobramentos naturais e aprofundamento de aspectos relevantes que emergiram desta dissertação.

2

Monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de novos produtos e sistemas complexos (CoPS)

Inicialmente, conceituam-se produtos e sistemas complexos (CoPS), destacando-se as características consideradas relevantes na gestão de PD&I desses produtos e sistemas. A partir desse entendimento, comparam-se doze modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) ou de novos produtos (DP), como ponto de partida para se analisar a aplicabilidade desses modelos no contexto de projetos de PD&I de CoPS. Além desta análise, apresenta-se uma síntese de 26 estudos empíricos nesse tema, com ênfase nos aspectos metodológicos, buscando-se evidenciar as lacunas na literatura que serão abordadas na fase de modelagem da presente pesquisa.

2.1.

Conceituação de produtos e sistemas complexos (CoPS)

O conceito de produtos e sistemas complexos (CoPS) foi proposto pela primeira vez por Miller *et al.* (1995), embora os autores tenham se referido apenas a sistemas complexos (Ranjbar *et al.*, 2018).

Miller *et al.* (1995), ao explorarem o desenvolvimento da indústria de simuladores de voo, abriram caminho para o surgimento do que seria essa nova categoria de produtos e serviços. Esses autores definiram certos sistemas de grande escala, que possuem alta customização e muitas vezes apresentam comportamento emergente, como um grupo específico de sistemas que não seguem o modelo convencional de inovação de bens produzidos em massa (*commodities*).

Dando continuidade a essa abordagem conceitual para o desenvolvimento dos estudos de CoPS, Hobday (1998) estabeleceu uma linha de pesquisa específica, definindo características e fornecendo exemplos de produtos e sistemas classificados como CoPS.

Ao longo dos anos, muitos trabalhos têm sido publicados sobre o tema e, consequentemente, várias definições foram apresentadas. No entanto, segundo Odacioglu *et al.* (2021), a maioria dos pesquisadores ainda adota em seus trabalhos a definição inicial de Hobday (1998), que se refere a CoPS como produtos (ou seja, foguetes e satélites, trens de alta velocidade), sistemas (ou seja, redes e sistemas de telecomunicações), serviços (ou seja, grandes ERP, projetos de software complexos) e construções complexas (ou seja, aeroportos) de alta tecnologia, alto custo e engenharia intensiva.

Como a presente pesquisa tem como foco a gestão de PD&I de novos CoPS, considera-se fundamental analisar o conceito de CoPS pelo ponto de vista da dinâmica de inovação desses produtos e sistemas, que é diferente do desenvolvimento de novos produtos baseados em componentes padronizados. Hobday (1998) relaciona pelo menos cinco características que diferenciam produtos e sistemas complexos (CoPS) dos bens de produção em massa, conforme o quadro 2.1 abaixo.

Quadro 2.1 – Características de produtos e sistemas complexos *versus* bens de produção em massa

Item	Produtos e sistemas complexos (CoPS)	Bens de produção em massa
Produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaces complexas • Multifunções • Alto custo por unidade • Longo ciclo de vida de produto (décadas) • Muitos componentes customizados 	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaces simples • Poucas funções • Baixo custo por unidade • Ciclo de vida de produto curto • Componentes padronizados
Produção	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto único / pequenos lotes • Integração de sistemas 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes lotes em produção contínua • Design para a produção
Processo de inovação	<ul style="list-style-type: none"> • Orientado pela interação usuário-produtor • Trajetória de inovação acordada <i>ex-ante</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientado pelo fornecedor • Trajetória de inovação mediada pelo mercado
Coordenação industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Alianças multifirmas • Estabilidade de longo prazo no nível de integração 	<ul style="list-style-type: none"> • Firma única • Design dominante (Utterback, 1996)
Estratégias competitivas	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de alianças multifirmas com base em projetos • Capacitação em integração de sistemas 	<ul style="list-style-type: none"> • Foco em uma empresa • Capacitação em produção de alto volume

Fonte: Adaptação de Hobday (1998).

A primeira característica refere-se ao produto. CoPS são formados por muitas unidades de controle, subsistemas e componentes customizados, às vezes únicos e inter-relacionados (Hobday, 1998), tornando difícil ter comunalidade e economia de escala em produtos que atendem a necessidades muito específicas do

cliente e que, geralmente, diferem muito de um contrato para outro (Farrell e Simpson, 2003). Esses fatores levam a um alto custo de projeto, desenvolvimento e produção, além de um longo e incerto *time to market* (Farrell e Simpson, 2003). Na produção em massa, os produtos têm principalmente peças e subsistemas padronizados e são praticamente os mesmos de contrato a contrato, facilitando o projeto e a fabricação e reduzindo custos e tempo de produção.

A segunda característica refere-se à produção. Como bens de capital altamente customizados e de alta tecnologia, os CoPS são fabricados em projetos pontuais ou em pequenos lotes (Hobday, 1998; Hobday, Rush e Tidd, 2000). Consequentemente, os CoPS, normalmente, são desenvolvidos por firmas reunidas temporariamente em torno do projeto e não por firmas isoladas. O projeto é a unidade que possibilita a troca de conhecimento, habilidades e recursos entre os diversos atores dessa rede de clientes, usuários, produtores, fornecedores, entre outros interessados no desenvolvimento do CoPS.

Outra característica diz respeito ao processo de inovação, o qual é definido *ex-ante* pela rede de atores participantes do projeto, por meio de esforços cooperativos, e com a presença do usuário relatando suas necessidades. O envolvimento do usuário no desenvolvimento de um CoPS ocorre em todas as etapas do ciclo de vida do produto, distinguindo-o dos bens de produção em massa, onde o envolvimento direto do usuário ocorre (se ocorrer) nos estágios iniciais (Hobday, 1998). A estreita colaboração entre clientes e produtores permite que os usuários alimentem suas necessidades diretamente nas etapas de desenvolvimento de produtos de CoPS (especificação, projeto, desenvolvimento e fabricação) (Hobday, 1998). Na realidade, devido ao conhecimento do cliente sobre o produto e as demandas específicas, é comum que novas ideias se originem no cliente (Davies e Hobday, 2005). Há ainda a coordenação industrial, que se dá por meio de alianças temporárias multifirmas, com base em projetos.

Finalmente, as estratégias competitivas estão relacionadas com a gestão de relacionamentos entre diversas organizações. Com base em projetos, estas organizações têm como compromisso principal o desempenho competitivo de seus produtos, conseguido por meio das capacitações em integração de sistemas.

2.2.

Modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I com potencial de aplicação em projetos de CoPS

Nesta seção, classificam-se doze modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) ou de novos produtos (DP), segundo a abordagem metodológica proposta por Fettke e Loos (2003), como ponto de partida para se analisar a aplicabilidade desses modelos ao longo da execução de projetos de PD&I de CoPS.

Como mencionado, adotou-se para a classificação dos modelos a metodologia de Fettke e Loos (2003), cujo propósito final é selecionar modelos de referência para serem aplicados em uma determinada área. Esses autores propuseram um sistema de classificação no contexto de uma aplicação específica, compreendendo cinco etapas: (i) início; (ii) mapeamento das características para classificar os modelos; (iii) especificação do esquema de classificação; (iv) testes do esquema de classificação; e (v) uso e manutenção.

Na primeira etapa, buscou-se coletar um conjunto abrangente de características associadas ao monitoramento e avaliação de projetos de PD&I para classificar os doze modelos. O principal resultado desta etapa refere-se a uma listagem inicial de características de interesse.

A segunda etapa consistiu no mapeamento dessas características por relevância quanto ao potencial de aplicação dos modelos no monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS, na perspectiva de se especificar o esquema de classificação, i.e., as categorias de análise.

Na terceira etapa, definiu-se objetivamente o princípio de classificação e selecionaram-se aquelas características dos modelos consideradas as mais relevantes para fins da análise em foco, por categoria (escopo, área e avaliação).

As duas últimas etapas, que se referem a testes do esquema de classificação e à sua manutenção (ou não) após o uso, não foram seguidas nesta pesquisa. Considerou-se que as três primeiras etapas da abordagem proposta por Fettke e Loos (2003) já seriam suficientes para a análise em questão.

Antes de se iniciar a descrição propriamente dita dos modelos analisados, considera-se importante distinguir os conceitos de desenvolvimento de tecnologia (DT) de desenvolvimento de um novo produto (DP), para fins da modelagem objeto desta pesquisa.

Em linhas gerais, pode-se afirmar que o desenvolvimento de novas tecnologias é diferente do desenvolvimento de novos produtos, pois, enquanto no primeiro caso a tecnologia é a saída, no último é a entrada. Destacam-se no quadro 2.2 as diferenças em relação ao tempo de ciclo, riscos de interrupção, o processo em si, a repetibilidade do processo, equipe executora, horizonte temporal, avaliação de prontidão tecnológica, ponto de conclusão e os resultados do desenvolvimento. (Nobelius, 2002; Klar e Roman, 2015; Aristodemou *et al.*, 2019).

Quadro 2.2 – Diferenças entre desenvolvimento de tecnologias (DT) e de produto (DP)

Dimensão	Desenvolvimento de tecnologia (DT)	Desenvolvimento de produto (DP)
Tempo de ciclo	Difícil de estimar	Pode ser estimado
Riscos de interrupção	Pequeno	Enorme
Processo	Muita estrutura pode prejudicar	Pode aproveitar a experiência anterior com estrutura
Repetibilidade do processo	Baixa	Maior
Equipe executora	Principalmente P&D	Multifuncional (P&D, Marketing, Jurídico, Produção)
Horizonte temporal	Mais longo	Mais curto
Avaliação de prontidão tecnológica	Crítérios alteráveis dependendo do resultado	Objetivo
Ponto de conclusão	Incerto; pode ser para construir conhecimento, ou para demonstrar um certo nível de viabilidade tecnológica	Preciso, terminando com a comercialização e lançamento de novos produtos no mercado
Resultados do desenvolvimento	Conhecimento, capacidade técnica	Produto comercializável

Fonte: Adaptação de Nobelius (2002); Klar e Roman (2015); e Aristodemou *et al.* (2019).

Nesse sentido, a primeira categoria selecionada para análise dos modelos é escopo dos projetos de PD&I a serem monitorados e avaliados. Assim, é possível identificar os modelos que consideram o desenvolvimento de tecnologias de forma integrada ao desenvolvimento de produtos, que é uma das condições básicas do desenvolvimento de projetos de PD&I de CoPS. Já a segunda categoria é área da organização abrangidas pelo modelo de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I. Finalmente, a terceira categoria refere-se ao nível de detalhamento da avaliação e aborda o quão completo é o modelo de referência, em função do nível de desagregação em seus diversos componentes.

O quadro 2.3 sintetiza os resultados da classificação de doze modelos para monitorar e avaliar projetos de PD&I de tecnologias (DT) e produtos (DP), como base para a análise do potencial de aplicação de cada modelo no contexto de projetos de PD&I de CoPS.

Quadro 2.3 – Análise comparativa de modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) e de produtos (DP)

Categoria	Característica	Principais modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) e de produtos (DP)											
		Cooper (1990)	Wheelwright e Clark (1992)	Clausing (1994)	Cohen et al. (1998)	Ajamian e Koen (2002)	Cooper (2006)	Johnsson et al. (2008)	Cedergren (2011)	Zhang et al. (2013)	Rich et al. (2013)	Brilhuis-Meijer et al. (2016)	Cooper (2022)
		Stage-Gate	Cross Functional Integration	TQD	ERE Stage-Gate	TechSG	Stage-Gate TD	PMEX	Complex Product Development	MTC	Engineering Practices Approach	Dual Innovation	Stage-Gate 5th Generation
Escopo	DT	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	DP	●	●	●	○	○	●	●	●	●	○	●	●
	DP e DT	○	○	●	○	○	●	●	●	●	○	●	●
Área	Projeto de engenharia de produto	●	○	●	○	○	○	●	●	●	○	●	●
	Projeto de engenharia de processo	○	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●
	Gestão de tecnologia	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Gestão da qualidade	●	○	●	○	○	○	●	○	●	○	○	●
	Projetos de CoPS	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○
Avaliação	Estágios	●	●	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●
	Portões de decisão	●	○	○	●	●	●	○	●	○	●	●	●
	Atividades	●	●	○	○	○	●	●	●	●	●	○	●
	Métodos e ferramentas	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Métricas	●	○	○	○	●	●	●	●	○	○	●	●
Potencial de aplicação em projetos de PD&I de CoPS				✕			✕	✕	✕	✕		✕	✕

Legenda: ● - O modelo apresenta a característica; ○ - O modelo não apresenta a característica; ✕ - O modelo apresenta um potencial de aplicação em projetos de PD&I de CoPS.

O primeiro modelo do quadro 2.3, conhecido como *Stage-Gate*, foi proposto por Robert Cooper no final dos anos 80 e vem sendo adotado amplamente pelas organizações desde então. Trata-se de um processo estruturado de desenvolvimento de novos produtos, sendo composto por uma série de estágios (*stages*) intercalados por portões de decisão (*gates*), nos quais os resultados do estágio em que se encontra o projetos de PD&I de um novo produto são avaliados para se decidir se o projeto deve avançar para o próximo estágio, ser cancelado ou modificado (Cooper, 1990). O processo compreende cinco estágios principais:

- Estágio 1 - Descoberta: identificação de oportunidades de mercado e definição de ideias para novos produtos;
- Estágio 2 - Análise: avaliação preliminar da ideia, do mercado e do potencial de lucro do projeto;
- Estágio 3 - Desenvolvimento: criação do protótipo e realização de testes para garantir a viabilidade técnica e a aceitação do produto pelo mercado;
- Estágio 4 - Teste: testes de mercado para avaliar a aceitação e o potencial de vendas do produto;
- Estágio 5 - Lançamento: lançamento comercial do produto no mercado.

Segundo Cooper (1990), devem ser realizadas análises críticas em cada portão de decisão para determinar se o projeto deve continuar ou ser cancelado.

Precedendo cada estágio existe um controle ou portão de decisão para prosseguir ou descontinuar o projeto de PD&I de um novo produto que está sendo avaliado. Esses portões são os pontos nos quais os gestores e a equipe executora discutem e convergem sobre a decisão a ser tomada, ou seja, se prosseguir com o projeto ou descartá-lo. Definem-se também em cada portão o caminho a seguir e os próximos passos.

Os portões de decisão (PD) consistem em:

- PD1 – Análise de idéias: primeira decisão de comprometer recursos com o projeto. No PD1, faz-se uma análise moderada, que significa submeter o projeto a um conjunto de critérios sobre requisitos ‘necessários’ e ‘desejáveis’ alinhados à estratégia da organização;
- PD2 – Segunda análise: avaliação um pouco mais rigorosa. Podem ser inseridos critérios adicionais de requisitos indispensáveis, como lidar com a reação do cliente, com a força de venda, com variáveis regulatórias, técnicas ou legais;

- PD3 – Encaminhamento para desenvolvimento: último PD antes da etapa de desenvolvimento, ou seja, último ponto em que pode ser descartado antes da decisão de investimentos mais vultuosos. A avaliação no PD3 envolve um exame de cada uma das atividades do estágio 2, verificando se elas foram realizadas e se a qualidade da execução foi boa;
- PD4 – Encaminhamento para teste: verificação do progresso e da atratividade contínua do produto e do projeto. O trabalho de desenvolvimento é examinado e verificado para garantir que seu término seja com qualidade e que o produto desenvolvido seja de fato consistente com a definição original especificada no PD3. Neste quarto portão também se revisitam as questões econômicas, por meio de uma análise financeira baseada em dados novos e mais precisos;
- PD5 – Encaminhamento para lançamento: este portão final abre as portas para a plena comercialização compreendendo o lançamento no mercado e início das operações ou da produção plena. Este é o ponto final no qual o projeto ainda pode ser descartado. Focaliza a qualidade das atividades no estágio de teste e validação e também dos resultados alcançados naquele estágio;
- Revisão pós-lançamento: em algum momento após o lançamento (em geral de 06 a 18 meses depois), o projeto do novo produto é concluído. A equipe é desfeita e o produto se torna um ‘produto regular’ ofertado pela organização. Também se realiza uma pós-auditoria, que inclui a avaliação crítica do projeto e aprendizagem organizacional (lições aprendidas e pontos para melhoria a serem observados em próximos projetos).

Aos portões de decisão, devem ser associados indicadores de desempenho, que são usados nessas ocasiões para avaliar e aprovar o progresso do projeto, com base em critérios pré-definidos, como a viabilidade técnica, o potencial de mercado, o potencial de lucro e o alinhamento à estratégia de negócios.

Esse modelo foi proposto por Robert Cooper para garantir que os recursos fossem alocados de forma eficiente para os projetos de PD&I de novos produtos considerados mais promissores e que os projetos menos promissores fossem cancelados cedo, antes que recursos adicionais fossem gastos. Além disso, o modelo enfatiza a importância da colaboração entre as áreas funcionais da

organização e instituições parceiras para garantir o sucesso do projeto de PD&I de um novo produto.

O segundo modelo, proposto por Wheelwright e Clark (1992), é um modelo de desenvolvimento de novos produtos, cuja ênfase é maximizar a eficiência e a eficácia deste processo. O modelo começa com uma fase de definição, na qual a equipe de desenvolvimento define claramente o problema que o produto deve resolver, bem como os mercados-alvos para o produto e os objetivos específicos do projeto. A segunda fase é a fase de desenvolvimento conceitual, na qual a equipe de desenvolvimento gera ideias para possíveis soluções para o problema. Durante esta fase, a equipe pode criar modelos, protótipos e realizar testes para avaliar as ideias e escolher as melhores soluções.

A terceira fase é a fase de desenvolvimento detalhado, na qual a equipe desenvolve as especificações detalhadas do produto, determina a viabilidade técnica e cria um plano detalhado para a produção do produto. Nesta fase, a equipe também trabalha na construção de protótipos e na realização de testes para garantir que o produto seja produzido com qualidade.

A quarta fase é a fase de teste e validação, na qual o produto é testado e validado para garantir que atenda aos requisitos definidos na fase de definição e que funcione de acordo com as expectativas do mercado-alvo. Por fim, a quinta fase é a fase de lançamento, na qual o produto é lançado no mercado e a equipe de desenvolvimento monitora seu desempenho e coleta *feedback* dos usuários para melhorias futuras.

O modelo proposto por Wheelwright e Clark (1992) enfatiza a importância de uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de novos produtos, a utilização de equipes multifuncionais e a comunicação efetiva entre todas as partes interessadas ao longo do processo.

Embora ambos esses dois primeiros modelos (Cooper, 1990; Wheelwright e Clark, 1992) se concentrem na gestão do processo de desenvolvimento de novos produtos, existem diferenças significativas entre eles. O modelo proposto por Wheelwright e Clark ressalta a importância de se ter uma abordagem flexível para o desenvolvimento de novos produtos, que permita a adaptação a mudanças nas necessidades dos clientes e nas condições de mercado. Os autores argumentam que um processo de desenvolvimento de produtos eficaz deve ser capaz de

incorporar *feedback* contínuo do mercado e dos clientes, bem como permitir a experimentação e a iteração.

Por outro lado, o modelo de Cooper (1990) é mais estruturado e sequencial, ao propor um processo dividido em estágios e portões de decisão, em que cada portão representa uma ocasião de revisão crítica do projeto antes de prosseguir para o próximo estágio. O modelo de Cooper enfatiza a importância da gestão de risco e do controle do processo de desenvolvimento de produtos, e propõe um conjunto de critérios rigorosos para a aprovação em cada portão. Em resumo, enquanto o modelo de Wheelwright e Clark (1992) enfatiza a flexibilidade e a adaptabilidade no processo de desenvolvimento de novos produtos, o modelo *Stage-Gate* de Cooper (1990) requer o controle rigoroso e a gestão de risco.

Clausing (1994) é o autor do terceiro modelo do quadro 2.3, que consiste de um processo de desenvolvimento de novas tecnologias em paralelo ao desenvolvimento de novos produtos, nos quais desenvolvimentos individuais de novos produtos ‘pescam’ as novas tecnologias, que para serem integradas ao projeto de PD&I de um novo produto deverão atender aos seguintes critérios: (i) superioridade; (ii) robustez; (iii) flexibilidade; e (v) maturidade.

Cohen *et al.* (1998) propuseram um modelo para monitorar e avaliar o progresso das tecnologias desenvolvidas no âmbito da Exxon Research and Engineering (ERE). Seu modelo é composto por dois estágios de pesquisa básica (A e B) e cinco estágios de pesquisa aplicada (1-5). Nos estágios A e B, iniciam-se as atividades de pesquisa que geram as informações necessárias para avaliações ao longo de nove dimensões-chave, i.e., alinhamento estratégico, mercado, riscos e incentivos de negócios, viabilidade técnica, vantagem competitiva, barreiras técnicas e comerciais, conformidade com leis e regulamentos, fatores críticos para o sucesso e plano para prosseguir. Essas dimensões estabelecem os critérios de decisão em cada portão para avançar o projeto de PD&I para o próximo estágio. As dimensões para decisões estabelecidas nos portões iniciais são detalhadas com crescente profundidade e detalhes ao longo dos portões de desenvolvimento posteriores.

O quinto modelo, intitulado TechSG (*Technology Stage Gate*), foi proposto por Ajamian e Koen (2002), que buscaram conferir rigor científico e também gerencial em decisões sobre projetos de desenvolvimento de tecnologias, que

envolvem alto risco e incerteza. A premissa básica deste modelo é que os recursos críticos e limitados sejam melhor selecionados e alocados e o tempo de desenvolvimento tecnológico seja reduzido.

O modelo TechSG consiste de seis elementos, que incluem: (i) termo de abertura do projeto; (ii) formação de um comitê de monitoramento e avaliação do projeto de PD&I; (iii) processo de monitoramento e avaliação do projeto de PD&I da nova tecnologia; (iv) planejamento estruturado; (v) equipe executora do desenvolvimento da tecnologia; e (vi) governança do processo.

O termo de abertura do projeto é um documento que formaliza o início do TechSG e deve incluir o escopo e o objetivo geral do projeto de PD&I, tecnologias específicas a serem investigadas e desenvolvidas, principais riscos e aspectos técnicos, comerciais e regulatórios do projeto, recursos humanos necessários e um cronograma para a realização da primeira revisão (TR_0).

O segundo elemento refere-se à existência de um comitê de monitoramento e avaliação do projeto de PD&I que deve ser composto por pesquisadores de dentro ou fora da organização, representantes comerciais e das áreas funcionais de marketing e P&D e presidido pelo líder em tecnologia, responsável pela tomada de decisão exigida em cada um dos portões.

O terceiro elemento é o processo de avaliação dos resultados do projeto nos portões de revisão TR_0 a TR_N , que ocorre em reuniões em que se avaliam os resultados gerados e se planejam as atividades da próxima etapa. Após a conclusão do estágio T_0 é feita a primeira avaliação (TR_0), na qual são definidas as estratégias de desenvolvimento, a estrutura da equipe executora, a demanda por recursos, análise de risco geral e um plano detalhado para avançar para a avaliação do projeto no portão TR_1 . O estágio T_{N-1} se concentra no planejamento do desenvolvimento da nova tecnologia para que os critérios de viabilidade previamente definidos possam ser alcançados. É neste estágio que se inicia a transição da tecnologia para o projeto de desenvolvimento de produto (DP), sendo aconselhável que o líder da equipe do referido projeto se junte à equipe do projeto de desenvolvimento da tecnologia. No último estágio (T_N) é conduzido o processo de transferência da tecnologia para a equipe executora do projeto de desenvolvimento de produto (DP).

Já o planejamento estruturado – quarto elemento do modelo - envolve a criação de um plano para desenvolver a nova tecnologia, que, por sua vez, precisa

estar em conformidade com os sistemas de planejamento e a cultura da organização. Para cada etapa do processo, é necessário elaborar um plano detalhado e específico, sendo importante estabelecer os meios de execução e comunicação do referido plano.

A equipe executora é quinto elemento. Responsável pelo desenvolvimento da tecnologia, ela deve ser composta por membros internos e externos, que devem ter funções e responsabilidades claramente definidas. A equipe é liderada por um pesquisador sênior, responsável por projetar, planejar e orientar a condução dos experimentos. Por fim, o último elemento refere-se à governança para garantir o cumprimento do TechSG, com designação das atribuições, responsabilidades, procedimentos e regras a serem seguidas durante o processo de avaliação nos portões TR₀ a TR_N.

O sexto modelo do quadro 2.3 refere-se à adaptação feita por Robert Cooper em 2006 de seu modelo original *Stage-Gate* para desenvolvimento de novos produtos (Cooper, 1990), considerando a natureza distinta do desenvolvimento de tecnologias, como discutido por Nobelius (2002) e outros autores.

Segundo Cooper (2006), na aplicação do modelo original *Stage-Gate*, concebido em 1990 para o desenvolvimento de produtos (DP), o pressuposto básico foi que haveria um mercado-alvo, clientes definidos e uma visão clara das possíveis características futuras do produto, o que implicaria, por sua vez, no emprego de análises quantitativas associadas aos resultados parciais em cada estágio de desenvolvimento do projeto. Por outro lado, para projetos de desenvolvimento de uma nova tecnologia (DT), o autor recomenda que sejam conduzidas avaliações qualitativas sobre o potencial valor dos conceitos para apoiar decisões sobre se vale a pena realizar mais experimentos e testes. Para tal, ele sugere o emprego de uma abordagem qualitativa de pontuação (*scoring*), empregando-se uma escala de 0 a 10 pontos para cada indicador de desempenho (Cooper, 2006, p. 28).

Esta adaptação foi denominada *Technology Stage-Gate* e também é conhecida como *Stage-Gate* TD. Consiste em três estágios e quatro portões de decisão, como descrito a seguir.

No modelo *Stage-Gate* TD, cada estágio consiste em um conjunto de práticas recomendadas por Cooper a serem seguidas pela equipe executora ao longo do desenvolvimento do projeto. Segundo ele, a adoção dessas práticas ajuda

a reduzir incertezas e riscos, à medida que o projeto avança de um estágio para o seguinte, fornecendo resultados específicos ao final de cada estágio, que, por sua vez, serão avaliados por critérios em cada portão de decisão e um sistema de pontuação associado aos indicadores de desempenho do respectivo portão. Esses portões são os pontos de decisão, nos quais os gestores do projeto, juntamente com a equipe executora, decidem se o projeto deve continuar recebendo recursos adicionais para seguir em frente. Se a decisão for de não seguir em frente, o projeto pode continuar no mesmo estágio, porém com recomendações de medidas corretivas, ou ser cancelado.

O primeiro portão de decisão refere-se à tela inicial das ideias geradas, que serão avaliadas se são relevantes para alcance dos objetivos do projeto de desenvolvimento da tecnologia e, portanto, merecem ser desenvolvidas. O estágio 1 consiste na definição do escopo do projeto. Realizam-se neste estágio atividades de revisão sistemática da literatura, pesquisa de patentes e de propriedade intelectual em geral, avaliação de soluções tecnológicas alternativas, identificação de lacunas de recursos e uma avaliação técnica preliminar. Tais atividades visam à construção das bases conceituais para o projeto, definição de seu escopo, bem como o esboço de um plano de trabalho futuro (Cooper, 2006).

No segundo portão, decide-se se o projeto deve receber recursos, sendo o estágio 2 dedicado à avaliação técnica da ideia. O terceiro portão é mais criterioso e decide se o projeto deve avançar para a investigação técnica detalhada.

O estágio 3 refere-se à implementação do plano experimental, com o objetivo de comprovar a viabilidade da tecnologia e definir o escopo do projeto. Se o projeto encontrar sérias barreiras ou desviar significativamente do curso, ele pode ser cancelado ou permanecer no mesmo estágio até que alcance os resultados esperados para passar para o estágio seguinte.

O final do processo de desenvolvimento de tecnologia é marcado pelo portão de decisão 4. É neste ponto que a equipe executora apresenta as suas conclusões sobre as perspectivas comerciais da tecnologia, com base nos trabalhos técnicos realizados até então. A partir desses resultados e perspectivas futuras, são tomadas decisões sobre qual direção seguir para a comercialização da tecnologia. Dentre as opções, incluem-se a integração com projetos de PD&I de novos produtos ou processos, além de possíveis oportunidades de licenciamento ou até mesmo uma parceria com outra empresa (Cooper, 2006).

Johnsson, Norström e Wall (2008) propuseram um modelo de avaliação denominado “*Performance measurement evaluation matrix for the development of complex products and systems*” (PMEX). O modelo consiste em uma matriz de avaliação de medição de desempenho, que visa apoiar a gestão de projetos de PD&I de CoPS. Nesta matriz, as colunas representam os diferentes aspectos de medição de desempenho, como qualidade, custo, tempo e risco, enquanto as linhas representam as diferentes fases do processo de desenvolvimento, como planejamento, projeto, implementação e testes. O modelo também inclui um conjunto de indicadores de desempenho para cada aspecto.

O objetivo do modelo PMEX é ajudar os gerentes de projetos de PD&I de CoPS a avaliar o desempenho do projeto em cada fase e identificar áreas que precisam de melhoria. Além disso, o modelo pode ser usado para comparar o desempenho de projetos diferentes e identificar as melhores práticas. A matriz PMEX é uma ferramenta útil para gerentes de projeto envolvidos no desenvolvimento de produtos e sistemas complexos, por fornecer uma estrutura clara para avaliar o desempenho do projeto e identificar áreas para melhorias contínuas.

Cedergren (2011), em sua tese de doutorado, desenvolveu um modelo para avaliar e analisar o desempenho de projetos de desenvolvimento de produtos e sistemas complexos no contexto de grandes empresas globais, categorizando as atividades de PD&I em planejamento, implementação e atividades de vendas e entregas. Este é o oitavo modelo do quadro 2.3 e seu objetivo principal foi contribuir para a melhoria do desempenho de projetos de desenvolvimento de produtos e sistemas complexos em grandes empresas. Para isso, o autor pautou o desenvolvimento de seu modelo em três pilares: (i) a estruturação do processo de desenvolvimento de produtos; (ii) a gestão da colaboração entre os membros da equipe executora; e (iii) o uso de ferramentas de gestão de projetos. Para o desenvolvimento do modelo, Cedergren (2011) realizou as seguintes etapas:

- Aplicação da *Performance Measurement Evaluation Matrix* (PMEX) proposta por Johnsson, Norström e Wall (2008) para CoPS;
- Desenvolvimento do método *Performance Criteria Reference Model* (PCRM), baseado no modelo IDEF0 (O'Donnell and Duffy, 2002);
- Desenvolvimento do método *Designing Performance Indicators* (DPI) para propor indicadores de desempenho de projetos de desenvolvimento de

produtos complexos, considerando critérios de desempenho relevantes e fatores de sucesso nos diversos estágios de desenvolvimento;

- Desenvolvimento do método *Products in Development* (PiD), que considera a integração do valor percebido pelo cliente como uma medida de desempenho durante o desenvolvimento do projeto de PD&I.

O nono modelo, intitulado *Make-to-Concept* (MTC) é de autoria de Zhang, Bryde e Meehan (2013) e tem como objetivo abordar os desafios enfrentados pelas empresas na criação de produtos e sistemas complexos. O modelo MTC se concentra em encontrar soluções para as necessidades dos clientes, em vez de enfatizar apenas a criação de um produto que atenda às especificações técnicas. Isso envolve uma abordagem mais holística do desenvolvimento de produtos, que leva em consideração as necessidades do cliente, o mercado, a tecnologia e as capacidades da organização. O modelo MTC compreende cinco etapas: (i) compreensão do problema e do mercado; (ii) desenvolvimento de soluções conceituais; (iii) análise de viabilidade técnica e econômica; (iv) desenvolvimento de um protótipo funcional; e (v) teste e validação do protótipo.

Seus autores ressaltam a importância de uma abordagem colaborativa e interdisciplinar para o desenvolvimento de novos CoPS, com equipes de diversas áreas trabalhando juntas para encontrar soluções criativas e viáveis. O modelo também destaca a importância de envolver os clientes em todas as etapas do processo de desenvolvimento de CoPS, garantindo que suas necessidades sejam atendidas de forma eficaz.

Em síntese, o modelo MTC proposto por Zhang, Bryde e Meehan (2013) oferece uma abordagem sistemática e estruturada para o desenvolvimento de produtos complexos, enfatizando a importância da inovação e da colaboração para encontrar soluções eficazes que atendam às necessidades dos clientes e do mercado.

O modelo desenvolvido por Rich *et al.* (2013) focaliza a gestão de projetos de novos produtos baseando-se em boas práticas de engenharia. Este modelo consiste em sete fases:

- Definição do escopo do projeto: Nesta fase, o objetivo do projeto e seus requisitos são definidos claramente;

- Seleção da equipe do projeto: Os membros da equipe do projeto são selecionados com base em suas habilidades e experiência relevantes para o projeto;
- Planejamento do projeto: O cronograma do projeto é definido, incluindo marcos importantes e entregáveis;
- Desenvolvimento do conceito: Nesta fase, os conceitos do produto são gerados e avaliados com base em critérios técnicos e comerciais;
- Projeto detalhado: A equipe do projeto desenvolve especificações detalhadas para o produto, incluindo desenhos e documentação técnica;
- Validação do produto: O produto é validado por meio de testes e simulações para garantir que atenda aos requisitos do projeto;
- Transferência do produto: O produto é transferido para a produção em larga escala, e a equipe do projeto fornece suporte contínuo para garantir que o produto seja fabricado de acordo com as especificações e padrões de qualidade.

O modelo enfatiza a importância de uma abordagem sistemática e baseada em boas práticas de engenharia para o desenvolvimento de novos produtos. Além disso, o modelo destaca a importância da colaboração entre as equipes de desenvolvimento de produtos e as equipes de fabricação para garantir uma transição suave do desenvolvimento para a produção em larga escala.

O penúltimo modelo do quadro 2.3 foi proposto por Brilhuis-Meijer *et al.* (2016), focalizando projetos de P&D de inovações duais, que integram durante seu desenvolvimento projetos de tecnologias (DTs) e de novos produtos (DPs), que são executados em paralelo.

Segundo seus autores, o desenvolvimento de um novo produto compreende quatro estágios e cinco portões de decisão, enquanto o desenvolvimento de uma nova tecnologia passa por três estágios e quatro portões. Para que os estágios do DT e do DP se inter-relacionem em sincronicidade, Brilhuis-Meijer *et al.* (2016) associaram os níveis da escala de prontidão tecnológica (TRL) aos respectivos portões de DT e de DP. Assim como no modelo proposto para desenvolvimento de novos produtos por Cooper (1990), que foi posteriormente adaptado por ele para desenvolvimento de novas tecnologias, os autores recomendam que, em cada portão de decisão, os gestores e as equipes executoras levem em consideração os resultados obtidos no estágio anterior. Nessas ocasiões, os decisores poderão optar

por interromper o desenvolvimento ou prosseguir para um desenvolvimento detalhado, tanto do produto quanto da tecnologia.

O modelo de inovação dual, como descrito por Brilhuis-Meijer *et al.* (2016), começa com o desenvolvimento do produto (DP), a partir da concepção de uma ideia ou mais ideias do produto. Para que o desenvolvimento tecnológico (DT) progrida simultaneamente com o DP, a ideia precisa ser aprovada no portão 2 do DP e alcançar um nível de maturidade TRL 1 (tecnologia inicial determinada). No portão 2 do DT, é necessário ter uma compreensão aprofundada da aplicabilidade da tecnologia ao produto (TRL 2) para realizar uma investigação mais detalhada da tecnologia. No portão 3 do DT e do DP, é essencial entender a funcionalidade da tecnologia e comprovar a viabilidade por meio de uma prova de conceito (TRL 3). No portão 3 do DP, decide-se se o desenvolvimento completo deve ser iniciado.

Para que a tecnologia possa ser aplicada ao projeto de PD&I do produto, ela deve ser validada no portão 4 do DT e do DP (TRL 5). O DT deve ser concluído para que o DP seja realimentado no portão 4, no qual protótipos devem ser fabricados para testar o resultado final (TRL 7). No portão 5 do DP, os tomadores de decisão decidem se o produto será lançado no mercado, sendo a linha de produção real validada (conforme TRL 8) e a produção em larga escala realizada (TRL 9).

O último modelo do quadro 2.3 refere-se ao que Cooper (2022) chama de quinta geração do modelo *Stage-Gate*, que consiste em uma atualização do modelo por ele criado no final dos anos 80 para a gestão de projetos de PD&I de novos produtos e que desde então vem sendo amplamente adotado. Em síntese, a quinta geração é baseada em três princípios fundamentais: (i) agilidade; (ii) colaboração; e (iii) aceleração. O objetivo é tornar o processo de desenvolvimento de produtos mais rápido, mais flexível e mais colaborativo, com um foco maior no cliente e em seus requisitos. Algumas das principais mudanças da quinta geração do modelo *Stage-Gate* incluem:

- Foco no cliente: a primeira fase do processo é dedicada a entender melhor as necessidades e expectativas do cliente, para que o produto possa ser desenvolvido com base nessas informações;
- Ciclos de *feedback* mais curtos: em vez de esperar até o final do processo para obter *feedback* do cliente, a quinta geração usa ciclos de *feedback*

mais curtos para permitir ajustes rápidos ao produto à medida que ele é desenvolvido;

- Maior colaboração: o modelo de quinta geração incentiva a colaboração entre as equipes de desenvolvimento de produtos, permitindo que elas trabalhem juntas de forma mais integrada e eficiente;
- Processo mais ágil: enfatiza a flexibilidade e a adaptabilidade, permitindo que o processo de desenvolvimento de produtos seja ajustado conforme necessário para atender às necessidades do mercado.
- Maior foco em riscos e incertezas: reconhece que o processo de desenvolvimento de produtos é inerentemente incerto e, portanto, incentiva a identificação e mitigação de riscos desde o início do processo.

2.3.

Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS

Em complementação à revisão dos modelos abordados na seção anterior, apresentam-se nesta seção 26 estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS. Os estudos foram classificados por subtemas, conforme disposto no quadro 2.4, a fim de facilitar a identificação das lacunas na literatura a serem investigadas nesta pesquisa.

Cabe destacar que nem todos os estudos desta revisão abordaram diretamente esse tema específico. Por não ter sido identificada a existência de trabalhos prévios sobre gestão de PD&I de CoPS que empregaram a ferramenta *Stage-Gate* em conjunto com a escala *Technology Readiness Level* (TRL), buscou-se identificar estudos empíricos prévios na área de desenvolvimento de novos produtos (DNP), visando explorar o potencial de aplicação conjunta da ferramenta *Stage-Gate* e da escala TRL na gestão de PD&I de novos CoPS.

Como pode ser observado no quadro 2.4, alguns dos estudos propuseram o uso da escala *Technology Readiness Level* (TRL) em conjunto com a ferramenta *Stage-Gate* (Perry e Howard, 2007; Brilhuis-Miejer *et al.*, 2016; e van Luyken, 2019). Desses três estudos, somente um deles (van Luyken, 2019) investigou a integração de métricas de maturidade no processo de desenvolvimento de um CoPS (carro movido à energia solar), o que reforça a oportunidade de se integrar a referida escala à ferramenta *Stage-Gate*, associando-se níveis de prontidão tecnológica e outras métricas de desempenho aos portões de decisão na avaliação de projetos de PD&I de CoPS.

Quadro 2.4 – Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS

Ref.	Autor(es)	Ano	Subtema	Objetivos do estudo	Aspectos metodológicos
R01	Davies	1997	CoPS	Examinar a evolução histórica do Sistema de Comunicações Móvel Celular, que é tratado como um exemplo de CoPS.	O autor sugere haver duas fases distintas, quando se analisa o processo de PD&I de CoPS. A primeira prioriza o desenvolvimento de novos modelos de arquitetura. Nesta fase, a arquitetura de design é fortemente influenciada por uma rede formada por órgãos reguladores, fornecedores e grandes usuários. A segunda fase está relacionada à geração de novos produtos. Esta fase introduz no mercado novas gerações de produtos sem fundamentalmente alterar a arquitetura de design já estabelecida.
R02	Hansen e Rush	1998	CoPS	Identificar tópicos comuns em empresas que experimentaram dificuldades na produção de CoPS através de seis estudos de caso.	A investigação aborda duas vertentes relacionadas: (i) gestão de tecnologia em uma rede de inovação de CoPS; e (ii) gestão de capacidade de software embarcado para desenvolvimento de produtos complexos. O artigo está dividido em quatro seções: um resumo dos achados em cada caso; uma análise de casos cruzados; lições aprendidas; e direções futuras da pesquisa.
R03	Hobday e Brady	1998	CoPS	Identificar as causas e consequências das divergências entre os processos do tipo A e do tipo B em um produto complexo e extrair implicações para a teoria e a prática	Comparam-se os processos de software reais (tipo A) em funcionamento em simulação de voo com uso intensivo de software, com processos ideais e racionais (tipo B) contidos em manuais, procedimentos consagrados na empresa. A evidência indica que, em resposta à incerteza, complexidade técnica e dificuldades em capturar os requisitos do usuário, engenheiros de software e gerentes de projeto recorrem fortemente a sistemas informais tipo A e o gerenciamento "soft" torna-se essencial para o sucesso do projeto. Essas descobertas contrastam com a maioria das abordagens de engenharia de software que tentam impor processos altamente racionais e tendem a ignorar questões leves, como comunicações informais e habilidades de negociação que podem ser essenciais para o futuro do projeto.

Continua...

Quadro 2.4 – Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS (cont.)

Ref.	Autor(es)	Ano	Subtema	Objetivos do estudo	Aspectos metodológicos
R04	Hobday e Brady	2000	CoPS	Apresentar um método simples e rápido (ou ferramenta de gerenciamento) para CoPS com uso intensivo de software chamado de melhoria de software em análise de software (SA-SI).	A característica distintiva do método é que ele se concentra no lado humano "soft" do processo de desenvolvimento de software e examina e compara processos formais (ou racionais) ("o que deveria ser") com práticas reais e reais ("o que é"), a fim de identificar problemas, suas causas e estratégias de melhoria. Um exemplo de caso ilustrativo (Empresa X) é usado para mostrar como a ferramenta é aplicada e como ela atende ao problema de processos reais divergem de processos ideais/formais. Também mostra como o SA-SI é usado para identificar problemas graves, analisar suas causas e identificar soluções.
R05	Acha, Davies, Hobday e Salter	2004	CoPS	Fornecer estimativas preliminares da contribuição de CoPS para a economia do Reino Unido e avaliar algumas das proposições e ideias sobre inovação em CoPS decorrentes de pesquisas qualitativas e teóricas da época.	A abordagem descrita pretende ser replicável em um grande número de diferentes conjuntos de dados sobre atividades econômicas e inovadoras. Ao integrar a classificação com estatísticas de produção, os autores procuram estimar as contribuições das indústrias de CoPS para a economia do Reino Unido. Os autores também buscam explorar as proposições de pesquisas anteriores sobre CoPS por meio da realização de uma regressão logística. Na regressão, a situação de uma indústria é explicada por uma série de variáveis, como gastos com subcontratação e tecnologias de informação e comunicação no nível da indústria.
R06	Sosa, Eppinger e Rowles	2004	CoPS	Examinar como e porque as interfaces entre os componentes do produto mapeiam as interações entre as equipes que os projetam.	Os autores integram dois fluxos separados de pesquisa para investigar porque ocorre o desalinhamento do produto e das estruturas organizacionais e criam hipóteses sobre os fatores que impactam esse desalinhamento. Utilizam uma técnica de análise estatística de rede baseada em modelos p^* (Wasserman e Pattison, 1996) para testar efeitos hipotéticos. A pesquisa utiliza dados coletados de um processo de desenvolvimento de motores de aeronaves comerciais de grande porte.
R07	Perry e Howard	2007	<i>Stage-Gate</i> Escala TRL	Implementar um <i>framework</i> que garanta avaliar a evolução de um projeto de PD&I, empregando uma estrutura progressiva e ferramentas para gerenciar este processo.	Para os autores a ferramenta <i>Stage-Gate</i> fornece a estrutura e rigor metodológico às atividades de maturação da tecnologia. As características da ferramenta <i>Stage-Gate</i> são descritas e a relação com o nível de prontidão tecnológica (TRL) é discutida.

Continua...

Quadro 2.4 – Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS (cont.)

Ref.	Autor(es)	Ano	Subtema	Objetivos do estudo	Aspectos metodológicos
R08	Gil	2007	CoPS	Investigar a lógica subjacente às decisões de salvaguarda por meio de um estudo de caso múltiplo para doze opções em cinco projetos que fazem parte de um programa de expansão de aeroportos.	Analisa doze opções sob três dimensões (opção de faseamento, opção de expansão e opção de troca) incorporadas a cinco projetos parte de um programa de expansão de um aeroporto. Os resultados mostraram que a salvaguarda eleva o valor da opção, apesar de se tornarem menos atrativos em contexto de alta incerteza e baixa modularidade, dois fatores que geralmente elevam o valor da opção.
R09	Ethiraj	2007	CoPS	Examinar a alocação de esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em sistemas de produtos complexos com arquitetura modular.	Para o autor, existem pelo menos três níveis de análise em um CoPS com arquitetura modular: o sistema, os componentes e as empresas que projetam e fabricam os componentes. As interações dentro e entre os três níveis são os principais locais de mudança e inovação.
R10	Johnsson, Norström e Wall	2008	CoPS <i>Stage-Gate</i>	Apresentar a Matriz de Avaliação de Medição de Desempenho (<i>Performance Measurement Evaluation Matrix</i> - PMEX), que é um método para avaliar os sistemas de medição de desempenho de projetos de PD&I de CoPS.	A matriz PMEX tem como uma dimensão as diferentes fases da ferramenta <i>Stage-Gate</i> e como outra dimensão importantes fatores de sucesso no desenvolvimento de CoPS. Foi realizado um estudo de caso múltiplo como primeira verificação da PMEX e os resultados indicaram que a PMEX possibilita aos gestores uma visão geral do que é e do que não é medido. A PMEX pode, portanto, funcionar como uma ferramenta conceitual nas discussões para definição do escopo de um sistema de medição de desempenho de projetos de PD&I de CoPS.
R11	Magnusson e Johansson	2008	CoPS	Ilustrar como as características de CoPS representam desafios específicos para o gerenciamento de novas tecnologias do desenvolvimento de tecnologias para o desenvolvimento de produtos.	A pesquisa se baseia em estudos de caso comparativos envolvendo três casos de processos internos de transferência de tecnologia no desenvolvimento de equipamentos elétricos e sistemas de telecomunicações. Os resultados do estudo indicam que, em casos de desenvolvimento de CoPS, há necessidade de uma visão mais integrada sobre tecnologia e desenvolvimento de produtos, do que é comumente descrito na literatura.
R12	Baraldi	2009	CoPS	Analisar dimensões de complexidade relacionadas ao usuário de CoPS, incluindo a importância do bem de capital para o usuário, a percepção do usuário sobre sua complexidade e a força e complexidade das rotinas a serem alteradas na organização usuária.	A pesquisa se baseia em um extenso estudo de caso do sistema Movex de planejamento de recursos empresariais (Enterprise Resource Planning – ERP) do fabricante de móveis Edsbyn e na literatura sobre inovações relacionadas ao usuário, estudos organizacionais e relacionamentos entre empresas. A unidade de análise deste estudo é o contexto (inter) organizacional em que o Movex foi implementado.

Quadro 2.4 – Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS (cont.)

Ref.	Autor(es)	Ano	Subtema	Objetivos do estudo	Aspectos metodológicos
R13	Cedergren	2011	CoPS <i>Stage-Gate</i>	Propor um modelo para avaliar e analisar o desempenho de projetos de desenvolvimento de produtos e sistemas complexos no contexto de grandes empresas globais, categorizando as atividades de PD&I em planejamento, implementação e atividades de vendas e entregas.	A pesquisa utilizou um estudo de caso múltiplo, com dados coletados por meio de entrevistas, questionários e análise documental em cinco empresas suecas de diferentes setores. Os resultados mostraram que a estruturação do processo de desenvolvimento de produtos é fundamental para garantir um bom desempenho, especialmente quando se trata de produtos complexos. A gestão da colaboração também é crucial, pois a comunicação efetiva e o trabalho em equipe são essenciais para o sucesso do projeto. Além disso, as ferramentas como cronogramas, orçamentos e gestão de riscos são importantes para garantir que o projeto seja entregue no prazo e dentro do orçamento.
R14	Szajnfarber e Weigel (2011)	2011	CoPS <i>Stage-Gate</i>	Abordar como o desenvolvimento de novas tecnologias pode e deve ser incentivado no contexto das agências espaciais governamentais, desenvolvendo uma explicação mais sutil e empiricamente fundamentada.	Com base no histórico de 06 (seis) casos da NASA, o estudo busca demonstrar, na prática, que o desenvolvimento de novas capacidades não respeita os pressupostos normalmente adotados nas práticas de gerenciamento de PD&I, as quais conceituam a inovação de CoPS como um processo <i>Stage-Gate</i> .
R15	Högman e Johannesson	2013	<i>Stage-Gate</i>	Explorar as adaptações realizadas na ferramenta <i>Stage-Gate</i> em seis empresas para facilitar sua aplicação no processo de monitoramento e avaliação do desenvolvimento tecnológico, a partir das experiências das empresas a partir da aplicação prática desta ferramenta.	Os autores constataram que todas as seis empresas estudadas utilizavam a ferramenta <i>Stage-Gate</i> para gerenciar seus processos de desenvolvimento tecnológico. No entanto, cada empresa implementou a ferramenta de uma maneira diferente. A adaptação da ferramenta considerando o alto nível de incerteza que caracteriza o desenvolvimento tecnológico, mostrou ser uma estratégia bem-sucedida. Além disso, foi identificado um uso mais flexível da ferramenta do que o normalmente aceitável no desenvolvimento de novos produtos.
R16	Zhang, Bryce e Meehan	2013	CoPS	Explorar o uso do gerenciamento de especificações, com foco particular nos stakeholders de projetos no desenvolvimento de novos produtos complexos, tanto internos quanto externos às empresas.	O artigo examina projetos de desenvolvimento de novos produtos complexos (<i>Complex New Product Development</i> – CoNPD) em duas empresas internacionais de engenharia com sede no Reino Unido.

Continua...

Quadro 2.4 – Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS (cont.)

Ref.	Autor(es)	Ano	Subtema	Objetivos do estudo	Aspectos metodológicos
R17	Magnaye <i>et al</i>	2014	CoPS Métricas	Desenvolver a abordagem de Gerenciamento de Maturidade Agregada (sigla em inglês, ERM), uma proposta de gerenciamento orientada à maturidade para o planejamento, controle e avaliação de um CoPs em desenvolvimento.	Para aplicar a abordagem de Gerenciamento de Maturidade Agregada (ERM), os autores desenvolveram um caso em torno de um sistema robótico espacial, que foi desenvolvido pela NASA, mas posteriormente foi cancelado em favor da alternativa de uma abordagem tripulada. Os autores assumiram que esse sistema cancelado foi revivido e os cenários de desenvolvimento foram criados usando informações publicamente disponíveis e dados de custo estimados. O caso de teste, baseado em um caso inédito, <i>Robotic Servicing Mission for the Hubble Space Telescope</i> , (publicado pelos mesmos autores), apresentou o desenvolvimento real do sistema robótico de manutenção.
R18	Du <i>et al.</i>	2015	CoPS Métricas	Propor o <i>Life Cycle Supplier Selection</i> of CoPS (LSS&CoPS), um modelo de seleção de fornecedores multiobjetivo para lidar com o custo do ciclo de vida do CoPS em diferentes fases.	Para demonstrar a aplicação do modelo e algoritmo propostos, os autores investigam o processo de fabricação em uma empresa de equipamentos para cimento, localizada em Tianjin na China. O produto no caso da empresa é um equipamento de cimento grande e complexo para a linha de produção de cimento, que é composto por dezenas de componentes-chave com centenas de unidades de fabricação. Como garantia de qualidade do serviço do equipamento para o cliente, é necessário considerar as fases de cobertura do custo total de fabricação e operação do equipamento de cimento. A seleção dos fornecedores de componentes, materiais e processos do sistema complexo de equipamento de cimento da recuperadora lateral com 5 componentes principais é simulada neste artigo.
R19	Brilhuis-Meijer <i>et al.</i>	2016	Stage-Gate Escala TRL	Propor e aplicar um modelo integrado <i>Stage-Gate</i> /TRL para projetos de PD&I de natureza dual (DT e DP), tendo sido a demonstração empírica baseada em um projeto de pesquisa-ação em andamento na época em que o artigo foi publicado.	Com base nas características específicas desejadas para avaliar projetos de PD&I de natureza dual (DT e DP), como o desenvolvimento integrado de produtos e a cobertura de múltiplas etapas de desenvolvimento, foi proposto um modelo que integra a ferramenta <i>Stage-Gate</i> e a escala TRL. Para testar a adequação deste modelo, ele foi aplicado a um projeto de PD&I de natureza dual, empregando-se a abordagem metodológica conhecida como pesquisa-ação. O projeto em questão diz respeito à inovação simultânea de um novo tipo de embalagem para bebidas (produto) e de um novo processo de produção (tecnologia).

Quadro 2.4 – Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS (cont.)

Ref.	Autor(es)	Ano	Subtema	Objetivos do estudo	Aspectos metodológicos
R20	Preis	2017	Stage-Gate Métricas	Investigar detalhadamente o modelo <i>Stage-Gate</i> , analisando criticamente as melhores práticas para cada estágio e portão de decisão e interpretar e aplicar o modelo como um processo de implementação de P&D para o setor de mineração.	O estudo de caso buscou avaliar o modelo proposto (e ilustrar a aplicação do mesmo) no âmbito do projeto 'Sistema de Localização de Pessoas Desaparecidas' (sigla em inglês, MPLS). O projeto na época foi conduzido pelo Departamento de Mineração da Universidade de Pretória. O principal objetivo do projeto foi definir as especificações do usuário para um sistema que pudesse localizar de forma eficaz e eficiente pessoas desaparecidas em ambientes de mineração subterrânea. Um ponto interessante é que a ferramenta <i>Stage-Gate</i> geralmente considera a viabilidade comercial como uma métrica-chave de desempenho, mas este não foi o caso do projeto MPLS. O objetivo do projeto não foi obter valor financeiro e sim criar valor na forma de prevenção de fatalidades em minas subterrâneas na África do Sul. Assim, a principal métrica-chave girou em torno da eficácia com que o MPLS poderia prevenir fatalidades.
R21	van Luyken	2019	CoPS Stage-Gate Métricas	Criar um <i>framework</i> de desenvolvimento, que integre e possibilite o gerenciamento da maturidade ao longo do ciclo de vida de um sistema.	O autor investiga a integração de métricas de maturidade (e não TRL) no processo de desenvolvimento de um carro movido à energia solar. O autor desenvolveu um artefato que integra a ferramenta <i>Stage-Gate</i> a métricas de maturidade associadas a cada estágio para gerenciar o processo de desenvolvimento de novos CoPS, levando em consideração o tempo de colocação no mercado e o gerenciamento dos custos envolvidos.
R22	Jing, Zenghua e Xuejun	2020	CoPS Stage-Gate	Explorar a viabilidade e a necessidade de introduzir o sistema <i>Stage-Gate</i> na gestão de projetos de pesquisa científica de defesa.	O autor realizou uma análise sistemática do projeto FFG (X) da Marinha dos EUA como exemplo. Um ponto que deve ser destacado é que a Marinha adaptou a ferramenta <i>Stage-Gate</i> para o caso do projeto FFG (X). Dessa forma, um processo de gerenciamento de sete portões de decisão foi projetado para todo o processo do projeto.
R23	Xavier Jr. <i>et al.</i>	2020	CoPS Escala TRL	Apresentar a ferramenta IMATEC Lite desenvolvida pela Agência Espacial Brasileira (AEB) com o objetivo de fornecer uma plataforma para avaliar o TRL de produtos ou sistemas associados a componentes espaciais.	O resultado da avaliação da prontidão tecnológica usando o software é detalhado pela Estrutura Analítica do Projeto (EAP) do nanossatélite da missão SERPENS 1. Como os subsistemas SERPENS 1 têm diferentes níveis de prontidão tecnológica, o teste foi uma boa aplicação da ferramenta IMATEC Lite.

Quadro 2.4 – Estudos empíricos sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS (cont.)

Ref.	Autor(es)	Ano	Subtema	Objetivos do estudo	Aspectos metodológicos
R24	Jesus e Chagas Jr.	2020	CoPS Escala TRL	Contribuir para melhorar a precisão da tomada de decisão na integração de sistemas por meio da escala IRL. A contribuição consiste em avançar em estudos anteriores relacionados às evidências necessárias para a escala IRL e propor uma lista de itens de informação seguindo os padrões observados na escala TRL.	Foi realizado um estudo de caso com espaçonaves desenvolvidas no programa binacional <i>China-Brasil Earth Resources Satellite</i> (CBERS). Este artigo contribui para o avanço do conhecimento sobre o emprego da escala IRL ao aprimorar seu processo de avaliação com base nas melhores práticas da escala TRL.
R25	Jesus e Chagas Jr.	2021	CoPS Escala TRL	Identificar os possíveis papéis da Modelagem & Simulação (M&S) na avaliação dos níveis de prontidão de integração para espaçonaves.	Um estudo de caso analisou espaçonaves de sensoriamento remoto do programa <i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i> (CBERS). O estudo de caso demonstra uma relação entre M&S e IRL 6, que é um nível fundamental comumente associado a um marco de revisão crítica do projeto (CDR) para fechar o projeto do sistema.
R26	Girardi <i>et al.</i>	2022	CoPS Escala TRL	Explorar o processo de Avaliação de Prontidão Tecnológica (APT) em organizações focais de uma rede de negócios e pesquisa científica que desenvolvem produtos de alta tecnologia.	Com base num estudo de caso do Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), organização focal que desenvolve produtos e sistemas de alta tecnologia no âmbito do Exército Brasileiro (EB), verificou-se que a APT baseada na escala TRL é um processo que visa minimizar problemas na definição do estágio de maturação tecnológica, bem como proporcionar uma comunicação eficiente entre especialistas, gestores e outras partes interessadas em organizações que adquirem produtos e sistemas de alta tecnologia.

Por outro lado, embora os estudos de Xavier Jr. *et al.* (2020), Jesus e Chagas Jr. (2020; 2021), e Girardi *et al.* (2022) tenham abordado o emprego de TRL em projetos de CoPS de defesa, esses autores não exploraram seu uso em conjunto com a ferramenta *Stage-Gate*, associando-se métricas de desempenho, incluindo TRL, aos portões de decisão.

A escala *Technology Readiness Level* (TRL) foi desenvolvida em meados de 1970 pela NASA, com o objetivo de padronizar a classificação e a avaliação das etapas ao longo do processo de evolução tecnológica ao longo do desenvolvimento de projetos de PD&I do setor aeroespacial. Não obstante o fato de ter sido concebida para avaliação da prontidão tecnológica de projetos de PD&I no setor espacial (U.S. Government Accountability Office, 2005), a escala TRL passou a ser adotada por outros setores industriais que desenvolvem produtos e sistemas complexos. Além disso, organizações dos mais diversos setores e países passaram a customizá-la para atender suas necessidades específicas (Olechowski *et al.*, 2020). A título de ilustração, o Departamento de Defesa (sigla em inglês, DoD) e o Departamento de Energia (sigla em inglês, DoE) dos EUA utilizam uma escala própria de nove níveis para o desenvolvimento de *hardware*, outra para *software* e uma terceira para tecnologias biomédicas.

Finalmente, como já destacado no capítulo introdutório, o documento "*Technology Readiness Assessment Guide*", publicado pelo U.S. Government Accountability Office (GAO) em 2020, apresenta orientações e melhores práticas para apoiar os gestores de programas e projetos de aquisição ou desenvolvimento de novas tecnologias ou produtos a avaliar a prontidão de uma tecnologia ou produto antes de tomar decisões importantes de investimento e implementação (US GAO, 2020).

O quadro 2.5 apresenta a escala TRL desenvolvida pela NASA.

No Brasil, importantes órgãos governamentais adaptaram a escala TRL para atender suas necessidades específicas, como, por exemplo, a Agência Espacial Brasileira (AEB) e o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DTCA) (Xavier Jr. *et al.*, 2020; Jesus e Chagas Jr., 2020; 2021).

Nessa perspectiva, Girardi *et al.* (2022) propuseram uma escala TRL adaptada para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx), como mostra o quadro 2.6.

Quadro 2.5 – Escala TRL desenvolvida pela NASA

Nível TRL	Descrição
1	Princípios básicos observados e reportados: nível mais baixo da prontidão tecnológica, em que a pesquisa científica começa a ser transferida para a investigação aplicada e o desenvolvimento.
2	Conceito e/ou aplicação da tecnologia formulado: início da atividade inventiva. Neste nível a aplicação é ainda especulativa, não existe uma prova ou uma análise detalhadas que suportem a conjectura.
3	Prova de conceito analítica e experimental de características e/ou funções críticas: início da atividade de investigação e desenvolvimento. Estudos analíticos para ajustar a tecnologia a um certo contexto e estudos laboratoriais para validar fisicamente se as previsões.
4	Validação de componente em ambiente de laboratório: devem ser integrados elementos tecnológicos básicos até serem atingidos os níveis de desempenho desejados. Esta validação, ainda considerada de baixa fidelidade, deve suportar o conceito formulado anteriormente e ser consistente com os requisitos das potenciais aplicações do sistema.
5	Validação de componente em ambiente relevante: neste nível, a fidelidade do componente testado tem que aumentar significativamente. As aplicações totais devem ser testadas em um ambiente simulado ou de algum modo realístico.
6	Demonstração de modelo ou protótipo de sistema/subsistema em ambiente relevante – terra ou espaço: nível importante no que se refere à fidelidade da demonstração da tecnologia em que um modelo representativo ou um modelo/protótipo do sistema será testado em ambiente laboratorial de alta fidelidade ou em ambiente operacional simulado ou real.
7	Demonstração de protótipo de sistema/subsistema em ambiente necessário/espacial: nível significativo que requer demonstração do protótipo do sistema no espaço definido para utilização. O protótipo deve estar próximo do caso real ou na escala do sistema operacional planejado e a demonstração tem que ser realizada no ambiente previsto. Pretende-se assegurar a confiança na engenharia e na gestão do sistema. Apenas será realizado para tecnologias ou sistemas que sejam críticos ou de alto risco
8	Sistema real completo e provado em voo através de testes e demonstrações - em terra ou em voo: este nível constitui geralmente o final do desenvolvimento tecnológico do sistema. Prova-se que a tecnologia funciona na sua forma final e nas condições esperadas. Pode incluir a integração de uma nova tecnologia em um sistema existente.
9	Sistema real provado em voo através de operação em missões bem sucedidas: todas as tecnologias a serem aplicadas passam por este nível. Em quase todos os casos é o final dos últimos acertos do verdadeiro desenvolvimento do sistema.

Fonte: Mankins (1995; 2009a; 2009b).

Quadro 2.6 – Escala TRL adaptada para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx)

Nível TRL	Descrição
1	Princípios básicos observados e relatados/ modelagem teórica: Estudos documentados versando sobre princípios científicos básicos, em que potenciais aplicações possam ser identificadas.
2	Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada: Estudos documentados que analisam aplicações específicas do objeto (análise de funcionalidades, desempenho e identificação de experimentos).
3	Função crítica experimentada e analisada em ambiente laboratorial: Estudos documentados de experimentos demonstrando a viabilidade de aplicação do objeto em ambiente simulado de alta fidelidade (especificação de funcionalidades, desempenho e realização de experimentos).
4	Prova de conceito validada em ambiente laboratorial: Funções críticas do objeto, implementadas em uma prova de conceito, são testadas em ambiente laboratorial.
5	Modelo de engenharia validado em ambiente relevante: Funções críticas do objeto, implementadas em um modelo de engenharia, são testadas em ambiente relevante.
6	Demonstrador de tecnologia validado em ambiente relevante: Funções críticas do objeto, incluídos parâmetros de desempenho, dimensões e peso, implementadas em um demonstrador de tecnologia, são testadas em ambiente relevante, estabelecido de acordo com os requisitos operacionais e técnicos.

7	Demonstrador de tecnologia integrado ao produto alvo validado em ambiente operacional: Demonstrador de tecnologia do objeto é integrado ao produto alvo e suas funções críticas são testadas em uma primeira versão do protótipo, em ambiente operacional e de acordo com os requisitos operacionais e técnicos.
8	Protótipo validado em ambiente operacional: O produto alvo é testado considerando quase todos os requisitos operacionais e técnicos. Este nível representa o final do desenvolvimento do produto.
9	Protótipo avaliado por órgão competente (avaliação de protótipo): O produto alvo é avaliado e homologado pelos órgãos competentes do Departamento de Ciência & Tecnologia (DCT) do Exército Brasileiro, de acordo com todos os seus requisitos operacionais e técnicos.
10	Repetibilidade da produção avaliada (avaliação de lote piloto): Lote piloto avaliado e homologado pelos órgãos de C&T e adotado pelo Órgão de Direção Maior (ODG), do Estado-Maior do Exército (EME)
11	Produto em operação/ feedback de usuário processado: Produto melhorado com eventuais falhas corrigidas, com base no <i>feedback</i> do usuário.

Fonte: Girardi *et al.* (2022).

Tendo em vista que esta escala será adotada na fase de modelagem da presente pesquisa (capítulo 3) e, posteriormente, na sua fase aplicada (capítulo 4), apresentam-se no apêndice A1 as questões associadas a cada nível da escala TRL adaptada para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).

2.4.

Considerações finais sobre o capítulo

Neste capítulo, buscou-se caracterizar produtos e sistemas complexos (CoPS) e identificar o que deve ser considerado em processos de monitoramento e avaliação (M&A) de projetos de PD&I de CoPS. Compararam-se doze modelos de gestão de projetos de PD&I de tecnologias (DT) ou novos produtos (DP), como ponto de partida para se analisar a aplicabilidade desses modelos no monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS.

A partir da análise comparativa dos doze modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) e de produtos (DP) (quadro 2.3), identificaram-se sete modelos com potencial de aplicação em projetos de PD&I de CoPS, cujos elementos poderão ser considerados na fase de modelagem desta pesquisa. São eles: Clausing (1994); Cooper (2006); Johnsson *et al.* (2008); Cedergren (2011); Zhang *et al.* (2013); Brilhuis-Meijer *et al.* (2016); e Cooper (2022).

Com relação à revisão dos estudos empíricos apresentados sinteticamente no quadro 2.4, foi possível identificar o que está sendo desenvolvido na prática sobre métodos e ferramentas de M&A aplicadas no contexto de projetos de PD&I de CoPS, com destaque para os trabalhos de Hobday e Brady (2000); Acha *et al.*

(2004); Sosa *et al.* (2004); Gil (2007); Ethiraj (2007); Johnsson *et al.* (2008); Stajnfarter e Weigel (2011); Zhang *et al.* (2013); Baraldi (2009); Cedergren (2011); van Luyken (2019); Jing *et al.* (2020); Xavier Jr. *et al.* (2020); Jesus e Chagas Jr. (2020; 2021); Girardi *et al.* (2022). Identificou-se também que nenhum dos estudos empíricos que integravam a escala TRL à ferramenta *Stage-Gate* empregou uma abordagem multicritério de apoio à decisão.

Não obstante a existência de importantes contribuições para o avanço do conhecimento sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS, identificaram-se objetivamente duas lacunas a serem preenchidas nesta pesquisa: (i) a primeira refere-se ao emprego da ferramenta *Stage-Gate* integrada à escala TRL e a outras métricas de desempenho para monitorar e avaliar projetos de PD&I de CoPS, ao longo de seu desenvolvimento; e (ii) a segunda diz respeito à adoção de uma abordagem multicritério de apoio à decisão, que permita validar os indicadores de desempenho e atribuir pesos aos critérios adotados em cada portão de decisão durante as avaliações propriamente ditas dos projetos de PD&I de CoPS.

Para a escolha dos métodos multicritério de apoio à decisão que deverão integrar a modelagem pretendida nesta pesquisa, analisaram-se comparativamente sete métodos, a saber: (i) *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1990; Saaty e Vargas, 2012); (ii) *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) (Hwang e Yoon, 1981); (iii) *Analytic Network Process* (ANP) (Saaty, 2004); (iv) ELECTRE I e III (Roy, 1991); (v) *Multiple Attribute Utility Theory* (MAUT) (Keeney e Raiffa, 1976; Fishburn, 1982); (vi) *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH) (Bana e Costa *et al.*, 1999); e (vii) *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) (Brans e Vincke, 1985).

Dentre eles, os métodos AHP e TOPSIS, quando aplicados de forma híbrida, mostraram-se os mais apropriados para fins da modelagem pretendida, como será discutido adiante.

O método AHP, descrito no apêndice A2, será empregado em dois momentos, sendo o primeiro para definir os pesos dos critérios de monitoramento e avaliação (M&A) para validar os indicadores associados aos portões de decisão de projetos de PD&I de tecnologias e de produtos, respectivamente. Em um segundo momento, o emprego do método AHP se dará na fase de avaliação propriamente dita dos projetos de PD&I de CoPS de defesa, atribuindo-se pesos

aos critérios de cada portão de decisão. Já a aplicação do método TOPSIS (apêndice A2) será na validação dos indicadores associados aos portões de decisão de projetos de PD&I de tecnologias e de produtos, respectivamente.

Finalmente, considera-se que a integração da escala TRL à ferramenta *Stage-Gate* para monitorar e avaliar projetos de PD&I de CoPS virá, de fato, preencher a primeira lacuna identificada na fase de revisão bibliográfica e análise documental, conforme mostram os quadros 2.3 e 2.4. Além disso, acredita-se que o emprego de uma abordagem multicritério de apoio à decisão, associado à segunda lacuna, conferirá maior robustez metodológica ao modelo, mediante a atribuição de pesos aos critérios de avaliação e validação da qualidade dos indicadores propostos para os portões de decisão (DT e DP), contribuindo para o aperfeiçoamento das práticas atuais do gerenciamento de projetos de PD&I de CoPS em geral e, particularmente, na área de defesa.

3

Modelo conceitual para monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa

Em resposta às questões norteadoras da presente pesquisa, propõe-se neste capítulo um modelo conceitual para monitorar e avaliar o desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa ao longo de seu desenvolvimento. Inicialmente, apresenta-se uma visão geral do modelo, para em seguida descrever suas fases e os resultados esperados em cada fase.

3.1.

Visão geral do modelo conceitual

A partir do referencial teórico apresentado no capítulo 2 e da identificação da oportunidade de se contribuir para o avanço do conhecimento sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS, em geral, e de defesa, em particular, desenvolveu-se o modelo conceitual proposto neste capítulo.

Para seu desenvolvimento, integrou-se a escala *Technology Readiness Level* (TRL), adaptada por Girardi *et al.* (2022) para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx), à ferramenta *Stage-Gate*, que se refere ao monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de novas tecnologias ou produtos, ao longo de seu desenvolvimento (Cooper, 2006). Além dessa integração, métodos multicritério de apoio à decisão foram empregados em duas fases do modelo, conferindo maior robustez metodológica ao modelo, como será apresentado adiante.

Como representado nas figuras 3.1 e 3.2, o modelo conceitual compreende as seguintes fases:

- Fase I – Definição do problema de decisão e estrutura analítica para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa;
- Fase II – Validação dos indicadores de desempenho propostos para os portões de decisão, por tipo de projeto de PD&I: uso dos métodos AHP e TOPSIS;
- Fase III – Avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa durante seu desenvolvimento.

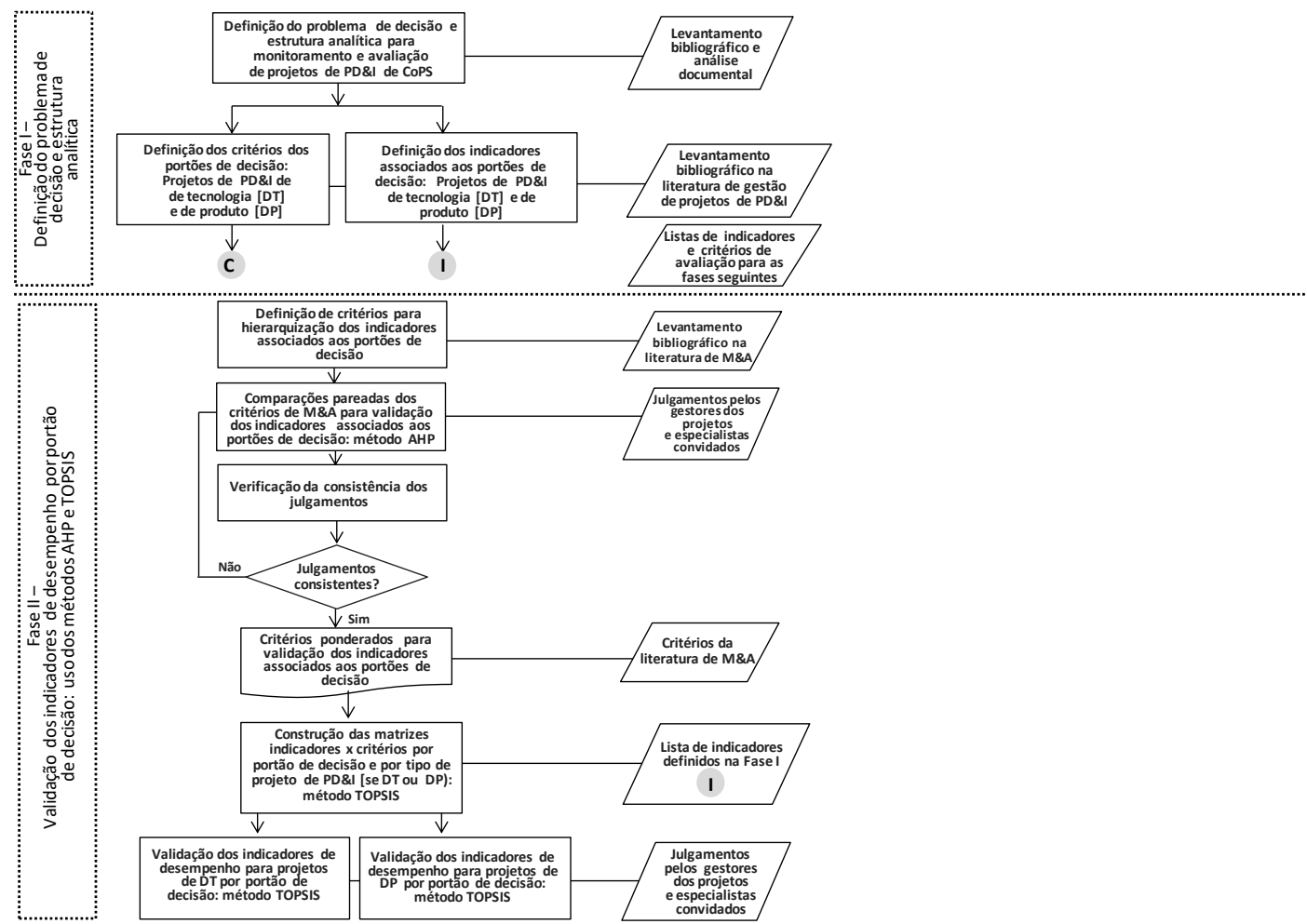


Figura 3.1 – Fluxograma do modelo conceitual para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa – Fases I e II

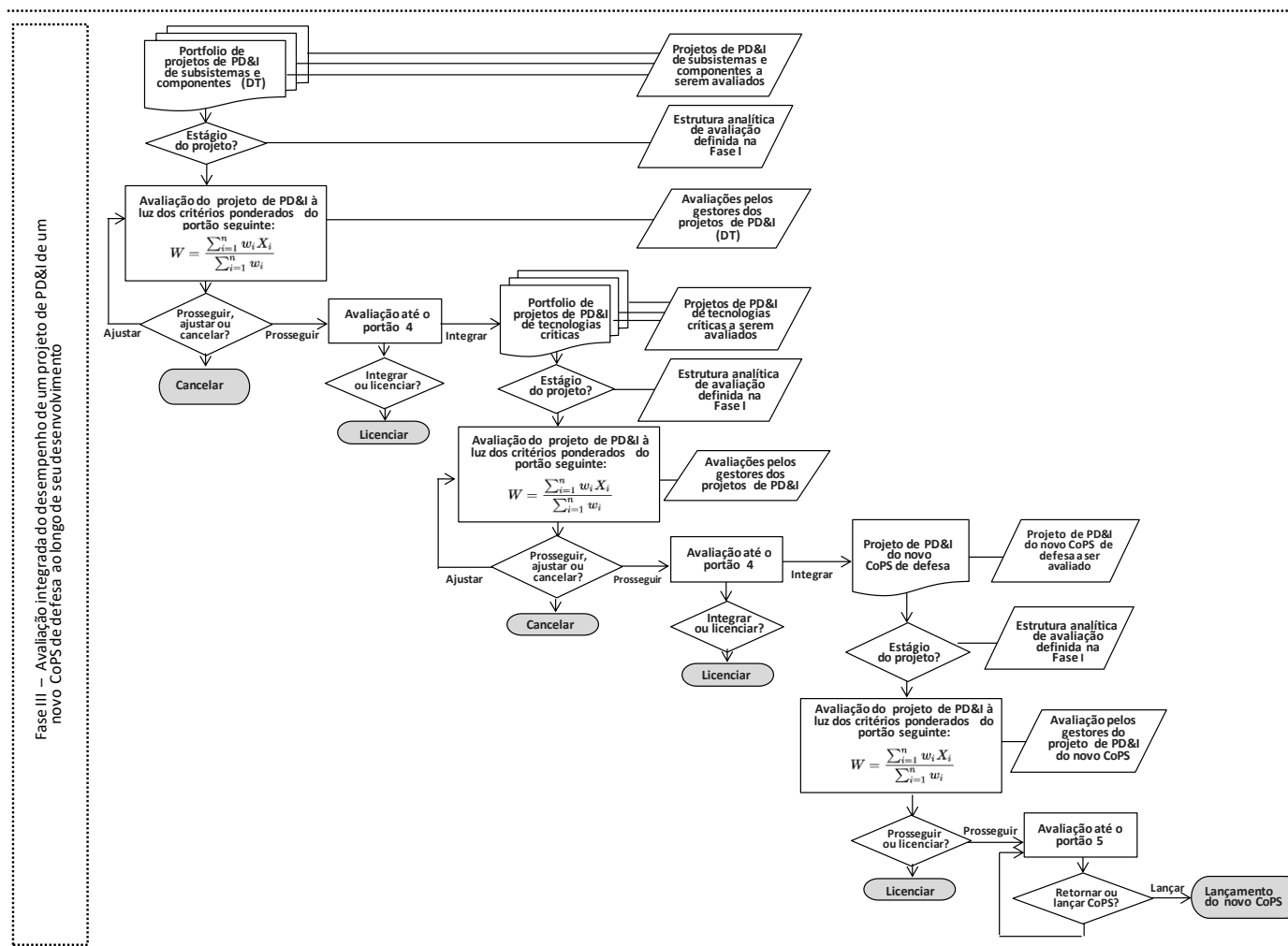


Figura 3.2 – Fluxograma do modelo conceitual para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa – Fase III

3.2.

Visão detalhada do modelo

Nesta seção, descrevem-se as fases que integram o modelo, conforme fluxogramas das figuras 3.1 e 3.2.

3.2.1.

Fase I – Definição do problema de decisão e estrutura analítica para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa

A fase I compreende três etapas: (i) definição do problema de decisão e da estrutura analítica para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS; (ii) definição de critérios objetivos de avaliação associados aos portões de decisão para avaliar a continuidade de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) ou de novos produtos (DPs); e (iii) definição de indicadores de desempenho associados aos portões de decisão para avaliar a continuidade de projetos de PD&I de tecnologias (DTs) ou de projetos de desenvolvimento de novos produtos (DPs).

3.2.1.1.

Definição do problema de decisão e estrutura analítica

A ferramenta *Stage-Gate* é um processo estruturado, que visa avaliar e monitorar o progresso de um determinado projeto de PD&I, bem como decidir se ele deve continuar ou ser encerrado em cada portão de decisão (Cooper, 2006). A formulação do problema de decisão nos portões de decisão é uma parte crucial desse processo, pois permite avaliar o progresso do projeto e determinar se ele está alinhado com os objetivos estratégicos da organização.

Para formular o problema de decisão em cada portão, é necessário considerar os objetivos do projeto e as metas específicas que devem ser alcançadas em cada estágio. Além disso, é importante considerar os riscos e incertezas envolvidos e como eles podem afetar o progresso e o sucesso do projeto. Neste modelo, visando apoiar a tomada de decisão em cada portão, definiram-se critérios objetivos e um conjunto de indicadores e métricas que integram a estrutura analítica, apresentados adiante neste item.

A estrutura analítica para avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa é representada esquematicamente na figura 3.3 e consiste de três níveis: (i) gestão do portfólio de PD&I de subsistemas ou componentes a serem integrados aos projetos de tecnologias críticas (TCs) do novo CoPS de defesa; (ii) gestão de

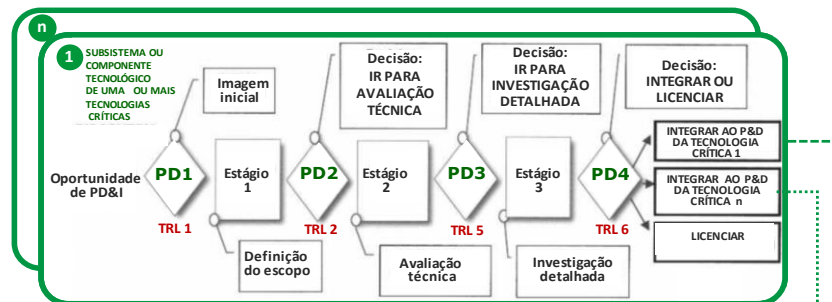
portfólio de PD&I das tecnologias críticas (TCs) que integrarão o projeto de um novo CoPS de defesa; e (iii) gestão do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, desde sua concepção até o lançamento, considerando-se os respectivos pontos de integração das chamadas tecnologias críticas.

O primeiro nível da estrutura analítica compreende três estágios e quatro portões de decisão (PD1 a PD4) para os projetos de PD&I de subsistemas ou componentes a serem integrados a projetos de PD&I de tecnologias críticas (TCs) do novo CoPS de defesa. A descrição a seguir focaliza um projeto de PD&I de um dos subsistemas ou componentes, como mostrado na parte superior da figura 3.3.

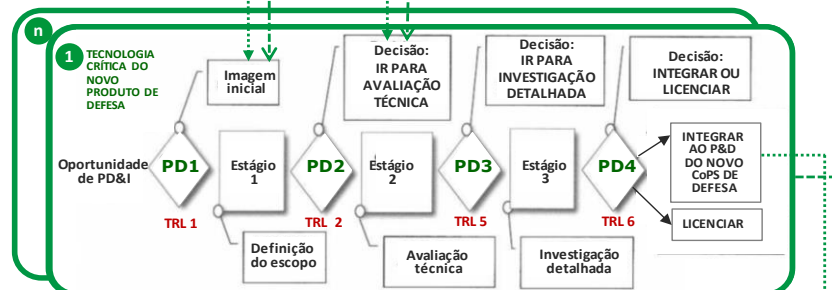
No primeiro nível da estrutura analítica para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa (figura 3.3), o portão de decisão 1 (PD1) refere-se à imagem inicial da ideia do projeto de PD&I de um subsistema ou componente que integrará o desenvolvimento de uma ou mais tecnologias críticas do CoPS de defesa. Nesse portão, serão decididos quais recursos e tempo deverão ser disponibilizados para o projeto em foco. A decisão deve ser conduzida com base em critérios qualitativos como, por exemplo, o alinhamento estratégico do projeto de PD&I ao desenvolvimento de um novo CoPS de defesa e o impacto de inovação quanto ao seu potencial de se integrar a um novo CoPS de defesa e gerar novas capacidades que possam ser úteis nesta área. Além desses critérios, inclui-se ainda o nível TRL 1 da escala apresentada no quadro 2.6.

O estágio 1 trata da definição do escopo e contempla atividades de revisão bibliográfica e análise documental sobre o subsistema ou componente a ser integrado posteriormente a projetos de PD&I de uma ou mais tecnologias críticas (TCs) do novo CoPS de defesa. Para compor uma avaliação técnica preliminar do projeto, inclui-se nesse estágio o levantamento de patentes e documentos de propriedade intelectual, a avaliação de rotas tecnológicas alternativas, bem como a identificação de lacunas de recursos. Tais atividades visam à construção das bases conceituais do projeto, incluindo a definição do escopo e do plano de ação do projeto (Cooper, 2006).

Portfólio de PD&I de subsistemas a serem integrados a projetos de uma ou mais tecnologias críticas (TCs) do novo CoPS de defesa



Portfólio de PD&I das tecnologias críticas (TCs) do novo CoPS de defesa



Projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa

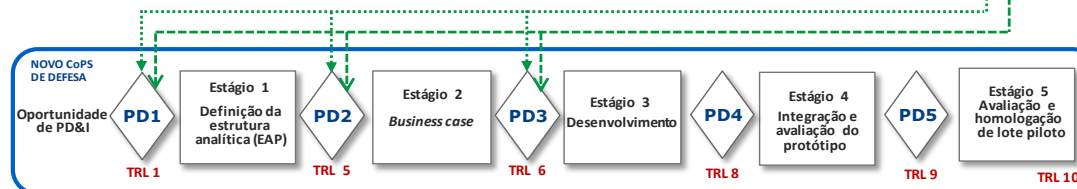


Figura 3.3 – Estrutura analítica para monitoramento e avaliação de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa

No portão 2 (PD2), decide-se se o projeto de PD&I do subsistema ou componente deverá seguir para a avaliação técnica propriamente dita. Esta decisão deve ser tomada *ex-ante*, baseando-se em critérios qualitativos, como, por exemplo, o potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I e o atendimento às necessidades estratégicas e às prioridades de segurança do país, região ou organização. Inclui-se ainda como critério o nível TRL 2 da escala apresentada no quadro 2.6, que propiciará uma melhor compreensão da aplicabilidade do subsistema ou componente, justificando-se assim uma investigação mais aprofundada.

O estágio 2 consiste na demonstração da viabilidade técnica ou laboratorial da ideia do projeto em condições ideais. As atividades deste estágio compreendem a realização de um trabalho experimental inicial com duração prevista para três ou quatro meses, para subsidiar a análise técnica, o mapeamento das necessidades de recursos e proposição de soluções para lacunas de recursos, além da avaliação do impacto potencial do projeto no desenvolvimento posterior de uma ou mais tecnologias críticas do novo CoPS de defesa.

A partir das informações geradas no estágio 2, decide-se no portão 3 (PD3) se o projeto do subsistema ou componente deverá seguir para a investigação técnica detalhada. Atribuiu-se o nível de maturidade TRL 5 para este portão de decisão, pois considera-se necessário nesse ponto a obtenção dos requisitos de usuário para que o projeto do subsistema ou componente possa seguir para a investigação técnica detalhada.

Além disso, por envolver a alocação de mais recursos financeiros e humanos, essa decisão deve ser mais criteriosa do que a do portão 2 (PD2), uma vez que os decisores terão mais informações e dados em comparação ao que dispunham no momento de decisão no portão anterior.

O estágio 3 refere-se à investigação técnica detalhada. Neste estágio, deve ser realizada a implementação do plano experimental completo para comprovação da viabilidade técnica do novo subsistema ou componente. Além disso, devem ser definidas as possibilidades comerciais de produtos ou processos, com base em avaliações de mercado e preparação do plano de negócios. Essas atividades têm o potencial de demandar mais pessoal, anos de trabalho e, conseqüentemente, mais

dinheiro. Deverão ser adotados métodos consolidados de gerenciamento de projetos, com verificações periódicas de marcos e revisões do projeto. Se o projeto desviar significativamente do curso, ou encontrar sérias barreiras para a conclusão durante o estágio 3, ele voltará ao portão 3 de decisão.

O portão de decisão 4 (PD4) é o último do processo de desenvolvimento do subsistema ou componente a ser integrado a uma ou mais tecnologias críticas de um novo CoPS de defesa. Com base em trabalhos técnicos realizados até então e nas perspectivas comerciais do subsistema ou componente, neste portão os gestores deverão decidir sobre qual a direção a ser seguida para a criação de valor dos resultados do projeto. Como indicado na figura 3.3, as alternativas são: (i) integrar ao PD&I de uma ou mais tecnologias críticas do novo CoPS de defesa; ou (ii) licenciar para terceiros. Nesse portão, o nível de prontidão tecnológica é o TRL 6, conforme a escala apresentada no quadro 2..

Na sequência, o segundo nível da estrutura analítica para monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa refere-se à gestão de portfólio de PD&I das tecnologias críticas (TCs) que integrarão o projeto de um novo CoPS propriamente dito. Este nível também compreende três estágios e quatro portões de decisão (PD1 a PD4) para avaliar se os projetos de PD&I das tecnologias críticas deverão continuar para que seus resultados sejam integrados (ou não) ao projeto do novo CoPS de defesa.

Como pode ser observado na parte central da figura 3.3, os portões de decisão (PD1 a PD4) e os estágios 1 a 3 são os mesmos representados no primeiro nível da estrutura, pois referem-se ao desenvolvimento de tecnologias (DTs) e não de novos produtos (DPs). No entanto, ao passar pelo quarto portão de decisão (PD4), a tecnologia gerada poderá ser integrada ao projeto de PD&I do novo CoPS de defesa nos portões de decisão 1, 2 ou 3 como representado na parte inferior da figura 3.3, ou ainda ser licenciada para terceiros.

O último nível da estrutura analítica refere-se à gestão do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, desde sua concepção até a avaliação e homologação do lote piloto, e compreende cinco portões de decisão (PD1 a PD5) e cinco estágios, como descrito em Cooper (2006).

O projeto de PD&I de um produto de defesa (PRODE) se inicia no portão de decisão PD1, quando um princípio científico básico é identificado, atribuindo-

se, assim, a este portão o nível de prontidão TRL 1. No PD2, o nível de prontidão tecnológica é TRL 5, visto que nesse nível já serão necessários os requisitos de usuário para executar a pesquisa técnica e de mercado que levará ao modelo de negócios do estágio seguinte.

O PD3 está associado ao nível de prontidão TRL 6, uma vez que é uma boa prática recomendada pelo GAO (2008) que um projeto de integração de tecnologias críticas seja realizado com todas elas em TRL 6. Esta prática minimiza riscos de PD&I com potenciais chances de retrabalho ao integrar uma tecnologia imatura, que pode representar incertezas em suas funcionalidades. Tais retrabalhos e insucessos de projetos de PD&I são os principais responsáveis por aumento de custo e atraso nos projetos (GAO, 2009). Já no PD4, o nível de prontidão associado é o TRL 8, visto que no próximo estágio ocorrerá a integração final do produto, seguida de testes. Cabe ressaltar que no estágio anterior, i.e., desenvolvimento, também ocorrem integração e testes, mas para a construção de um protótipo como previsto no nível de prontidão TRL 7.

Ao se comparar este terceiro nível da estrutura analítica com os dois primeiros, observa-se que o número de portões e estágios é maior, por incluir aspectos de avaliação referentes ao desenvolvimento de um novo CoPS, distintos da avaliação do desenvolvimento de uma tecnologia (DT), que deverá ser integrada ao projeto de PD&I do referido CoPS.

Em resumo, a ferramenta *Stage-Gate* para monitorar e avaliar projetos de PD&I de tecnologias (DTs), de forma integrada ao desenvolvimento de um novo produto (DP) (Cooper, 2006) irá requerer a definição de critérios de avaliação e indicadores de desempenho para cada portão de decisão a serem usados nas inúmeras tomadas de decisão ao longo do desenvolvimento dos referidos projetos, como será abordado a seguir.

3.2.1.2.

Definição de critérios de avaliação associados aos portões de decisão de projetos de PD&I de tecnologia [DT] ou de produto [DP]

Como comentado anteriormente, para formular o problema de decisão em cada portão, é necessário que sejam estabelecidos critérios objetivos de avaliação de desempenho associados aos portões para que os gestores possam decidir sobre a continuidade (ou não) de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) a serem

integradas a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, bem como do próprio projeto de PD&I do novo CoPS (DP). Esses critérios referem-se a aspectos estratégicos, mercadológicos e técnicos, como apresentado respectivamente nos quadros 3.1 e 3.2.

Quadro 3.1 – Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de subsistemas, componentes ou tecnologias (DTs) de defesa

PD	Dimensão	Critério de avaliação	Fonte
PD1	Estratégica	CT11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema que integrará um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CT12 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
	Mercadológica	CT13 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	Técnica	CT14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico que será integrado a um projeto de um novo CoPS de defesa.	Girardi <i>et al.</i> (2022); Cooper (2006)
		CT15 – TRL 1 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)
PD2	Estratégica	CT21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema que integrará um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CT22 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
		CT23 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	Cooper (2006)
		CT24 – Sinergia do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	Mercadológica	CT25 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	Técnica	CT26 – Definição do escopo e do plano de ação do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a ser integrado a projeto de um novo CoPS de defesa.	Girardi <i>et al.</i> (2022); Cooper (2006)
		CT27 – TRL 2 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)
PD3	Estratégica	CT31 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CT32 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CT33 – Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	Dziallas e Blind (2019); Preis (2016)
		CT34 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	Cooper (2006)
		CT35 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	Mercadológica	CT36 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico.	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	Técnica	CT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar.	Cooper (2006); Preis (2016)
		CT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso.	Cooper (2006)
		CT39 – TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Quadro 3.1 – Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de subsistemas, componentes ou tecnologias (DTs) de defesa (cont.)

PD	Dimensão	Critério de avaliação	Fonte
PD4	Estratégica	CT41 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Preis (2016)
		CT42 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CT43 – Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	Dziallas e Blind (2019); Preis (2016)
		CT44 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	Cooper (2006)
		CT45 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	Dziallas e Blind (2019)
	Mercadológica	CT46 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
		CT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis.	Baseado em Dziallas e Blind (2019)
	Técnica	CT48 – Viabilidade técnica comprovada.	Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CT49 – TRL 6 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Nota: Os critérios para avaliar projetos de PD&I de tecnologias receberam a seguinte notação: CTn1 – significando (C) de critério de avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (T) e referindo-se ao primeiro critério dentre aqueles do portão de decisão n.

Quadro 3.2 – Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

PD	Dimensão	Critério de avaliação	Fonte
PD1	Estratégica	CP11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CP12 – Impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016); Dziallas e Blind (2019)
		CP13 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	Técnica	CP14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa.	Girardi <i>et al.</i> (2022) e Cooper (2006)
		CP15 – TRL 1 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)
PD2	Estratégica	CP21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
		CP22 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
		CP23 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	Técnica	CP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa	Cooper (2006)
		CP25 – TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Quadro 3.2 – Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de novos CoPS de defesa (cont.)

PD	Dimensão	Critério de avaliação	Fonte
PD3	Estratégica	CP31 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa .	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
		CP32 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2020)
		CP33 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
		CP34 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	Cooper (2006)
	Técnica	CP35 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	Baseado em Dzallias e Blind (2019)
PD4	Estratégica	CP36 – TRL6 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)
		CP41 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
		CP42 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
		CP43 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I.	Cooper (2006)
	Mercadológica	CP44 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	Baseado em Dzallias e Blind (2019)
		CP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento às necessidades estratégicas e às prioridades de segurança do país, região ou da organização.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
PD5	Estratégica	CP46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.	Baseado em Dzallias e Blind (2019)
		CP47 – TRL8 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)
	Mercadológica	CP51 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
		CP52 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	Baseado em Dzallias e Blind (2019)
		CP53 – Atendimento às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx.	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	Técnica	CP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.	Baseado em Dzallias e Blind (2019)
		CP55 – TRL 9 (quadro 2.6 e apêndice A1).	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Nota: Os critérios para avaliar projetos de PD&I de novos CoPS receberam a seguinte notação: CPn1 – significando (C) de critério e avaliação de projetos de PD&I de novos CoPS (P) e referindo-se ao primeiro critério dentre aqueles do portão de decisão n.

3.2.1.3

Definição de indicadores de desempenho associados aos portões de decisão

Além dos critérios de avaliação, definem-se ainda primeira nesta fase duas listas iniciais de indicadores de desempenho associados aos portões de decisão de projetos de PD&I de subsistemas, componentes ou tecnologias (DTs) e de produtos (DPs), que serão posteriormente validados na fase II, com emprego dos métodos AHP e TOPSIS, como indicado no fluxograma da figura 3.1.

Nos quadros 3.3 e 3.4, a seguir, apresentam-se os indicadores de desempenho por portão de decisão para avaliar projetos de PD&I de subsistemas, componentes ou tecnologias (DTs) e projetos de PD&I de novos produtos (DPs), respectivamente. Nos apêndices A3 e A4, encontram-se as definições de cada indicador de desempenho para monitorar e avaliar projetos de DTs e DPs, respectivamente.

Importante ressaltar que o desempenho dos projetos de PD&I nos diversos portões de decisão será medido segundo uma abordagem de pontuação (*scoring*), como sugerido no trabalho de referência de Cooper (2006), no qual se baseou a presente modelagem.

De acordo com Cooper (2006), essa abordagem consiste em atribuir pontuações para o projeto em relação a cada um dos indicadores de desempenho associados aos critérios (quadros 3.3 e 3.4). Para cada critério é atribuída uma importância relativa em relação aos outros critérios e, para cada indicador, define-se uma escala de pontuação (0 a 10). Os membros da equipe de projeto e outros *stakeholders* relevantes, como clientes e fornecedores, são convidados a atribuir uma pontuação para cada indicador, com base em sua percepção e conhecimento do projeto. A pontuação final para o projeto é obtida somando as pontuações de cada indicador, ponderadas por sua importância relativa. Esse sistema de *scoring* permite uma avaliação mais objetiva e transparente do projeto, além de fornecer uma base sólida para a tomada de decisões em relação à alocação de recursos e continuidade (ou não) dos projetos.

Além disso, a abordagem de *scoring* pode ser utilizada em diferentes estágios do ciclo de vida do projeto de PD&I, permitindo um monitoramento contínuo de seu progresso e identificação de áreas que precisam de maior atenção e recursos.

Em síntese, o resultado da avaliação é expresso em um *score* geral, que considera os pesos dos critérios e a pontuação do projeto em relação aos indicadores associados ao portão de decisão em questão.

Para que o projeto de PD&I possa passar para o estágio seguinte, definiram-se três condições que deverão ser satisfeitas, a saber: (i) obter um *score* geral superior ou igual a 8; (ii) obter *score* máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’; e (iii) obter um *score* mínimo de 6 em relação a todos os indicadores.

Se o projeto de PD&I for avaliado com um score geral entre 7,9 e 4, mesmo tendo obtido *score* máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’, deverão ser propostas medidas corretivas referentes aos desvios observados, na perspectiva do projeto avançar e passar para o estágio seguinte na próxima reunião de avaliação. Finalmente, nos casos em que os projetos de PD&I sejam avaliados com score inferiores a 4, decide-se pelo seu cancelamento.

3.2.2.

Fase II – Validação dos indicadores de desempenho por portão de decisão: uso dos métodos AHP e TOPSIS

Para conferir um diferencial ao modelo aqui proposto em relação aos trabalhos prévios que empregaram a ferramenta *Stage-Gate* em projetos de desenvolvimento de novas tecnologias (DPs) ou novos produtos (PDs), identificou-se a oportunidade de se empregar uma abordagem multicritério nesta modelagem.

Os métodos de escolha foram: (i) o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para atribuição de pesos aos critérios levantados da literatura de monitoramento e avaliação (M&A); e (ii) o método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) para a validação dos indicadores apresentados nos quadros 3.3 e 3.4, à luz dos critérios de M&A definidos no quadro 3.5.

O objetivo aqui não é selecionar indicadores para orientar os processos de decisão durante as reuniões de avaliação dos projetos de PD&I, mas sim validar as listas iniciais propostas nos quadros 3.1 e 3.2. Para tal, é importante que sejam definidos inicialmente os critérios de monitoramento e avaliação (M&A), tendo como base os trabalhos de referência de Görgens e Kusek (2009); Kusek e Rist (2004); e Brasil (2010).

Uma vez definidos os critérios de M&A, emprega-se o método AHP, descrito no apêndice A2, para atribuir pesos a esses critérios, conforme a situação de avaliação (por portão de decisão e por tipo de projeto de PD&I). Para fins desta modelagem, definiram-se cinco critérios de M&A, a saber: (i) significância; (ii) mensurabilidade; (iii) confiabilidade das fontes; (iv) simplicidade; e (v) temporalidade. No quadro 3.5, conceitua-se cada critério para sua aplicação na prática.

Quadro 3.3 – Indicadores de desempenho associados aos portões de decisão de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa

PD	Critério de avaliação	Indicador de desempenho	Fonte
PD1	CT11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema que integrará um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	IT11 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT12 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	IT12 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT13 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual).	IT13 – Potencial de integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico que será integrado a um projeto de um novo CoPS de defesa.	IT14 – Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico concluída [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)
	CT15 – TRL 1 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IT15 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)
PD2	CT21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema que integrará um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	IT21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT22 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	IT22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT23 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	IT23 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT24 – Sinergia do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	IT24 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT25 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).	IT25 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 1 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT26 – Definição do escopo e do plano de ação do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a ser integrado a projeto de um novo CoPS de defesa.	IT26 – Escopo e plano de ação do projeto de PD&I da nova tecnologia, componente ou subsistema definidos [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022) e Cooper (2006)
	CT27 – TRL 2 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IT27 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 2 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Quadro 3.3 – Indicadores de desempenho associados aos portões de decisão de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa (cont.)

PD	Critério de avaliação	Indicador de desempenho	Fontes (indicadores)
PD3	CT31 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa.	IT31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT32 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	IT32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Cooper (2006) e Preis (2016)
	CT33 – Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	IT33 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	Cooper (2006)
	CT34 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	IT34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]	Cooper (2006); Preis (2016)
	CT35 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	IT35 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CT36 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico.	IT36 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar.	IT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar [Score de 0 a 10]	Preis (2016)
	CT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso.	IT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso [Score de 0 a 10]	Cooper (2006)
	CT39 – TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IT39 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)
PD4	CT41 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa.	IT41 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CT42 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	IT42 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Cooper (2006); Preis (2016)
	CT43 – Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	IT43 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	Cooper (2006)
	CT44 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	IT44 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Cooper (2006)
	CT45 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	IT45 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Dziallas e Blind (2019)
	CT46 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).	IT46 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006) e Preis (2020)
	CT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis.	IT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com leis e regulamentação aplicáveis [Score de 0 a 10]	Dziallas e Blind (2019)
	CT48 – Viabilidade técnica comprovada.	IT48 – Viabilidade técnica comprovada [Score de 0 a 10]	Preis (2020)
	CT49 – TRL 6 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IT49 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Quadro 3.4 – Indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novos CoPS defesa

PD	Critério de avaliação	Indicador de desempenho	Fontes (indicadores)
PD1	CP11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	IP11 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP12 – Impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	IP12 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP13 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	IP13 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa.	IP14 – Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa concluída [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)
	CP15 – TRL 1 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IP15 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)
PD2	CP21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	IP21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP22 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	IP22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP23 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	IP23 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa	IP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Cooper (2006)
	CP25 – TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IP25 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Quadro 3.4 – Indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novos CoPS defesa (cont.)

PD	Critério de avaliação	Indicador de desempenho	Fontes (indicadores)
PD3	CP31 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa .	IP31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP32 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	IP32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP33 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	IP33 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP34 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	IP34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Cooper (2006); Preis (2016)
	CP35 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	IP35 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Dziallas e Blind (2019)
	CP36 – TRL6 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IP36 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)
PD4	CP41 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	IP41 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP42 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	IP42 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP43 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I.	IP43 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Cooper (2006)
	CP44 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	IP44 – Capacidade industrial para conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Dziallas e Blind (2019)
	CP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento às necessidades estratégicas e às prioridades de segurança do país, região ou da organização.	IP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento às necessidades estratégicas e às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.	IP46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Dziallas e Blind (2019)
	CP47 – TRL8 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IP47 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 8 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Continua...

Quadro 3.4 – Indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novos CoPS defesa (cont.)

PD	Critério de avaliação	Indicador de desempenho	Fontes (indicadores)
PD5	CP51 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	IP51 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP52 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.	IP52 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Dziallas e Blind (2019)
	CP53 – Atendimento às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx.	IP53 – Atendimento às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]	Baseado em Cooper (2006); Preis (2016)
	CP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.	IP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Baseado em Dziallas e Blind (2019)
	CP55 – TRL 9 (quadro 2.6 e apêndice A1).	IP55 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 9 [Score de 0 a 10]	Girardi <i>et al.</i> (2022)

Nota: Os indicadores de desempenho receberam a seguinte notação: IPn1 – significando (I) de indicador para avaliar um projeto de PD&I de novo CoPS (P) e referindo-se ao primeiro indicador dentre aqueles do portão de decisão n.

Quadro 3.5 – Critérios de M&A para validação dos indicadores de desempenho propostos para avaliar projetos de PD&I de CoPS de defesa

Ref.	Critério de M&A	Descrição
C1	Significância	Capacidade de representar, com a maior proximidade possível, a realidade que se deseja medir e avaliar. Um indicador deve ser significativo ao que está sendo medido e manter essa significância ao longo do tempo.
C2	Mensurabilidade	Capacidade de alcance e mensuração quando necessário, na sua versão mais atual, com maior precisão possível e sem ambiguidade.
C3	Confiabilidade das fontes	Indicadores devem ter origem em fontes confiáveis, que utilizem metodologias reconhecidas e transparentes de coleta, processamento e divulgação.
C4	Simplicidade	Facilidade de obtenção, construção, manutenção, comunicação e entendimento pelo público em geral, interno ou externo.
C5	Temporalidade	Refere-se a algumas questões temporais, i.e., o momento em que deve começar a medição; a disponibilidade de obtenção, quando os diferentes resultados começarem a acontecer; e a possibilidade de que, por meio dessas medidas, seja possível realizar um acompanhamento periódico do desempenho do projeto social.

Fonte: Baseado em Görgens e Kusek (2009); Kusek e Rist (2004); e Brasil (2010).

O método AHP (Saaty, 1990) foi o escolhido para atribuir pesos aos critérios acima, pois a decomposição e a síntese das relações entre critérios possibilitam chegar a uma priorização daqueles que estarão mais próximos para a convergência à melhor resposta de medição única. Segundo Saaty (1990), a realização das comparações pareadas é a forma mais racional para realizar os julgamentos, porque assim as prioridades podem ser calculadas pelo método, revelando objetivamente a importância de um determinado critério em relação ao outro. Para tal, Saaty definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor, escala essa que capta a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas (quadro 3.6).

Quadro 3.6 – Escala de Saaty para as comparações pareadas

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação ao outro.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um elemento é muito fortemente favorecido em relação ao outro.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um elemento em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre os julgamentos.

Fonte: Saaty, 1990.

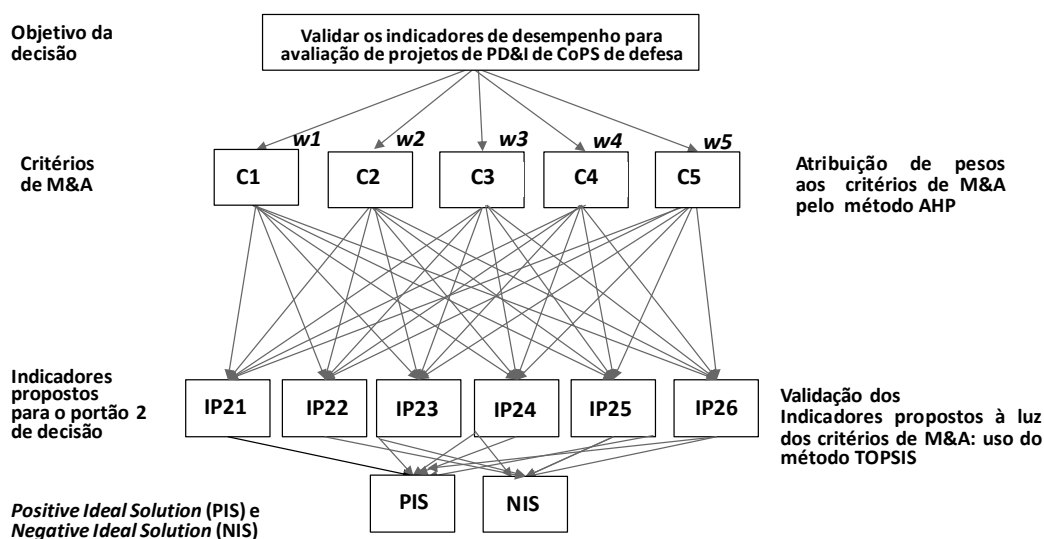
O julgamento consiste em responder duas perguntas: (i) qual dos dois elementos é o mais importante, à luz do objetivo pretendido; e (ii) com qual intensidade ele é mais importante, utilizando-se a escala de 1 a 9 apresentada no quadro 3.6.

No contexto desta pesquisa, a aplicação do método AHP compreende, resumidamente, três etapas, a saber: (i) formulação do problema de decisão e definição da matriz de comparações pareadas dos critérios de M&A; (ii) julgamentos de valor da importância dos critérios, empregando-se a escala de Saaty (quadro 3.6); e (iii) desenvolvimento algébrico para obtenção dos pesos dos critérios de M&A para hierarquizar os indicadores de desempenho associados aos portões de decisão, conforme mencionado anteriormente. A descrição detalhada do método AHP encontra-se no apêndice A2 desta dissertação.

Uma vez atribuídos pesos aos critérios de M&A pelo método AHP, o próximo passo refere-se à validação dos indicadores propostos nos quadros 3.3 e 3.4, por portão de decisão, empregando-se o método TOPSIS (Hwang e Yoon, 1981).

Basicamente, o método TOPSIS compreende as seguintes etapas: (i) construção da matriz de decisão, que traz as alternativas e critérios selecionados juntamente com as notas e avaliações; (ii) cálculo da matriz normalizada, utilizando normalização linear ou por vetor; (iii) cálculo da matriz com os respectivos pesos de cada critério, definidos com suporte do método AHP; (iv) identificação da *Positive Ideal Solution* (PIS) e da *Negative Ideal Solution* (NIS); (v) cálculo das distâncias entre a PIS e cada indicador e entre a NIS e cada indicador; e (vi) cálculo da similaridade para a PIS, que vai validar os indicadores propostos. A descrição detalhada do método TOPSIS encontra-se no apêndice A2 desta dissertação.

A título de ilustração, a figura 3.4 representa a estrutura hierárquica para validação dos indicadores de desempenho propostos para o portão de decisão (PD2) a serem usados na avaliação de um projeto de PD&I de CoPS, que se encontra no estágio 1 e será avaliado para prosseguir (ou não) para o estágio 2.



Legenda: C1 – Significância; C2 – Mensurabilidade; C3 – Confiabilidade; C4 – Simplicidade; C5 – Temporalidade; IP21 a IP26 – Indicadores propostos para o portão 2 de decisão.

Figura 3.4 – Estrutura hierárquica de decisão para validação dos indicadores propostos para avaliação de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

Em complementação à descrição do método multicritério híbrido (AHP/TOPSIS) para validar os indicadores de desempenho definidos nos quadros 3.3 e 3.4, apresenta-se no apêndice A5 um procedimento a ser seguido na prática por gestores e especialistas de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa que irão adotar o modelo aqui proposto.

3.2.3.

Fase III – Avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa durante seu desenvolvimento

Com base na estrutura analítica descrita na fase I e representada na figura 3.3, a terceira fase do modelo compreende a avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa ao longo de seu desenvolvimento. Para tal, deverá ser empregado um conjunto de critérios de avaliação (quadros 3.1 e 3.2) e indicadores de desempenho associados a cada um dos portões de decisão, validados com suporte dos métodos AHP e TOPSIS a partir de duas listas iniciais propostas nos quadros 3.3. e 3.4.

Nesta terceira fase, quatro etapas deverão ser conduzidas de forma sincronizada em três níveis, como descrito a seguir:

- Realização das avaliações dos projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de desenvolvimento de subsistemas e componentes

que integrarão o desenvolvimento de uma ou mais tecnologias críticas. Conforme representado no nível superior da figura 3.3, cada projeto de PD&I que faz parte deste portfólio deverá passar pela avaliação com emprego da ferramenta *Stage-Gate* e da escala TRL adaptada para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx). Para tal, inicialmente, deverão ser atribuídos pesos aos critérios de avaliação do quadro 3.1 para o portão de decisão pelo qual passará o projeto de PD&I que está sendo avaliado, empregando-se para isso o método AHP, como descrito no apêndice A2. Em seguida, procede-se à avaliação propriamente dita do projeto de PD&I de um subsistema ou componente à luz dos critérios já ponderados e dos indicadores de desempenho a eles associados. Os indicadores de desempenho a serem utilizados nesta terceira fase do modelo são aqueles que foram validados na fase II, com suporte dos métodos AHP e TOPSIS, a partir da lista apresentada no quadro 3.3 (fase I). Com base nesta avaliação, os gestores devem tomar a decisão se o projeto de PD&I deverá prosseguir para o próximo estágio; permanecer no mesmo estágio e fazer ajustes no projeto para que possa passar para o estágio seguinte; ou ser cancelado. Conforme representado na figura 3.3, quando o projeto de PD&I atingir o último portão de decisão (PD4), os gestores deverão decidir se seus resultados finais poderão ser integrados a projetos de PD&I de uma ou mais tecnologias críticas do desenvolvimento do novo CoPS e/ou licenciá-los para terceiros;

- Realização das avaliações dos projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de desenvolvimento de tecnologias críticas que deverão ser integradas ao projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, conforme representado na parte central da figura 3.3. Assim como na etapa anterior, deverão ser atribuídos pesos aos critérios de avaliação do quadro 3.1 para o portão de decisão pelo qual passará o projeto de PD&I de uma determinada tecnologia crítica, empregando-se para isso o método AHP, como descrito no apêndice A2. Em seguida, procede-se à avaliação propriamente dita do projeto de PD&I da tecnologia crítica à luz dos critérios já ponderados e dos indicadores de desempenho a eles associados. Os indicadores de desempenho a serem utilizados nesta terceira fase do modelo são aqueles que foram validados na fase II, com apoio dos métodos AHP e TOPSIS. Aqui também, como na etapa anterior, os gestores devem tomar a decisão se o projeto de PD&I deverá

prosseguir para o próximo estágio, permanecer no mesmo estágio e fazer ajustes no projeto para que possa passar para o estágio seguinte ou ser cancelado. De acordo com figura 3.3, quando o projeto de PD&I da tecnologia crítica atingir o último portão de decisão (PD4), os gestores deverão decidir se seus resultados finais poderão ser integrados ao desenvolvimento do novo CoPS (estágios 1, 2 ou 3, dependendo do caso) e/ou licenciá-los para terceiros;

- Realização das avaliações do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, conforme representado na parte inferior da figura 3.3. Inicialmente, deverão ser atribuídos pesos aos critérios de avaliação do quadro 3.2 para o portão de decisão pelo qual passará o referido projeto, empregando-se para isso o método AHP, como descrito no apêndice A2. Na sequência, procede-se à avaliação propriamente dita do projeto em foco à luz dos critérios já ponderados e dos indicadores de desempenho a eles associados. Os indicadores de desempenho a serem utilizados nesta etapa são aqueles que foram validados na fase II, com apoio dos métodos AHP e TOPSIS. Como nas etapas anteriores, os gestores devem tomar a decisão se o projeto de PD&I do novo CoPS deverá prosseguir para o próximo estágio, permanecer no mesmo estágio ou propor ajustes no projeto para que ele possa passar para o estágio seguinte. De acordo com a figura 3.3, quando o projeto de PD&I no novo CoPS atingir o último portão de decisão (PD5), o produto alvo será avaliado e homologado pelos órgãos competentes de defesa, de acordo com todos os seus requisitos operacionais e técnicos previamente definidos;
- Aprendizado com o processo: Ao final de cada avaliação no respectivo portão de decisão, é importante que os gestores façam uma análise crítica sobre o processo de desenvolvimento, identificando pontos fortes e pontos de melhoria. Essa reflexão poderá ajudar a equipe a melhorar o desempenho do projeto e aperfeiçoar o emprego do modelo aqui proposto.

Como comentado ao final da subseção 3.2.1 deste capítulo, a avaliação dos projetos de PD&I nos diversos portões de decisão será conduzida segundo uma abordagem de pontuação (Cooper, 2006, p. 28). Os projetos deverão ser avaliados à luz de critérios ponderados em cada portão de decisão e com apoio de indicadores de desempenho previamente validados e escalas de 0 a 10 pontos associadas a esses indicadores.

O resultado de cada avaliação deverá ser calculado como um *score* geral (0 a 10 pontos), que considera os pesos dos critérios e a medição de desempenho pelos respectivos indicadores, conforme definido nos quadros 3.3 e 3.4.

Como abordado anteriormente, definiram-se três condições a serem satisfeitas para que o projeto de PD&I possa passar para o estágio seguinte, a saber: (i) obter um *score* geral superior ou igual a 8; (ii) obter *score* máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’; e (iii) obter um *score* mínimo de 6 em relação a todos os indicadores.

Se o projeto de PD&I for avaliado com um *score* geral entre 7,9 e 4, mesmo tendo obtido *score* máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’, deverão ser propostas medidas corretivas referentes aos desvios observados, na perspectiva do projeto avançar e passar para o estágio seguinte na próxima reunião de avaliação. Finalmente, nos casos em que os projetos de PD&I sejam avaliados com *score* inferiores a 4, decide-se pelo seu cancelamento.

Buscando-se complementar a descrição da fase III do modelo para sua aplicação na prática, apresenta-se no apêndice A6 um procedimento a ser seguido por gestores e especialistas de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa que irão adotar o modelo aqui proposto.

4

Aplicação do modelo conceitual na avaliação de um projeto de PD&I de CoPS na área de defesa

Neste capítulo, apresentam-se e discutem-se os resultados de um estudo empírico conduzido no contexto do Centro Tecnológico do Exército (CTEx), subordinado ao Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) do Exército. Seu objetivo foi aplicar o modelo conceitual proposto na avaliação de um projeto de PD&I de CoPS de defesa em curso Centro Tecnológico do Exército (CTEx). Chegou-se a um conjunto de critérios de avaliação, indicadores e métricas validados neste contexto organizacional, e que deverão ser integrados a uma sistemática de monitoramento e avaliação dos projetos de PD&I de CoPS em desenvolvimento naquele Centro.

4.1.

Proposição do estudo empírico e definição das questões norteadoras

A proposta deste estudo foi aplicar o modelo conceitual para monitorar e avaliar projetos de PD&I de CoPS de defesa no processo de avaliação de um dos projetos de PD&I de CoPS, que se encontra em desenvolvimento no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), subordinado ao Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) do Exército. O projeto de PD&I que foi objeto desta aplicação foi o Projeto Radar SABER M200 Multimissão.

Para o desenvolvimento do estudo empírico foram definidas as seguintes questões orientadoras:

- É possível aplicar o modelo no processo de monitoramento e avaliação de um projeto de PD&I de um CoPS para a área de defesa, mediante o desenvolvimento de um estudo empírico conduzido junto ao gerente do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão?
- Como atribuir pesos aos critérios dos respectivos portões segundo os quais dois projetos de PD&I de tecnologias que serão integradas ao

projeto Radar SABER M200 Multimissão (e ele inclusive) serão avaliados nos estágios de desenvolvimento em que se encontram?

- Quais os *scores* gerais obtidos pelos referidos projetos de PD&I, após a avaliação nos estágios de desenvolvimento em que tais projetos se encontravam antes da avaliação? Os indicadores e métricas baseadas na abordagem *scoring*, com escalas de 0 a 10, mostraram-se válidos e de fácil compreensão para uso pelos participantes do estudo empírico?

A seguir, caracteriza-se a unidade de análise do estudo empírico e seu contexto organizacional, para, em seguida, apresentar os resultados de cada uma das etapas do estudo empírico, que teve como foco a avaliação do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão em três níveis.

4.2.

Caracterização da unidade de análise e seu contexto organizacional

Nesta seção, caracteriza-se a unidade de análise do estudo empírico e seu contexto organizacional.

4.2.1.

Unidade de análise

Em alinhamento à proposição do estudo empírico e às questões norteadoras definidas na seção anterior, a unidade de análise refere-se ao monitoramento e avaliação de um dos projeto de PD&I de CoPS na área de defesa, que se encontra em desenvolvimento no Centro Tecnológico do Exército (CTEx) – o Projeto Radar SABER M200 Multimissão.

4.2.2.

Contexto organizacional

Desde 2010, o Exército Brasileiro vem passando por um processo de transformação com o objetivo primordial de migrar de uma abordagem vinculada à era industrial para a era do conhecimento (Brasil, 2010). De acordo com Galdino (2019), esse processo vai além de meras adaptações ou modernizações, pois implica na criação de novas missões e capacidades, resultando em mudanças profundas e trilhando um novo caminho. Nesse sentido, o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (SCT&I) desempenha um papel central, uma vez que tem o potencial de direcionar e impulsionar as áreas operacionais, logísticas e

administrativas do Exército Brasileiro (Ferreira, 2017). A capacidade de desenvolvimento de recursos militares terrestres, voltados para o cumprimento de novas missões e o desempenho de funções operacionais inovadoras no futuro, é diretamente influenciada pela efetividade do SCT&I.

Nessa perspectiva, o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército (SCTIEx) desempenha um papel fundamental como impulsionador da transformação do Exército Brasileiro. Por meio da pesquisa e desenvolvimento de produtos de defesa (PRODE) de alta tecnologia, o SCTIEx tem como objetivo atender às necessidades operacionais, influenciando, assim, áreas essenciais como doutrina militar terrestre, pessoal e logística.

Para garantir a efetividade do SCTIEx, o Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) desempenha um papel crucial, sendo responsável pelo planejamento, orientação, controle e coordenação das atividades de ciência e tecnologia, além de estimular a inovação no Exército e fomentar a indústria de defesa nacional. Dentro da estrutura do DCT, estão subordinadas organizações militares como a Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC) e o Centro Tecnológico do Exército (CTEx), com atribuições específicas nesse processo de transformação do referido Sistema.

A Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC) desempenha um papel ativo no fomento da inovação e no desenvolvimento de soluções tecnológicas no contexto do Exército Brasileiro, contribuindo para a modernização e aprimoramento contínuo das capacidades militares. Sua implementação no âmbito do DCT representa uma quebra de paradigma em relação ao modelo atualmente em vigor no SCTIEx, especialmente no que diz respeito às atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), conforme destacado por Galdino (2017).

A missão da AGITEC é apoiar a gestão da inovação no âmbito do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército, por meio da realização de estudos de prospecção tecnológica e da gestão da propriedade intelectual do Exército, além do conhecimento científico-tecnológico. Além disso, a AGITEC tem a responsabilidade de estimular a criação de um ambiente propício à inovação e conduzir pesquisas científicas tanto básicas como aplicadas na área de gestão e inovação tecnológica.

O Centro Tecnológico do Exército (CTEx) está plenamente integrado ao atual contexto de transformação do Exército e alinhado às diretrizes estabelecidas pelo DCT. Dessa forma, o CTEx desempenha um papel ativo nos Programas Estratégicos do Exército, por meio da pesquisa e desenvolvimento de Sistemas e Materiais de Emprego Militar modernos, além de contribuir para projetos que visam à interoperabilidade das Forças Armadas.

Um exemplo de Programa Estratégico no qual o CTEx está envolvido é o Programa de Defesa Antiaérea, destacando-se para fins deste estudo empírico o Projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) do Radar SABER M200 Multimissão.

O primeiro documento que remete à criação de um Programa de Radares de Defesa é a Portaria nº 092-EME, de 20 de julho de 2005, do Estado-Maior do Exército, que aprovou a Diretriz para a Reestruturação da 1ª Brigada de Artilharia Antiaérea e Reorganização das Baterias de Artilharia Antiaérea, determinando “estudos e realização de parceria(s) visando ao desenvolvimento, pela indústria nacional, de sistemas de DAAe de baixa e média altura para substituir ou complementar o Mat da 1ª Bda AAAe”.

Nessa Diretriz, o Estado-Maior do Exército (EME) estabeleceu, para o DCT, as seguintes atribuições:

“- participar dos estudos visando à aquisição e/ou desenvolvimento de meios de Defesa Antiaérea do Exército (DAAe) e de defesa do litoral e das hidrovias interiores;

- estudar e propor, ao EME, ações visando incentivar empresas nacionais a participar no desenvolvimento de meios de DAAe de baixa e de média altura e de defesa do litoral e das hidrovias interiores;

- buscar parcerias com empresas nacionais; e

- quantificar e incluir, no Plano Básico de Ciência e Tecnologia e em suas propostas de orçamento anual e de créditos adicionais, os recursos necessários para a execução das atividades decorrentes desta Diretriz”.

Como consequência da supracitada Diretriz, o DCT, em outubro de 2005, negociou e acordou com o então Ministério da Ciência e Tecnologia, a obtenção de financiamento pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para projetos de PD&I do Programa de Radares de Defesa, a serem conduzidos pelo CTEx. Nesse contexto, celebrou-se contrato em fevereiro de 2006 e agosto de 2007 para

o financiamento do desenvolvimento das duas primeiras etapas do Projeto de PD&I do Radar de Busca de Baixa Altura SABER M60. Para apoiar a execução desse projeto, foi contratada pelo CTEEx a empresa ORBISAT, que detinha conhecimento de desenvolvimento e operação de radares SAR para sensoriamento remoto.

Ainda como resultado do acordo realizado em 2005 com o MCT e a fim de implantar a decisão do EME quanto ao desenvolvimento dos meios do Sistema de Artilharia Antiaérea de Média Altura, foi dado início à primeira etapa do projeto SABER M200 do radar de defesa antiaérea de média altura, a partir da celebração de convênio em dezembro de 2008 com a FINEP. Ainda mais dois contratos foram celebrados em dezembro de 2010 e, posteriormente, em dezembro de 2013, ambos com apoio da FINEP. Também nesse projeto, a fim de otimizar o emprego de todo o conhecimento adquirido no projeto do radar SABER M60, foi contratada a empresa, então denominada ORBISAT, posteriormente transformada em BRADAR, após a aquisição, em 2011, do seu controle acionário pela EMBRAER.

Em junho de 2011, o EME aprovou a Condicionante Doutrinária e Operacional (CONDOP) nº 01/11 - Sistema Operacional Defesa Antiaérea, e, posteriormente, em SET 12, aprovou os Requisitos Operacionais Básicos (ROB) nº 03/12 - Sistema Operacional Defesa Antiaérea, ambos ratificando a direção inicial dada ao projeto do radar SABER M200.

Em 2013, o Ministério da Defesa, por meio da Portaria Normativa nº 1.984/MD, aprovou os Requisitos Operacionais Conjuntos (ROC) nº 40/13 – Sistema de Artilharia Antiaérea de Média Altura, definindo, dentre outros, requisitos gerais para o sensor radar de média altura, compatíveis com a concepção inicial do radar SABER M200 Multimissão. No mesmo ano, por meio da Portaria nº 2.555/MD, autorizou a abertura de processos de negociação com vistas à aquisição de sistema de artilharia antiaérea de média altura, incluindo o subsistema de controle e alerta, “composto de três sensores e três centros de operações de artilharia antiaérea, nacionais, em fase de desenvolvimento, que integrem as referidas baterias ao Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro”. Foram iniciadas, então, gestões, sob a coordenação do EME, no âmbito do Edital INOVA AERODEFESA, para a obtenção de financiamento para a quarta (e última) etapa da P&D do Radar SABER M200 Multimissão, resultando, na

aprovação de financiamento pelo BNDES, para a conclusão da P&D e criação de uma infraestrutura para a realização dos ensaios de certificação do radar.

4.2.3.

O Projeto Radar SABER M200 Multimissão

Conforme mencionado anteriormente, o projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão vem sendo conduzido no contexto de um Programa de Radares de Defesa, para atender à necessidade da Defesa Antiaérea do país. Desde 2006, foram realizados três projetos de defesa antiaérea, são eles: o Radar SABER M60, o Radar SABER M200 Vigilante e o Radar SABER M200 Multimissão. Este estudo empírico refere-se ao último desses três projetos.

O Radar SABER M200 Multimissão é um radar multifuncional de longo alcance definido por software e baseado na tecnologia *phased array*, que reúne, a princípio, soluções para as seguintes atividades: controle de tráfego aéreo, defesa aérea e artilharia antiaérea. Combina funções de um radar primário e um secundário cumprindo as exigências de controle de tráfego aéreo civil e militar, além de ser capaz de executar funções de orientação de míssil e de aproximação de precisão (Embraer, 2023) (<https://defense.embraer.com/br/pt/sistemas>). A figura 4.1 ilustra o Radar SABER M200 MM (PO2).

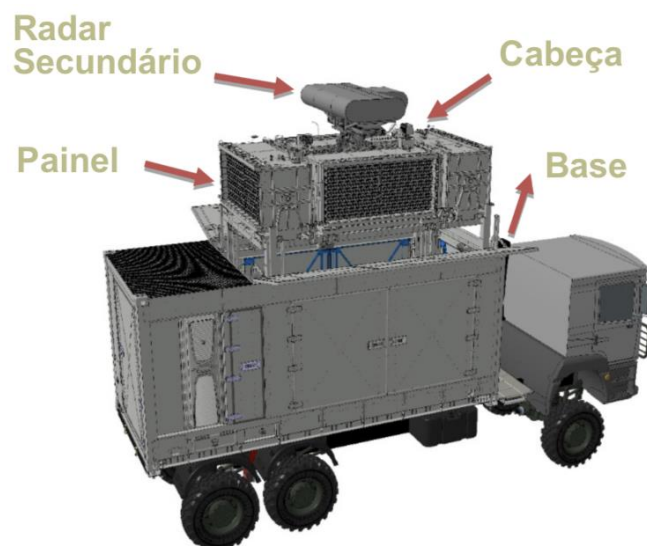


Figura 4.1 – Ilustração do Radar SABER M200 MM (PO2)

Fonte: CTEX (2023).

O projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão começou em 2009, compreendendo quatro etapas, não necessariamente sequenciais, devido ao grande vulto do projeto (Costa e Carvalho, 2020).

As atividades de PD&I da primeira etapa do projeto se concentraram no Radar Secundário, na implantação do simulador sistêmico do Radar Primário e no projeto mecânico do contêiner (primeira versão). Esta etapa encerrou-se em 2011 (Costa e Carvalho, 2020).

Na segunda etapa, foi desenvolvido o primeiro protótipo operacional reduzido do radar. Segundo Costa e Carvalho (2020) este demonstrador de tecnologia foi utilizado para validar a varredura eletrônica e os algoritmos de detecção. Ainda segundo os autores, outras atividades que foram realizadas nesta etapa foram: a elaboração do projeto do painel completo de varredura eletrônica do radar, bem como a aquisição de parte dos insumos para a construção desse painel, e a construção do contêiner do Primeiro Protótipo Operacional do radar (PO1). Essa etapa se encerrou em 2014 (Costa e Carvalho, 2020).

Na terceira etapa, foi desenvolvida a segunda versão do protótipo operacional reduzido do radar a fim de solucionar problemas descobertos na primeira versão. Além disso, foram construídos dois painéis e tentativas de realizar a integração do primeiro protótipo operacional (PO1) sem sucesso. Assim, devido ao elevado grau de ineditismo tecnológico que, conseqüentemente, agrega um alto risco aos projetos em curso, o primeiro protótipo operacional do radar SABER M200 MM (PO1) foi descontinuado. Todavia, as lições aprendidas tanto nesse projeto, quanto no SABER M200 Vigilante levaram a uma nova solução técnica e operacional para um radar *phased array* de longo alcance, já implementada no contexto do Vigilante e considerada como nova rota tecnológica do segundo protótipo do radar SABER M200 Multimissão (PO2).

A quarta etapa, iniciada em 2016 e ainda em andamento, prevê a conclusão da PD&I do Radar SABER M200 Multimissão e contempla duas grandes mudanças: (i) a primeira na arquitetura eletrônica; e (ii) a segunda no conceito mecânico do radar (Costa e Carvalho, 2020).

A estrutura simplificada do segundo protótipo (PO2) do Radar SABER M200 Multimissão divide-se em três tecnologias principais, compostas por subsistemas/componentes, conforme resumido no quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Estrutura simplificada do segundo protótipo do Radar SABER M200 Multimissão (PO2)

Produto	Tecnologias	Subsistemas/Componentes
Radar M200 Multimissão (PO2)	Unidade Radar	Sistema de Elevação
		<i>Frame Shelter</i>
		Cabeça Radar
		Sistema de Distribuição de Energia
		Painel de Controle
	Radar Secundário	-
	Radar Primário (Painel)	Bandeja

A unidade radar do segundo protótipo (PO2) é composta de cinco subsistemas, a saber: (i) Sistema de Elevação; (ii) *Frame Shelter*; (iii) Cabeça Radar; (iv) Sistema de Distribuição de Energia; e (v) Painel de Controle. Atualmente, as atividades de P&D da Unidade Radar estão em andamento, sendo necessárias ainda as atividades de integração, fabricação e testes.

Já o Radar Secundário não possui subsistemas. O desenvolvimento do Radar Secundário já foi finalizado em fase anterior. Seu protótipo está instalado no protótipo do radar SABER M200 Vigilante, sendo testado de forma autônoma e integrada ao radar primário. O desenvolvimento do ‘Radar Primário (Painel)’ conta com o subsistema ‘Bandeja’. Atualmente o P&D dessas duas atividades está em andamento.

Neste ponto, cabe destacar que na nova rota tecnológica (adotada no PO2), muitas das conquistas da PD&I do PO1 foram aproveitadas. No entanto, outros subsistemas precisaram ser reprojatados, principalmente aqueles mais dependentes do *hardware*, o que significa consequentemente que os mesmos ainda devem ser validados tanto em ambiente laboratorial quanto em ambientes relevantes, o que só pode ocorrer após a montagem das estruturas mecânicas elétricas e eletrônicas.

4.3.

Aplicação do modelo conceitual no monitoramento e avaliação do Projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão

A aplicação do modelo conceitual proposto nesta dissertação focalizou o monitoramento e avaliação do Projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão, seguindo-se as etapas descritas na seção 3.2, respectivamente nas subseções 3.2.1 a 3.2.3. Antes de se iniciar a apresentação propriamente dita dos

resultados, é importante descrever como foi realizada a coleta, formatação e análise dos dados levantados durante o desenvolvimento deste estudo empírico.

4.3.1.

Coleta, formatação e análise dos dados

A coleta, formatação e análise dos dados referentes a cada uma das três fases do modelo, visando avaliar o Projeto Radar SABER M200 Multimissão (PO2), foram conduzidas como indicado no quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Quadro-síntese da coleta, formatação e análise dos dados

Fase	Etapas	Métodos e técnicas adotadas	Fonte/Participantes
Fase I	Definição do problema de decisão e estrutura analítica para a avaliação de projetos de PD&I de CoPS	Levantamento bibliográfico e análise documental.	Referências citadas no capítulo 3 – seção 3.2, subseção 3.2.1.
	Definição dos critérios dos portões de decisão: Projetos de PD&I de tecnologia (DT) e de produto (DP)	Levantamento bibliográfico sobre modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I.	Referências citadas no capítulo 3 – seção 3.2, subseção 3.2.1.
	Definição dos indicadores associados aos portões de decisão: Projetos de PD&I de tecnologia (DT) e de produto (DP)	Levantamento bibliográfico sobre modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I.	Referências citadas no capítulo 3 – seção 3.2, subseção 3.2.1.
Fase II	Comparações pareadas dos critérios para seleção dos indicadores de desempenho: uso do método AHP.	Método AHP (Saaty, 1991) descrito no apêndice 2. Software IPÉ 1.0 (Costa, 2004) Procedimento descrito no apêndice A5.	Gerente do Projeto Radar SABER M200 MM (CTEx), com apoio da autora.
	Verificação da consistência dos julgamentos.	Software IPÉ 1.0 (Costa, 2004)	Autora.
	Construção das matrizes Indicadores x critérios por portão e por tipo de projeto de PD&I [se DT ou DP].	Método TOPSIS (Hwang e Yoon (1981) descrito no apêndice 2. Procedimento descrito no apêndice A5.	Autora.
	Validação dos indicadores de desempenho para projetos de DT por portão de decisão.	Método TOPSIS (Hwang e Yoon (1981) descrito no apêndice 2.	Gerente do Projeto Radar SABER M200 MM (CTEx), com apoio da autora.
	Validação dos indicadores de desempenho para projetos de DP por portão de decisão.	Método TOPSIS (Hwang e Yoon (1981) descrito no apêndice 2.	Gerente do Projeto Radar SABER M200 MM (CTEx), com apoio da autora.
Fase III	Avaliação dos projetos de PD&I selecionados à luz dos critérios ponderados do portão seguinte.	Método AHP para atribuir pesos aos critérios dos respectivos portões de decisão e emprego do software IPÉ 1.0 (Costa, 2004). Escala de pontuação correspondentes aos indicadores de desempenho em cada portão de decisão (quadros 3.3 e 3.4). Procedimento descrito no apêndice A6.	Gerente do Projeto Radar SABER M200 MM (CTEx), com apoio da autora

4.3.2

Resultados da Fase I – Definição do problema de decisão e estrutura analítica para monitoramento e avaliação

Seguindo-se a descrição da fase I e a representação gráfica da estrutura analítica definida para projetos de PD&I de CoPS de defesa no capítulo 3, definiu-se no estudo empírico a estrutura analítica para monitoramento e avaliação do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão(PO2), como mostra a figura 4.2, a seguir.

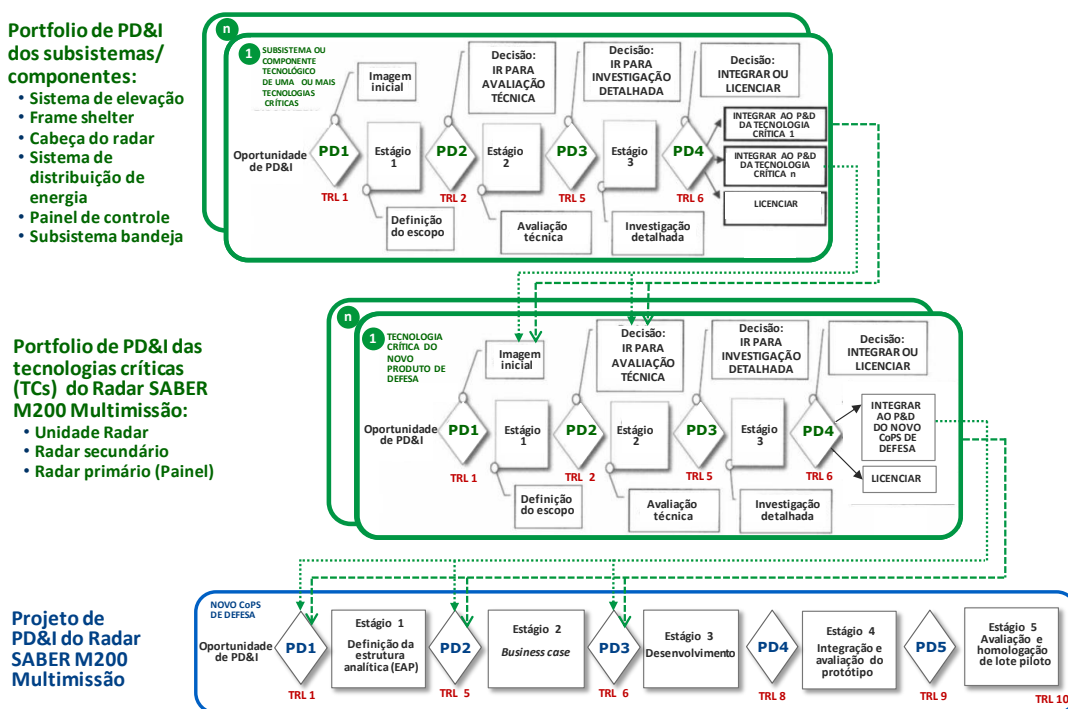


Figura 4.2 – Estrutura analítica para monitoramento e avaliação de desempenho do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2)

Deve-se observar que, no primeiro e segundo níveis desta estrutura, o portão de decisão PD4 é um portão final para projetos de P&D de subsistemas/componentes e também para tecnologias críticas. Para subsistemas/componentes, isso significa que o subsistema/componente pode ser integrado a uma tecnologia crítica, como planejado ou ser licenciado, se for o caso. Vale ressaltar que caso o subsistema/componente seja integrado a uma tecnologia crítica, o mesmo pode ocorrer tanto no PD1, quanto no PD2, do projeto de P&D de uma tecnologia crítica, dependendo do nível de complexidade do subsistema/componente.

Já para uma tecnologia crítica, isso significa que a mesma pode ser integrada a um novo CoPS de defesa ou licenciada. Neste caso, no entanto, a integração pode ocorrer nos portões de decisão PD1, PD2 ou PD3, dependendo do nível de complexidade da tecnologia crítica em foco.

Os critérios objetivos de avaliação referentes aos portões de decisão, conforme figura 4.2 encontram-se definidos nos quadros 3.1 e 3.2, respectivamente para projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) e de novos produtos (DPs). Da mesma forma, os indicadores de desempenho relacionados aos portões de decisão representados na figura 4.2 encontram-se definidos nos apêndices A3 e A4, respectivamente.

4.3.3

Resultados da Fase II – Validação dos indicadores de desempenho propostos para os portões de decisão, por tipo de projeto de PD&I

Como abordado anteriormente no capítulo 3, o método AHP foi o método de escolha para a definição de pesos dos critérios levantados da literatura de monitoramento e avaliação (M&A), conforme descrito na seção 3.2, subseção 3.2.2.

A tabela 4.1 mostra os pesos atribuídos aos critérios de M&A para validação dos indicadores de desempenho de projetos de PD&I (DT ou DP).

Tabela 4.1 – Pesos dos critérios de monitoramento e avaliação (M&A) para validação dos indicadores de desempenho

Ref.	Crítérios	Peso (%)	Razão de consistência
C1	Significância	56,1	RC = 0,049 Valor dentro do padrão RC \leq 0,1
C2	Mensurabilidade	21,7	
C3	Confiabilidade	4,5	
C4	Simplicidade	10,8	
C5	Temporalidade	6,9	

Os pesos atribuídos aos critérios foram usados para validação da qualidade dos indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novas tecnologias (DT) e de produtos (DP), conforme descrito na seção 3.2.2.

As tabelas 4.2 a 4.5 e 4.6 a 4.10 apresentam, respectivamente, os resultados da validação desses indicadores em cada PD, para conferir robustez metodológica durante o processo de monitoração e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias ou novos CoPS.

Tabela 4.2 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD1 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa

Ref.	Indicadores do PD1/DT	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IT11	Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,25	0,58	0,70
IT12	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]	0,36	0,56	0,61
IT13	Potencial de integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	0,62	0,13	0,18
IT14	Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico concluída [Score de 0 a 10]	0,28	0,45	0,61
IT15	Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]	0,47	0,37	0,44

Tabela 4.3 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD2 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa

Ref.	Indicadores do PD2/DT	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IT21	Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,30	0,59	0,66
IT22	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]	0,30	0,57	0,66
IT23	Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]	0,65	0,14	0,18
IT24	Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	0,44	0,29	0,40
IT25	Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 1 a 10]	0,60	0,11	0,16
IT26	Escopo e plano de ação do projeto de PD&I da nova tecnologia, componente ou subsistema definidos [Score de 0 a 10]	0,29	0,45	0,61
IT27	Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 2 [Score de 0 a 10]	0,19	0,54	0,74

Tabela 4.4 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD3 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa

Ref.	Indicadores do PD3/DT	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IT31	Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,13	0,54	0,80
IT32	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	0,20	0,45	0,69
IT33	Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	0,37	0,33	0,48
IT34	Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]	0,24	0,51	0,68
IT35	Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	0,30	0,42	0,59
IT36	Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	0,57	0,10	0,14
IT37	Viabilidade técnica em nível preliminar [Score de 0 a 10]	0,05	0,58	0,92
IT38	Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso [Score de 0 a 10]	0,00	0,60	1,00
IT39	Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	0,00	0,60	1,00

Tabela 4.5 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD4 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa

Ref.	Indicadores do PD4/DT	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade
		D+	D-	
IT41	Grau de alinhamento estratégico em relação ao desenvolvimento de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,11	0,50	0,82
IT42	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	0,19	0,47	0,72
IT43	Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	0,36	0,33	0,48
IT44	Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	0,12	0,54	0,82
IT45	Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	0,24	0,52	0,68
IT46	Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico [Score de 0 a 10]	0,54	0,12	0,18
IT47	Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis [Score de 0 a 10]	0,26	0,35	0,58
IT48	Viabilidade técnica comprovada [Score de 0 a 10]	0,05	0,57	0,92
IT49	Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]	0,00	0,59	1,00

Tabela 4.6 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD1 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

Ref.	Indicadores do PD1/DP	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IP11	Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,25	0,51	0,67
IP12	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,36	0,48	0,57
IP13	Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	0,38	0,47	0,55
IP14	Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa concluída [Score de 0 a 10]	0,28	0,43	0,60
IP15	Grau de atendimento aos requisitos do nível <i>TRL 1</i> [Score de 0 a 10]	0,47	0,39	0,46

Tabela 4.7 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD2 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

Ref.	Indicadores do PD2/DP	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IP21	Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPs de defesa [Score de 0 a 10]	0,30	0,59	0,66
IP22	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	0,30	0,57	0,66
IP23	Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	0,65	0,14	0,18
IP24	Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,60	0,11	0,16
IP25	Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	0,19	0,54	0,74

Tabela 4.8 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD3 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

Ref.	Indicadores do PD3/DP	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IP31	Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,13	0,24	0,64
IP32	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	0,20	0,19	0,48
IP33	Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	0,30	0,10	0,25
IP34	Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	0,24	0,19	0,43
IP35	Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,31	0,06	0,16
IP36	Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]	0,00	0,35	1,00

Tabela 4.9 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD4 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

Ref.	Indicadores do PD4/DP	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IP41	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	0,19	0,28	0,60
IP42	Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	0,25	0,26	0,51
IP43	Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	0,12	0,32	0,73
IP44	Capacidade industrial para conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	0,24	0,27	0,53
IP45	Probabilidade de sucesso de atendimento a necessidades estratégicas de defesa e a diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]	0,30	0,10	0,25
IP46	Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,26	0,23	0,47
IP47	IP47 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 8 [Score de 0 a 10]	0,00	0,39	1,00

Tabela 4.10 – Distâncias euclidianas, coeficientes de proximidade e priorização dos indicadores de desempenho associados ao PD5 de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

Ref.	Indicadores do PD5/DP	Distâncias euclidianas		Coeficiente de proximidade (CCi)
		D+	D-	
IP51	Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,19	0,27	0,59
IP52	Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	0,24	0,25	0,51
IP53	Atendimento a necessidades estratégicas de defesa e a diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]	0,11	0,29	0,72
IP54	Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	0,26	0,20	0,43
IP55	Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 9 [Score de 0 a 10]	0,00	0,37	1,00

Com base nesses resultados da validação conduzida segundo a abordagem multicritério de apoio à decisão, que combinou os métodos AHP e TOPSIS, pode-se afirmar que todos os indicadores de desempenho propostos nos quadros 3.3 e 3.4 foram considerados de qualidade, particularmente o critério “Atendimento aos requisitos dos níveis da escala TRL”.

4.3.4.

Resultados da Fase III – Avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa durante seu desenvolvimento

A avaliação do Projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão integrou três níveis, de acordo com a estrutura analítica para monitoramento e avaliação representada esquematicamente na figura 4.2. Foram avaliados os projetos de PD&I do subsistema ‘Bandeja’, da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ e do ‘Radar SABER M200 Multimissão (PO2)’.

A escolha do referido subsistema e da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ foi justificada pelo gerente do projeto Radar SABER M200 Multimissão’. Segundo ele, esses dois projetos encontram-se hoje em fase de desenvolvimento, enquanto os outros quatro subsistemas da ‘Unidade Radar’ já possuem projetos finalizados e já estão prontos para produção.

O subsistema ‘Bandeja’ encontra-se no estágio 3 e no nível de prontidão TRL 5, tendo sido avaliado, portanto, à luz dos critérios e indicadores associados ao PD4 (figura 4.3).

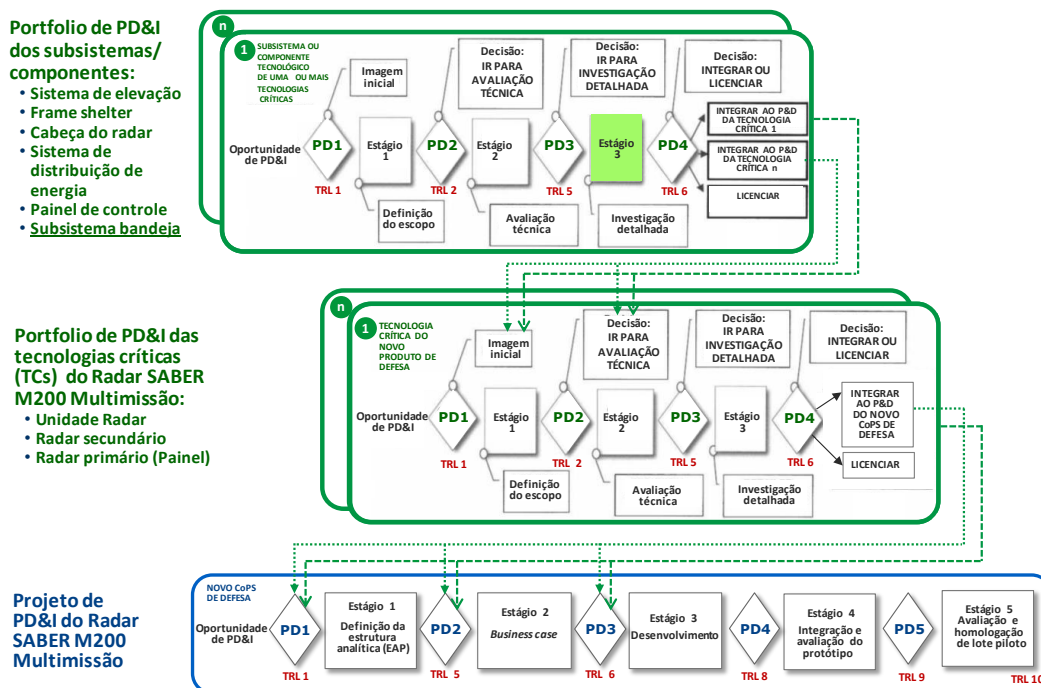


Figura 4.3 – Estágio atual do projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’

Para a definição de pesos dos critérios objetivos de avaliação associados ao portão de decisão PD4 de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes tecnológicos de uma determinada tecnologia crítica, foi empregado o método AHP, como descrito no procedimento do apêndice A2. Na ocasião, o gerente do projeto Radar SABER M200 Multimissão (PO2) realizou as comparações pareadas dos critérios associados ao portão de decisão PD4, como mostra a matriz da tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Matriz de comparações pareadas entre os critérios associados ao PD4 de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes tecnológicos (DT)

	CT41	CT42	CT43	CT44	CT45	CT46	CT47	CT48	CT49
CT41	1	6	8	6	4	6	8	1/2	1
CT42	1/6	1	3	1/4	1/4	1/3	6	1/7	1/4
CT43	1/8	1/3	1	1/4	1/4	1/4	1	1/7	1/6
CT44	1/6	4	4	1	1/2	1/2	7	1/7	1/6
CT45	1/4	4	4	2	1	3	8	1/3	1/3
CT46	1/6	3	4	2	1/3	1	8	1/4	1/6
CT47	1/8	1/6	1	1/7	1/8	1/8	1	1/8	1/8
CT48	2	7	7	7	3	4	8	1	1
CT49	1	4	6	6	3	6	8	1	1

Na sequência, calcularam-se os pesos para os critérios associados ao PD4, como podem ser vistos na tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Pesos para os critérios de avaliação associados ao Portão de Decisão PD4 de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes tecnológicos de uma tecnologia crítica (DT)

PD	Ref.	Critérios de avaliação	Peso (%)	Razão de consistência
PD4	CT41	Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa.	21,90	RC = 0,093 Valor dentro do padrão RC ≤ 0,1
	CT42	Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	4,40	
	CT43	Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	2,20	
	CT44	Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	6,50	
	CT45	Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	10,00	
	CT46	Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).	7,10	
	CT47	Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis.	1,80	
	CT48	Viabilidade técnica comprovada.	24,30	
	CT49	TRL 6 (quadro 2.6 e apêndice A1).	21,70	

Como comentado anteriormente, a avaliação do projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’ foi realizada à luz dos critérios ponderados associados ao portão PD4 de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes (DT) (tabela 4.13).

Apesar do projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’ ter alcançado um *score* geral superior a 8 e todos os indicadores obtido um *score* mínimo de 6, foi decidido que ele não deveria prosseguir para o estágio seguinte, i.e., ser integrado ao Radar Primário (Painel). Isso porque em relação ao indicador IT49 (‘Atendimento aos requisitos no nível TRL 6’), o projeto não obteve o *score* 10,0.

Segundo o gerente do Projeto Radar SABER M200 Multimissão, há um alto grau de alinhamento estratégico em relação ao desenvolvimento do referido Radar que justifica o *score* 10 em relação ao indicador I41. O desenvolvimento do subsistema ‘Bandeja’ alinha-se ao objetivo estratégico 9.2.1 ‘Pesquisar e desenvolver tecnologias de acordo com o Plano de Obtenção de Capacidades Materiais (PCM) e o Plano de Desenvolvimento de Capacidades Operativas’.

Quanto ao grau de impacto de inovação, o subsistema ‘Bandeja’ também recebeu um *score* elevado (9), porque a tecnologia *phased array* de longo alcance é uma tecnologia dominada por poucos países e suas características são capazes de conferir um importante acréscimo na capacidade operativa de defesa antiaérea.

Tabela 4.13 – Matriz para avaliação do projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’

PD	CrITÉrios de avaliaÇão	Peso (w _i)	Indicadores de desempenho	Score (C _i)	w _i x C _i
PD4	CT41 - Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa.	21,9 %	IT41 - Grau de alinhamento estratégico em relação ao desenvolvimento de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	10	2,19
	CT42 - Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	4,4 %	IT42 - Grau de impacto inovador do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	9	0,396
	CT43 - Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	2,2 %	IT43 - Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	7	0,154
	CT44 - Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	6,5 %	IT44 - Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	8	0,52
	CT45 - Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema	10,0 %	IT45 - Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	6	0,6
	CT46 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).	7,1 %	IT46 - Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico [Score de 0 a 10]	10	0,71
	CT47 - Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis.	1,8%	IT47 - Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis [Score de 0 a 10]	10	0,18
	CT48 - Viabilidade técnica comprovada.	24,3 %	IT48 - Viabilidade técnica comprovada [Score de 0 a 10]	8	1,944
	CT49 - TRL 6 (quadro 2.6 e apêndice A1).	21,7 %	IT49 - Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]	8	1,736
Score geral				8,430	

Com relação à cultura favorável a iniciativas de PD&I colaborativo (*score* 7), o gerente do Projeto Radar SABER M200 Multimissão alegou que algumas universidades participaram da pesquisa aplicada desse subsistema, mas que era esperada uma maior participação de instituições científicas e tecnológicas (ICTs).

Quanto   formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto do subsistema ‘Bandeja’, o gerente do Projeto Radar SABER M200 Multimissão atribuiu um *score* elevado (8), justificando que existem contratos com fornecedores para o serviço de apoio   aquisições de componentes e   fabricação mecânica das bandejas.

Em relação à capacidade industrial após a conclusão do projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’, o gerente do Projeto Radar M200 Multimissão alegou

que ainda há oportunidades de melhoria no processo produtivo do subsistema ‘Bandeja’, o que o levou a atribuir o *score* 6 em relação ao indicador IT45.

No que tange à integração de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico, o projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’ recebeu *score* máximo (10), dada sua capacidade de intercambialidade com os projetos de pesquisa e desenvolvimento de radares de defesa antiaérea. Ainda, na ocasião da avaliação, o gerente do Projeto do Radar SABER M200 Multimissão argumentou que os resultados do projeto de PD&I do subsistema Bandeja estão em conformidade legal com as leis e regulamentação aplicáveis (*score* 10). A viabilidade técnica comprovada do projeto recebeu um *score* elevado, pois alguns subsistemas/componentes deste projeto, ou versões similares, estão sendo testados no protótipo do radar SABER M200 Vigilante.

Quanto ao atendimento aos requisitos do nível de prontidão TRL 6, o gerente afirmou que é preciso que as funções críticas do demonstrador de tecnologia, incluídos parâmetros de desempenho, dimensões e peso, sejam ainda testados em ambiente relevante. No entanto, cerca de 70 % dos subsistemas/componentes do subsistema ‘Bandeja’ já se encontram no nível de prontidão TRL 6. Esses fatores o levaram a atribuir o *score* 8 em relação ao indicador IT49.

Como mencionado anteriormente, para a avaliação de um dos projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de desenvolvimento de tecnologias críticas que integrarão o desenvolvimento do CoPS em foco, selecionou-se o projeto da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’.

O projeto de PD&I desta tecnologia apresenta nível de prontidão TRL 3 e encontra-se no estágio 2. Foi, portanto, avaliado à luz dos critérios associados ao PD3 de projetos de PD&I de tecnologias críticas, conforme figura 4.4.

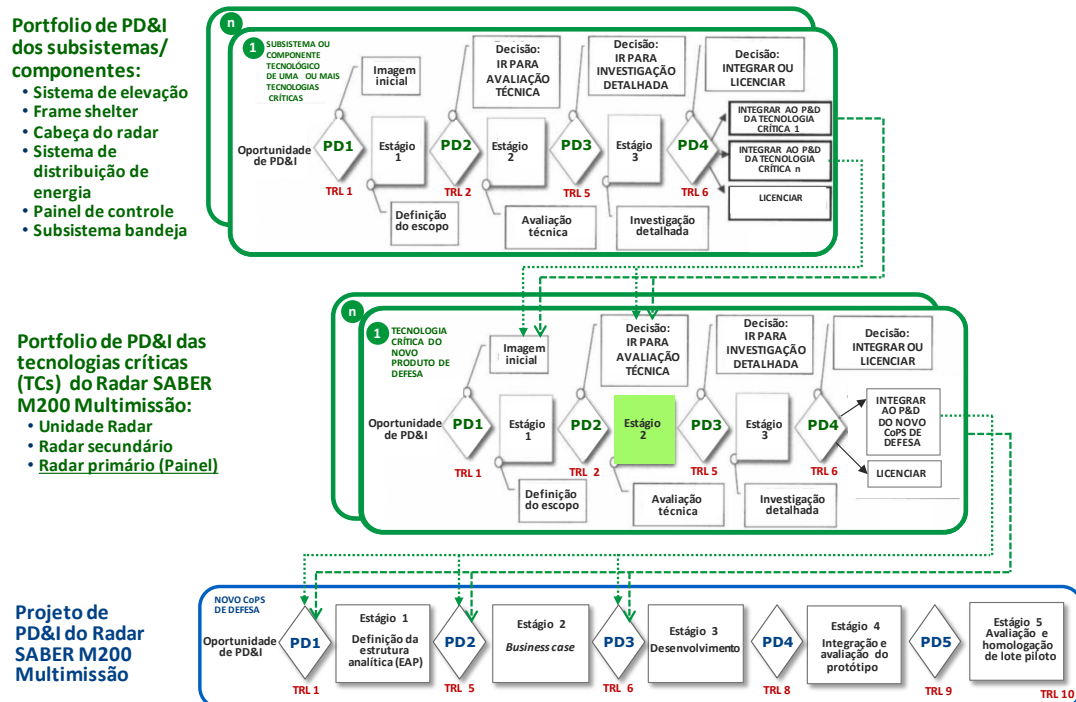


Figura 4.4 – Estágio atual do Projeto de PD&I do ‘Radar Primário (Painel)’

No entanto, cabe ressaltar que cerca de 60 % de seus subsistemas/componentes encontram-se em TRL 5; 10 % de seus subsistemas/componentes em TRL 4; e 30 % de seus subsistemas/componentes em TRL 3.

Os subsistemas/componentes em TRL 5 são versões similares, mas que não correspondem completamente aos requisitos do usuário, que estão sendo testadas no protótipo do radar SABER M200 Vigilante. Um dos subsistemas/componentes em TRL 4 já foi testado em ambiente laboratorial, outro só pode ser testado após a montagem das demais bandejas. Os componentes/subsistemas em TRL 3, especificamente, só podem ser testados em um cenário com múltiplas bandejas eletrônicas.

Como nos casos anteriores, o gerente do projeto Radar SABER M200 Multimissão (PO2) realizou as comparações pareadas dos critérios associados ao portão de decisão PD3, como mostra a matriz da tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Matriz de comparações pareadas entre os critérios associados ao Portão de Decisão PD3 de um projeto de PD&I de novas tecnologias (DT)

	CT31	CT32	CT33	CT34	CT35	CT36	CT36	CT37	CT39
CT31	1	8	9	8	8	1	1	1	1
CT32	1/8	1	3	1/2	1	1/2	1/6	1/5	1/8
CT33	1/9	1/3	1	1/7	1/6	1/8	1/8	1/8	1/9
CT34	1/8	2	7	1	2	2	1/7	1/7	1/5
CT35	1/8	1	6	1/2	1	1	1/6	1/6	1/6
CT36	1	1/2	8	1/2	1	1	1/5	1/5	1/6
CT37	1	6	8	7	6	5	1	1	1
CT38	1	5	8	7	6	5	1	1	1
CT39	1	8	9	3	6	6	1	1	1

Com o apoio do software IPÊ 1.0 (Costa, 2004), calcularam-se os pesos para os critérios associados ao portão de decisão PD2, conforme pode ser visto na tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Pesos para os critérios de avaliação associados ao Portão de Decisão PD3 de projetos de PD&I de uma tecnologia crítica (DT)

PD	Ref.	Crítérios de avaliação	Peso (%)	Razão de consistência
PD3	CT31	Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa. .	19,70	RC = 0,080 Valor dentro do padrão RC ≤ 0,1
	CT32	Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	3,10	
	CT33	Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	1,50	
	CT34	Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	5,50	
	CT35	Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	3,90	
	CT36	Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico.	6,60	
	CT37	Viabilidade técnica em nível preliminar.	19,8	
	CT38	Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso.	19,5	
	CT39	TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	20,4	

A avaliação do projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ foi realizada à luz dos critérios ponderados associados ao portão PD3 de projetos de PD&I de novas tecnologias (DT), como mostra a tabela 4.16.

Apesar do grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ ter recebido *score* máximo (10), visto que o mesmo se alinha ao objetivo estratégico 9.2.1 ‘Pesquisar e desenvolver tecnologias de acordo com o Plano de Obtenção de Capacidades Materiais (PCM) e o Plano de Desenvolvimento de Capacidades Operativas’, o *score* geral obtido pelo projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ foi inferior a

8 e nem todos os indicadores obtiveram *score* superior a 6. Assim, decidiu-se que o projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ o projeto ainda não deve prosseguir para o estágio seguinte.

Tabela 4.16 – Matriz para avaliação do projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’

PD	Critérios de avaliação	Peso (w_i)	Indicadores de desempenho	Score (C_i)	$w_i \times C_i$
PD3	CT31 - Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa.	19,7 %	IT31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	10	1,97
	CT32 - Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	3,10 %	IT32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	8	0,248
	CT33 - Cultura organizacional para PD&I colaborativo.	1,50 %	IT33 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	3	0,045
	CT34 - Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.	5,50 %	IT34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]	7	0,385
	CT35 - Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	3,90 %	IT35 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	8	0,312
	CT36 - Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico.	6,60 %	IT36 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	5	0,330
	CT37 - Viabilidade técnica em nível preliminar.	19,8 %	IT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar [Score de 0 a 10]	5	0,99
	CT38 - Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso	19,5 %	IT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso [Score de 0 a 10]	9	1,755
	CT39 - TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	20,4 %	IT39 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	7	1,428
				Score geral	7,463

O grau de impacto de inovação do projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ também é elevado (*score* 8), visto que o Radar Primário realiza varredura 100 % eletrônica (em elevação e azimuth) na transmissão e com

recepção realizada por feixes digitalmente conformados (*digital beamforming*) do tipo *stacked beams* (feixes empilhados), que são conhecimentos científicos e tecnológicos de última geração. Isso coloca o país na fronteira do conhecimento de tecnologias aplicadas a radares.

Quanto à cultura favorável a iniciativas de PD&I, o gerente do projeto do Radar SABER M200 Multimissão atribui um *score* baixo (3), justificado pela pouca participação de universidades na pesquisa aplicada da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’.

Em relação ao potencial de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o desenvolvimento deste projeto, o gerente do Projeto Radar SABER M200 Multimissão atribuiu um *score* regular (7), argumentando que existem alguns contratos com fornecedores para esta tecnologia mas era esperado mais.

No que tange ao grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa da organização, o *score* elevado (8) foi justificado pelo fato de projetos de pesquisa e desenvolvimento de radares de defesa antiaérea, como o Radar SABER M200 Vigilante, possuírem tecnologia semelhante à tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’.

Apesar da capacidade de intercambialidade da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ com outros projetos de PD&I de radares de defesa antiaérea, ainda não se pode prever a probabilidade de sucesso quanto à integração desta tecnologia a outros projetos de PD&I de novos CoPS de defesa com potencial mercadológico neste estágio. Como se trata de uma tecnologia dominada por poucos países, a falta de domínio completo do seu funcionamento interno pode trazer uma vulnerabilidade a este projeto.

A viabilidade técnica em nível preliminar recebeu um *score* médio (5), visto que a tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ possui cerca de 30 % de seus subsistemas/componentes que só podem ser testados especificamente em cenários com múltiplas bandejas eletrônicas, o que ainda não é possível. No entanto, 60 % dos subsistemas/componentes da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ em versões similares já estão sendo testados no protótipo do radar SABER M200 Vigilante.

Quanto à disponibilidade de recursos para realizar o projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’, no momento isso não é um impedimento, pois o projeto é financiado pelo BNDES.

Em relação ao atendimento aos requisitos do nível de prontidão TRL 5, é preciso que os subsistemas/componentes da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’ em TRL 3 sejam elevados a uma TRL 4. Para que isso aconteça, o gerente afirmou que é necessário que sejam testadas em ambiente laboratorial as especificações das funções críticas da prova de conceito. Apesar disso, cerca de 60 % dos subsistemas/componentes da tecnologia crítica Radar Primário (Painel) já se encontram no nível TRL 5.

Nesta última etapa, realizou-se a avaliação do Projeto do Radar SABER M200 Multimissão (PO2), que se encontra atualmente no estágio 1, conforme mostra a figura 4.5.

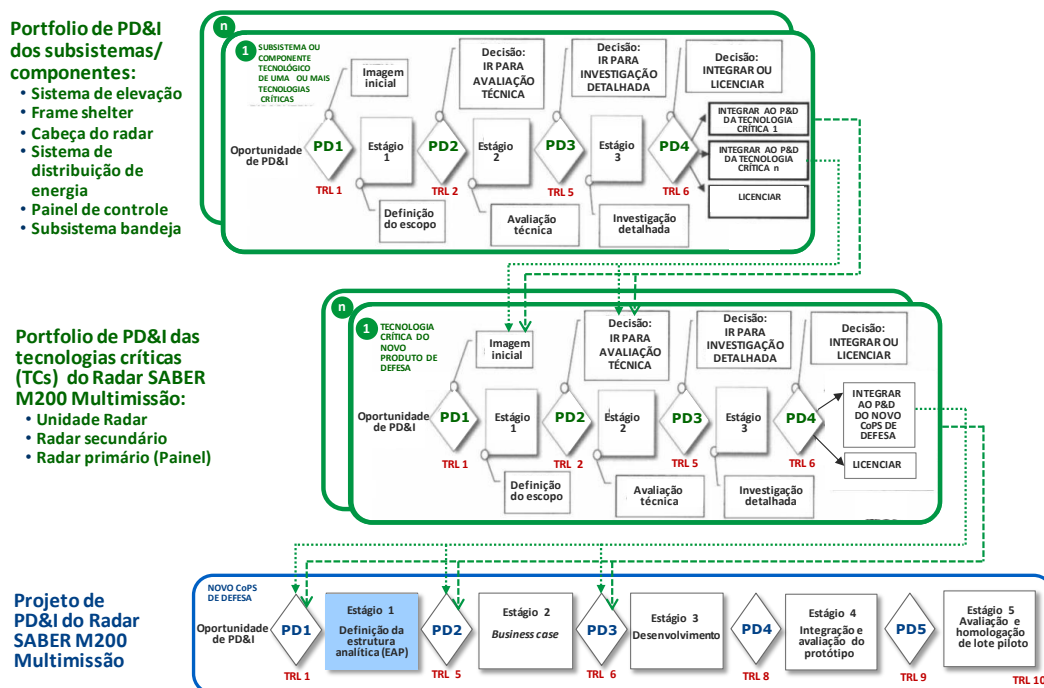


Figura 4.5 – Estágio atual do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2)

Conforme mencionado anteriormente, devido à descontinuidade do primeiro protótipo do radar SABER M200 Multimissão (PO1) e da mudança de rota tecnológica para o desenvolvimento do segundo protótipo (PO2), muitas das conquistas do projeto de PD&I do PO1 foram aproveitadas. Assim, alguns de seus subsistemas partiram de um nível de prontidão TRL mais elevado. No entanto, como outros subsistemas precisaram ser reprojitados, principalmente aqueles

mais dependentes do *hardware*, consequentemente esses subsistemas ainda deverão ser validados, tanto em ambiente laboratorial, quanto em ambientes relevantes, o que só poderá ocorrer após a montagem das estruturas mecânicas elétricas e eletrônicas. Assim, foi atribuído ao segundo protótipo do Radar SABER M200 Multimissão (PO2) o nível de prontidão TRL 3 e o estágio 1 de desenvolvimento. O projeto foi avaliado à luz dos critérios associados ao PD2 de projetos de PD&I de um novo CoPS (figura 4.5).

Para esta avaliação, o gerente do projeto Radar SABER M200 Multimissão realizou as comparações pareadas dos critérios associados ao portão de decisão PD2 para projetos de PD&I de novos CoPS. A tabela 4.17 mostra a matriz de comparações pareadas entre os referidos critérios.

Tabela 4.17 – Matriz de comparações pareadas entre os critérios associados ao portão de decisão PD2 de um projeto de PD&I de um novo CoPS

	CP21	CP22	CP23	CP24	CP5
CP21	1	5	6	1	1
CP22	1/5	1	2	1/2	1/5
CP23	1/6	1/2	1	1/2	1/5
CP24	1	2	2	1	2
CP25	1	5	5	1/2	1

Calcularam-se, com o apoio do software IPÊ 1.0 (Costa, 2004), os pesos dos critérios associados ao portão de decisão PD2, como podem ser vistos na tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Pesos para os critérios de avaliação associados ao Portão de Decisão PD2 de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa

Portão de Decisão	Ref.	Crítérios de avaliação	Peso (%)	Razão de consistência
PD2	CP21	Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	31,11	RC = 0,084 Valor dentro do padrão RC ≤ 0,1
	CP22	Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	8,90	
	CP23	Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	6,79	
	CP24	Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.	26,20	
	CP25	TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	27,00	

A avaliação do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão foi realizada à luz dos critérios ponderados associados ao portão PD2, conforme tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Matriz para avaliação do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2)

PD	Critérios de avaliação	Peso (w _i)	Indicadores de desempenho	Score (C _i)	w _i x C _i
PD2	CP21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa..	31,10 %	IP21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	10	3,11
	CP22 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (ex-ante).	8,9 %	IP22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	8	0,712
	CP23 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.	6,70 %	IP23 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	8	0,536
	CP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa	26,20 %	IP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	6	1,572
	CP25 –TRL 5 (quadro 2.6 e apêndice A1).	27,00%	IP25 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	7	1,890
Score geral					7,820

Apesar do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2) ter obtido *scores* superiores a 6,0 em relação a todos os indicadores de desempenho, seu *score* geral ficou abaixo de 8,0, além de não ter obtido grau máximo em relação ao indicador IP25, decidiu-se que o projeto não deve prosseguir para o estágio seguinte, mas que será dada continuidade ao seu desenvolvimento, uma vez que apresenta elevado grau de alinhamento estratégico em relação ao desenvolvimento de um novo CoPS de defesa (IP21 com *score* 10).

O Radar SABER M200 Multimissão (PO2) alinha-se ao objetivo estratégico 9.2.1 ‘Pesquisar e desenvolver tecnologias de acordo com o Plano de Obtenção de Capacidades Materiais (PCM) e o Plano de Desenvolvimento de Capacidades Operativas’, sendo prioridade 2 no PCM.

O grau de impacto de inovação do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão também é elevado (8), pois é um radar baseado em tecnologias dominadas por poucos países.

Em relação ao grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa da organização, o gerente do Projeto de PD&I ‘Radar SABER M200

Multimissão' justificou o *score* elevado (8), justificando que o projeto faz parte dos projetos de pesquisa e desenvolvimento de radares de defesa antiaérea.

Quanto à probabilidade de sucesso técnico, o gerente atribuiu um *score* regular (6). Isso porque, apesar do TRL de algumas tecnologias críticas do Radar SABER M200 Multimissão (PO2) estar ainda no nível de prontidão TRL 3 (função crítica experimentada e analisada em ambiente laboratorial), as mesmas são compostas por diversos subsistemas/componentes, que já possuem TRL próximo de 6, obtidos no contexto da P&D do Radar SABER M200 Vigilante. Nesse sentido, é importante destacar que será necessária a montagem das estruturas mecânicas elétricas e eletrônicas para elevar o nível de maturidade desses subsistemas, que se encontram atualmente no nível de prontidão TRL 3. Essa montagem permitirá a integração dessas estruturas e a consequente validação do projeto em ambiente relevante.

Com relação ao atendimento aos requisitos do nível TRL 5, o *score* 7 atribuído pelo gerente reflete a necessidade de se especificar as funções críticas do modelo de engenharia a serem testadas em ambiente relevante, o que só será possível após a montagem das estrutura mecânicas, elétricas e eletrônicas.

4.4. Discussão dos resultados

O modelo conceitual para avaliar projetos de PD&I que integram um projeto de um novo CoPS para a área de defesa foi aplicado no CETEx, mediante o desenvolvimento de um estudo empírico conduzido durante o mês de abril de 2023, junto ao gerente do projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2).

No decorrer da avaliação, foi possível atribuir pesos aos critérios dos respectivos portões com o emprego do método AHP, segundo os quais dois projetos de PD&I que integram o projeto Radar SABER M200 Multimissão (PO2) foram avaliados nos estágios de desenvolvimento em que se encontram (ver tabelas 4.12, 4.15 e 4.18).

Ainda durante a avaliação, foram obtidos os *scores* gerais para os três projetos de PD&I que foram avaliados, permitindo que o gerente pudesse tomar decisões sobre a permanência dos projetos no estágio em que se encontravam ou se poderiam passar para o estágio seguinte.

Conforme as tabelas 4.13, 4.16 e 4.19, foi possível calcular os *scores* gerais para os três projetos de PD&I, a saber: (i) 8,430 para o projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’; (ii) 7,463 para o projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário (Painel)’; e (iii) 7,820 para o projeto de PD&I do Radar SABER M200 Multimissão (PO2).

Na opinião do gerente do projeto, os indicadores de desempenho propostos e o sistema de pontuação (escala de 0 a 10 pontos, associada aos indicadores de desempenho) mostraram-se relevantes, válidos e de fácil compreensão para uso futuro pelos gerentes de projetos de PD&I de CoPS de defesa desenvolvidos no CTE_x.

No entanto, apesar dos resultados positivos obtidos, duas limitações podem ser apontadas nesta pesquisa, a saber: (i) a aplicação do modelo ter sido realizada em uma única organização (CTE_x) e em único projeto de PD&I de CoPS; e (ii) a participação de apenas um gestor na fase coleta de dados e da avaliação propriamente dita.

Em complementação à discussão dos resultados do estudo empírico, destacam-se os seguintes diferenciais do modelo conceitual proposto nesta dissertação, em comparação aos doze modelos e aos 26 estudos empíricos prévios sobre o tema, revisados no capítulo 2 (quadros 2.3 e 2.4, respectivamente):

- Definição de uma estrutura analítica multinível para monitorar e avaliar projetos de PD&I referentes ao desenvolvimento de um novo CoPS de defesa, na qual se distinguem: (i) a gestão do portfólio de PD&I de subsistemas ou componentes a serem integrados a projetos de tecnologias críticas (TCs) do novo CoPS de defesa; (ii) a gestão de portfólio de PD&I das tecnologias críticas (TCs) que integrarão o projeto de um novo CoPS de defesa; e (iii) a gestão do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, desde sua concepção até a produção e entrada em operação, com eventuais falhas corrigidas com base no feedback dos usuários;
- Estabelecimento de critérios objetivos de avaliação dos projetos de PD&I de CoPS de defesa em cada um dos três níveis da estrutura analítica apresentada na figura 3.3, associando-os aos portões de decisão para projetos de PD&I de tecnologias (DTs) e de produtos (DPs);
- Emprego da ferramenta *Stage-Gate* integrada à escala TRL, adaptada para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do

Exército Brasileiro (SCTIEx), e a outras métricas de desempenho para monitorar e avaliar projetos de PD&I de CoPS desta área, ao longo de seu desenvolvimento;

- Aplicação da escala TRL para uso no gerenciamento de projetos de PD&I de CoPS de defesa, segundo a ferramenta *Stage-Gate* (Cooper, 2006): como abordado no capítulo 2, Girardi *et al.* (2022) já haviam adaptado a escala TRL para medir o nível de prontidão tecnológica de projetos de PD&I de novos produtos de defesa (PRODE), ao longo de seu desenvolvimento (quadro 2.6 e apêndice A1). No entanto, essa escala adaptada para a área de defesa ainda não havia sido integrada à ferramenta *Stage-Gate*, como proposto nesta pesquisa;
- Emprego de uma abordagem multicritério de apoio à decisão, que ainda não havia sido adotada em nenhum dos estudos revisados no quadro 2.4 e nem nas práticas de gestão adotadas atualmente no SCTIEx. O emprego do método AHP foi proposto para dois momentos distintos: (i) o primeiro, para atribuir pesos aos critérios de M&A para validar os indicadores de desempenho de projetos de PD&I a serem adotados nos três níveis da estrutura da figura 3.3; e (ii) o segundo, para definir os pesos dos critérios associados a cada portão de decisão. Já o método TOPSIS foi empregado somente na fase II do modelo para validar a qualidade dos indicadores de desempenho, à luz de critérios consagrados da área de monitoramento e avaliação (M&A).

A partir da análise comparativa dos doze modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) e de produtos (DP) (quadro 2.3), identificaram-se sete modelos cujos elementos foram considerados na fase de modelagem desta pesquisa, a saber: Clausing (1994); Cooper (2006); Johnsson *et al.* (2008); Cedergren (2011); Zhang *et al.* (2013); Brilhuis-Meijer *et al.* (2016); e Cooper (2022). Não obstante as importantes contribuições desses modelos para o avanço do conhecimento sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de novas tecnologias ou produtos, somente três deles focalizaram o desenvolvimento de novos CoPS (i.e., Johnsson *et al.*, 2008; Cedergren, 2011; e Zhang *et al.*, 2013).

No entanto, em nenhum desses três modelos foi possível identificar uma estrutura analítica multinível para monitorar e avaliar projetos de PD&I referentes

ao desenvolvimento de um novo CoPS. Além disso, somente Cedergren (2011) empregou a ferramenta *Stage-Gate*, sem porém definir critérios e indicadores para cada portão de decisão, como no modelo aqui proposto. Cedergren focalizou apenas a avaliação final de desempenho e não o monitoramento das atividades nos estágios de desenvolvimento e avaliação nos portões de decisão, à luz de critérios distintos em cada marco decisório.

Com relação à revisão dos estudos empíricos apresentados sinteticamente no quadro 2.4, foi possível identificar nos trabalhos de Xavier Jr. *et al.* (2020); Jesus e Chagas Jr. (2020; 2021); e Girardi *et al.* (2022) o emprego da escala de prontidão tecnológica (TRL), porém de forma dissociada dos estágios de desenvolvimento e portões de decisão como, por exemplo, nos trabalhos que investigaram o emprego da ferramenta *Stage-Gate* para o gerenciamento de projetos de PD&I de CoPS (Johnsson *et al.*, 2008; Stajnfarter e Weigel, 2011; Cedergren, 2011; e Jing *et al.*, 2020).

Particularmente, Jing *et al.* (2020), com base em uma análise sistemática do projeto FFG (X) da Marinha dos EUA, buscaram demonstrar em seu estudo a viabilidade e a necessidade de introduzir a ferramenta *Stage-Gate* no gerenciamento de projetos de pesquisa científica de defesa. Um ponto que deve ser destacado é que a Marinha dos EUA adaptou a ferramenta *Stage-Gate* para o caso do projeto FFG (X), sem contudo integrá-la à escala TRL, como proposto na presente pesquisa.

Em síntese, sobre os quatro estudos que investigaram o emprego da ferramenta *Stage-Gate* no desenvolvimento de novos CoPS (Johnsson *et al.*, 2008; Cedergren, 2011; Szajnfarter e Weigel, 2011; e Jing *et al.*, 2020), o modelo conceitual aqui proposto destaca-se pela ênfase no monitoramento das atividades do projeto de PD&I nos estágios de seu desenvolvimento, à luz de critérios distintos em cada portão de decisão.

Por fim, com relação aos estudos empíricos sintetizados no quadro 2.4, foi possível identificar apenas três trabalhos que integraram as ferramentas *Stage-Gate* e TRL (Perry e Howard, 2007; Brilhuis-Meijer *et al.*, 2016; e van Luyken, 2019), sendo que o único que, especificamente, se referiu ao desenvolvimento de novos CoPS foi van Luyken (2019). No entanto, esse estudo não considerou as diferenças entre desenvolvimentos de tecnologias e de produtos e nem utilizou uma abordagem multicritério de apoio à decisão para atribuir pesos aos critérios

em cada portão de decisão, visando monitorar e avaliar o desempenho de projetos de PD&I de novos CoPS.

Acredita-se que o emprego de uma abordagem multicritério de apoio à decisão conferiu, de fato, maior robustez metodológica ao modelo conceitual aqui proposto, mediante a atribuição de pesos aos critérios de avaliação para cada portão de decisão da estrutura analítica (figura 3.3) e validação da qualidade dos indicadores propostos para esses portões, tanto para projetos de PD&I de novas tecnologias, quanto para projetos de novos produtos (quadros 3.3 e 3.4).

5 Conclusões

A presente pesquisa buscou contribuir para o avanço do conhecimento sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS em geral e, em particular, os da área de defesa. Nessa perspectiva, foi desenvolvido um modelo conceitual que integra a escala *Technology Readiness Level* (TRL), adaptada para as necessidades do SCTIEx (Girardi *et al.*, 2022), à ferramenta *Stage-Gate* (Cooper, 1990; 2006; 2022) e emprega dois métodos multicritério de apoio à decisão (Saaty, 1990; Hwang e Yoon, 1981), partindo-se do pressuposto que sua adoção na prática poderá contribuir para a excelência em gestão de projetos de PD&I de novos CoPS em organizações que enfrentam a complexidade e as incertezas inerentes a esses projetos.

Os resultados obtidos ao longo da pesquisa aqui relatada permitiram que o objetivo geral da dissertação fosse alcançado. Foi possível confirmar a aplicabilidade do modelo conceitual proposto no capítulo 3, mediante o desenvolvimento de um estudo empírico em um projeto de PD&I de um novo CoPS, que se encontra em desenvolvimento no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), com apoio da Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC).

Com relação aos três primeiros objetivos específicos, foi possível conceituar produtos e sistemas complexos (CoPS), destacando-se as características consideradas relevantes na gestão de PD&I desses produtos e sistemas. A partir desse entendimento, compararam-se doze modelos de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (DT) ou de novos produtos (DP), como ponto de partida para a análise da aplicabilidade desses modelos no contexto de projetos de PD&I de CoPS. Essa análise revelou que sete modelos, pelas suas características, poderiam ser aplicados para monitorar e avaliar o desenvolvimento de novos CoPS. São eles: Clausing (1994); Cooper (2006); Johnsson *et al.* (2008); Cedergren (2011); Zhang *et al.* (2013); Brilhuis-Meijer *et al.* (2016); e Cooper (2022). Não obstante as importantes contribuições desses modelos para o avanço do conhecimento sobre monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de novas

tecnologias ou produtos, somente três deles focalizaram o desenvolvimento de novos CoPS (i.e., Johnsson *et al.*, 2008; Cedergren, 2011; e Zhang *et al.*, 2013).

Já a análise de 26 estudos empíricos sobre gestão de projetos de PD&I de CoPS permitiu identificar objetivamente as duas lacunas na literatura que foram abordadas na fase de modelagem desta pesquisa, a saber: (i) a primeira refere-se ao emprego da ferramenta *Stage-Gate* integrada à escala TRL e a outras métricas de desempenho para monitorar e avaliar projetos de PD&I de CoPS, ao longo de seu desenvolvimento; e (ii) a segunda diz respeito à adoção de uma abordagem multicritério de apoio à decisão, que permita validar os indicadores de desempenho e atribuir pesos aos critérios adotados em cada portão de decisão durante as avaliações propriamente ditas dos projetos de PD&I de CoPS.

Quanto ao quarto objetivo específico, foi possível desenvolver um modelo conceitual para monitorar e avaliar o desempenho de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa, com uma série de diferenciais em relação aos referidos modelos e estudos empíricos anteriores, destacando-se:

- Uma estrutura analítica multinível para monitorar e avaliar projetos de PD&I de novos CoPS de defesa, que abrangem projetos de PD&I de subsistemas ou componentes que integrarão uma ou mais tecnologias críticas do novo CoPS; projetos de PD&I de tecnologias críticas que integrarão o novo CoPS; e o projeto de PD&I do novo CoPS de defesa desde a concepção até a produção e entrada em operação;
- A definição de critérios objetivos para o monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa em cada um dos três níveis da estrutura analítica apresentada, associando-os aos portões de decisão, tanto para projetos de PD&I de tecnologias (DTs), quanto de novos produtos (DPs);
- A integração da escala TRL, adaptada para as necessidades do SCITEX, à ferramenta *Stage-Gate*, além de outras métricas de desempenho para monitorar e avaliar projetos de PD&I de CoPS de defesa;
- A proposição de uma abordagem multicritério de apoio à decisão, visando conferir maior robustez metodológica ao modelo conceitual, mediante a validação da qualidade dos indicadores propostos para os portões de decisão, de acordo com a ferramenta *Stage-Gate*, e a atribuição de pesos aos critérios de avaliação a serem empregados

durante as avaliações propriamente ditas dos projetos de PD&I de CoPS de defesa

Ao ser aplicado no âmbito do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx), especificamente na avaliação de um dos projetos de PD&I de um novo CoPS em desenvolvimento no CTEx, conclui-se que foi possível realizar a avaliação e o monitoramento do Projeto Radar SABER M200 MM em três níveis da estrutura analítica de avaliação (figura 3.3), alcançando-se assim o quinto objetivo específico da dissertação.

Como havia sido previsto desde o início da pesquisa, os resultados do estudo empírico permitiram identificar pontos fortes e oportunidades de melhoria, que poderão ser objeto de iniciativas por parte da liderança do Projeto Radar SABER M200 MM.

A aplicação do modelo nesse contexto indicou que o projeto de PD&I do subsistema ‘Bandeja’ ainda não deve ser integrado ao projeto de PD&I da tecnologia crítica ‘Radar Primário – Painel’. Recomenda-se que esta integração seja realizada no estágio 2, em que se encontra a tecnologia crítica ‘Radar Primário – Painel’. O estudo empírico indicou também que o projeto de PD&I desta tecnologia crítica, bem como o projeto de PD&I do Radar SABER M200 MM (PO2) também não devem avançar de estágio. Neste último caso, a montagem das estruturas mecânicas elétricas e eletrônicas será necessária para que se possa avançar para a validação das especificações das funções críticas em ambiente laboratorial (prova de conceito) e em ambiente relevante (modelo de engenharia).

Pelos aspectos descritos e resultados obtidos na fase aplicada desta pesquisa, considera-se que o modelo de monitoramento e avaliação de projetos de PD&I de CoPS de defesa aqui proposto proporcionará aos gestores de PD&I de CoPS, bem como à rede de atores composta por fornecedores, órgãos reguladores, empresas de base tecnológica especializadas e usuários, um ferramental adequado para o efetivo gerenciamento de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa. Quando aplicado em toda sua abrangência no CTEx, i.e, para monitorar e avaliar todos os projetos de PD&I de CoPS em desenvolvimento, uma nova sistemática de gerenciamento baseada neste modelo poderá ser considerada uma forma de inovação organizacional nas instituições científicas e tecnológicas (ICT) do

Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) do Exército e de outras Forças Armadas.

Nessa perspectiva e com base nos resultados alcançados até o momento, podem-se antever algumas implicações gerenciais, quando da aplicação do modelo conceitual aqui proposto. Em primeiro lugar, se uma organização deseja aplicar essas ferramentas (*Stage-Gate* e TRL), de forma integrada no monitoramento e avaliação de novas tecnologias e produtos de defesa, deverá considerar um modelo adaptado com uma escala TRL específica (quadro 2.6 e apêndice A1), como o que foi apresentado neste capítulo.

Além disso, o número de interfaces organizacionais e a necessidade de cooperação tecnológica com outras instituições científicas e tecnológicas (ICTs) e empresas de base tecnológica, que integram o ecossistema de inovação da área de defesa, terão impacto no desenho definitivo do modelo em função do alto grau de incerteza inerente ao desenvolvimento dos projetos de PD&I de novos CoPS.

Para futuros estudos, como desdobramento natural da presente pesquisa e aprofundamento dos seus resultados, propõe-se:

- Estender a experiência piloto, que teve como foco a avaliação de três projetos de PD&I que integram o projeto de desenvolvimento do Radar SABER M200 MM, aos demais projetos de PD&I de CoPS do DCT;
- Aplicar a lógica *fuzzy* nas etapas de atribuição de pesos aos critérios de avaliação em cada portão de decisão, durante os processos de avaliação dos projetos de PD&I de CoPS, minimizando-se a possibilidade de vies nesses processos;
- Aplicar a Teoria das Opções Reais ao modelo aqui proposto, para acomodar mudanças econômicas nos requisitos operacionais decorrentes da evolução do ambiente tecnológico e de negócios ao longo do tempo.

ACHA, V.A.; DAVIES, A.; HOBDA, M.; SALTER, A.J. Exploring the capital goods economy: Complex product systems in the UK. **Industrial and Corporate Change**, v.13, n.3, p. 505-529, 2004.

AJAMIAN, G.M.; KOEN, P.A. **Technology stage-gate**: a structured process for managing high-risk new technology projects. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2002.

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

ARISTODEMOU, L.; TIETZE, F; O'LEARY, E.; SHAW, M. **A Literature Review on Technology Development Process (TDP) Models**. Centre for Technology Management working paper series, No 6, Centre for Technology Management. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2019.

AXELSON, M. **Enabling knowledge communication between companies**. Stockholm, 2008, 321 p. Dissertation (PhD in Business Administration) – Stockholm School of Economics.

CEDERGREN, S. **Performance in product development**: The case of complex products. Västerås, 2011, 251 p. Dissertation (PhD) – School of Innovation, Design and Engineering. Mälardalen University.

BANA E COSTA, C.A; VANSNICK, J-C. **The MACBETH approach**: Basic ideas, software, and an application. In: *Advances in Decision Analysis. Mathematical Modeling: Theory and Applications*. Springer, 1999. P.131-157.

BARALDI, E. User-related complexity dimensions of complex products and systems (cops): a case of implementing an ERP system. **International Journal of Innovation Management**, 13, n.1, 19-45, 2009.

BRADY, T. **Tools, management of innovation and complex product systems**. Report prepared for CENTRIM/SPRU project on Complex Product Systems, EPSRC Technology Management Initiative, CoPS Publication No. 3, Science Policy Research Unit. Brighton: UK, 1995.

BRADY, T.; DAVIES, A.; NIGHTINGALE, P. Dealing with uncertainty in complex projects: Revisiting Klein and Meckling. **International Journal of Managing Projects in Business**, v.5, n.4, p. 718-736, 2012.

BRADY, T.; HOBDA, H. Projects and innovation: Innovation and projects. In: **The Oxford Handbook of Project Management**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

BRANS, J.P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). **Management Science**, v.31, p. 647–656, 1985.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Indicadores de programas. Guia metodológico**. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010.

BRILHUIS-MEIJER, E.; PIGOSSO, D.C.A.; MCALOONE, T.C. Integrating product and technology development: A proposed reference model for dual innovation. **Procedia CIRP**, v.50, p. 32-36, 2016.

CEDERGREN, S. **Performance in product development**: The case of complex products. Västerås, 2011, 251 p. Dissertation (PhD) – School of Innovation, Design and Engineering. Mälardalen University.

CLAUSING, D. **Total quality development**. p.317-341. New York: ASME Press, 1994.

COHEN, L.Y.; KAMIENSKI, P.W.; ESPINO, R.L. Gate system focuses industrial basic research. **Research Technology Management**, v.41, p. 34-37, 1998.

COOPER, R. G. Managing Technology Development Projects. **Research Technology Management**, v.49, n.6, p.23-31, 2006.

COOPER, R.G. Stage-gate systems: a new tool for managing new products. **Business Horizons**, v.33, n.3, p. 44-54, 1990.

COOPER, R.G. The 5-th generation stage-gate idea-to-launch process. **IEEE Engineering Management Review**, v.50, n.4, p. 43-55, 2022.

COSTA, H.C.A; CARVALHO, B.C. Pesquisa e desenvolvimento de radares de defesa antiaérea no Exército Brasileiro. **Informativo Antiaéreo**, v. 12, n.12, p. 65-78, 2020.

COSTA, Helder Gomes. **IPÊ 1.0 Guia do Usuário**. Grupo de Pesquisas em Sistemas de Apoio à Decisão. Niterói: UFF, 2004.

CENTRO TECNOLÓGICO DO EXÉRCITO. CTEX. **Projeto Radar SABER M200 Multimissão**. Disponível em: <http://www.ctex.eb.mil.br/projetos-em-andamento/82-radar-saber-m200>. Acesso em: 08 mai. 2023.

DAVIES, A.; BRADY, T. Organisational capabilities and learning in complex product systems: Towards repeatable solutions. **Research Policy**, v.29, n.7-8, p.931-953, 2000.

DAVIES, A. Government policy and innovation in complex systems industries: the cellular mobile telephone system industry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY POLICY AND INNOVATION. 1997. **Proceedings...**Macau: CTPI, 02 -04 julho, 1997.

DAVIES, A.; BRADY, T.; PRENCIPE, A.; HOBDAI, M. Innovation in complex products and systems: Implications for project-based organizing. **Project-based Organizing and Strategic Management**, v.28, p. 3-26, 2011.

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

DU, B.; GUO, S.; HUANG, X.; LI, Y., GUO, J. A Pareto supplier selection algorithm for minimum the life cycle cost of complex product system. **Expert systems with applications**, v.42, n.9, p. 4253-4264, 2015.

DZIALLAS, M.; BLIND, K. Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis. **Technovation**, v. 80–81, p. 3-29, 2019.

ETHIRAJ, S.K. Allocation of inventive effort in complex product systems. **Strategic Management Journal**, v.28, n.6, p. 563-584, 2007.

FARRELL, R.; SIMPSON, T. W. Product platform design to improve commonality in custom products. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v.14, n.6, 541-556, 2003.

FETTKE, P.; LOOS, P. Classification of reference models: a methodology and its application. **Information Systems and e-Business Management**, v.1, p.35–53, 2003.

FERREIRA, F.V.; FERNANDES, L.L.; MADEU, F.C.B.; ROSA, G.F.; ARAÚJO, L.O.; ZUMPICHIATTI, L.M.; MARINHO, B.C.; ALVES, E.O. **Criação da Agência de Inovação do Exército Brasileiro: Breve Histórico, Seus Processos e Perspectivas**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v.34, n.01, p. 60-68, 2017.

FISHBURN, P.C. **The foundations of expected utility**. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1982.

FRANÇA Jr., J.A.; GALDINO, J. F. Gestão de sistemas de material de emprego militar: o papel dos níveis de prontidão tecnológica. **Coleção Meira Mattos: revista das ciências militares**, v.13, n.47, p. 155-176, 2019.

GALDINO, J.F. **Reflexos da Era do Conhecimento e da 4ª Revolução Industrial na Defesa**. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, v.8, n. 02, p. 7 – 27, 2018.

GHOLZ, E. Systems integration in the US defence industry: who does it and why is it important?. **The Business of Systems Integration**, p. 279-306, 2003.

GIL, N. On the value of project safeguards: Embedding real options in complex products and systems. **Research Policy**, v.36, n.7, p. 980-999, 2007.

GIRARDI, R.; FRANÇA, A.; GALDINO, J. A customização de processos de avaliação de prontidão tecnológica baseados na escala TRL: desenvolvimento de uma metodologia para o Exército Brasileiro. **Coleção Meira Mattos**, v. 16, n. 57, p. 491-527, 2022.

GIRARDI, R.; SANTOS, M. Estudo Bibliométrico sobre Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) Aplicados na Gestão de Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa (GCVSD). In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. 2022. **Proceedings... XIX SEGeT**, 06 - 07 dezembro 2022.

GÖRGENS, M.; KUSEK, J.Z. **Making monitoring and evaluation systems work**: A capacity development toolkit. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank, 2009.

GRANT, R. M. Toward a knowledge-based theory of the firm. **Strategic Management Journal**, v. 17, n.2, p. 109-122, 1996.

HOBDAY, M. Product complexity, innovation and industrial organization. **Research Policy**, v.26, n.6, p. 689-710, 1998.

HOBDAY, M. The project-based organization: an ideal form for managing complex products and systems? **Research Policy**, v.29, n. 7-8, p. 871-893, 2000.

HOBDAY, M.; BRADY, T. A fast method for analysing and improving complex software processes. **R&D Management**, v.30, n.1, p. 1-22, 2000.

HOBDAY, M.; BRADY, T. Rational versus soft management in complex software: lessons from flight simulation. **International Journal of Innovation Management**, v.02, n.1, p. 1-43, 1998.

HOBDAY, M.; RUSH, H. Technology management in complex product systems (CoPS) - ten questions answered. **International Journal of Technology Management**, v.17, n.6, p. 618-638, 1999.

HOBDAY, M.; RUSH, H.; TIDD, J. Innovation in complex products and system. **Research Policy**, v.29, n.7-8, p. 793-804, 2000.

HÖGMAN, U.; JOHANNESSON, H.L. Applying stage-gate processes to technology development - Experience from six hardware-oriented companies. **Journal of Engineering and Technology Management**, v.30, n.3, p. 264-287, 2013.

HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple attribute decision making: Methods and applications**. New York: Springer-Verlag, 1981.

JESUS, G.T.; CHAGAS Jr., M.F. Information items to improve integration readiness levels evaluation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.92, n.3, p. 01-14, 2020.

JESUS, G.T.; CHAGAS Jr., M.F. The roles of modeling and simulation in assessing spacecraft integration readiness levels. In: 15TH ANNUAL IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE. 2021. **Proceedings...** SysCon, 15th April – 15th May 2021.

JING, Z.; ZENGHUA, L.; XUEJUN, Z. Application of stage-gate system in the management of defense scientific research projects. In: 11th INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-EDUCATION. 2020. **Proceedings...**Osaka: IC4E, 10th – 12 January 2020.

JOHANSSON, C. Managing uncertainty and ambiguity in gates: Decision making in aerospace product development. **International Journal of Innovation and Technology Management**, v.11, n.2, 2014.

JOHANSSON, S.; NORSTRÖM, C.; WALL, A. PMEX - A performance measurement evaluation matrix for the development of complex products and systems. In: PORTLAND INTERNATIONAL CENTER FOR MANAGEMENT OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY. 2008. **Proceedings...** Cape Town: PICMET, 27 – 31st July 2008.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives:** Preferences and value trade offs. New York: John Wiley & Sons, 1976.

KLAR, D.; ROMAN, V. **Managing technology development in the process industry.** Luleå, 2015, 68 p. Thesis (M.Sc) - Department of Business, Administration, Technology and Social Sciences, Luleå University of Technology.

KUSEK, J.Z.; RIST, R.C. **Ten steps to a results-based monitoring and evaluation system:** A handbook for development practitioners. Washington, DC: The World Bank, 2004.

MAGNAYE, R.; SAUSER, B.; PATANAKUL,P.; NOWICKI, D.; RANDALL, W. 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.

MAGNUSSON, T.; JOHANSSON, G. Managing internal technology transfer in complex product development. **European Journal of Innovation Management**, v. 11, p.349-365, 2008.

MANKINS, J. **Technology readiness levels:** A white paper. Washington, DC: 1995.

MANKINS, J.C. Technology readiness and risk assessments: A new approach. **Acta Astronautica**, v.65, n. 9-10, p. 1208-1215, 2009a.

MANKINS. J.C. Technology readiness assessments: A retrospective. **Acta Astronautica**, v.65, n.9-10, p. 1216-1223, 2009b.

MILLER, R.; HOBDA, M.; LEROUX-DEMERS, T.; OLLEROS, X. Innovation in complex systems industries: The case of flight simulation. **Industrial and Corporate Change**, v.4, n.2, p. 363–400, 1995.

NOBELIUS, D. **Managing R&D processes**: focusing on technology development, product development, and their interplay. Göteborg, 2002, 104 p. Dissertation (PhD) – School of Technology Management and Economics. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

ODACIOGLU, E.C.; ZHANG, L.; HOLLINGSWORTH, P. **Collaborative complex products and systems innovation**: a systematic literature review and bibliometric analysis. 2021. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=4111590>>. Acesso em: 08 mai 2023.

O'DONNELL, F. J. & DUFFY, A. H. B. 2002b. Modelling design development performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, 1198-1221, 2002.

OKHUYSEN, G. A.; BECHKY, B. A. Coordination in organizations: an integrative perspective. **The Academy of Management Annals**, v. 3, n. 1, p. 463-502, 2009.

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

PERRY, J.L.; HOWARD, D. Spacecraft life support system process technology maturation using stage gate methodology. In: 37TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SYSTEMS. 2007. **Proceedings...** Chicago: ICES, 09 – 12 July 2007.

PRADO FILHO, H. V. **A transformação do Exército Brasileiro e o novo sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do exército**: contribuições para a soberania nacional. Rio de Janeiro, 2014, 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Altos Estudos de Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra.

PREIS, E.P. **Investigating the stage-gate model as a research and development implementation process in modernising the mining industry**. Pretoria, 2016, 141 p. Thesis (PhD) – Departament of Mining Engineering, University of Pretoria.

RANJBAR, M.S.; PARK, T.-Y.; KIAMEH, M. What happened to complex product systems literature over the last two decades: progresses so far and path ahead. **Technology Analysis and Strategic Management**, v.30, n.8, p. 948-966, 2018.

REN, Y-T.; YEO, K-T. Research challenges on complex product systems (CoPS) innovation. **Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers**, v.23, n.6, p. 519-529, 2006.

RICH, D.; BLANCHARD, M.; GIGLIA, S.; STRAEFFER, G.; CAZEAULT, A.; CLEVELAND, S. *et al.* Engineering practices during manufacturing process development for new products. **Pharmaceutical Engineering**, v.33, n.2, p. 1-33, 2013.

ROY, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. **Theory and Decision**, v.31, p. 49–73, 1991.

RUSH, H.; HANSEN, K. L. Hotspots in complex product systems: emerging issues in innovation management. **Technovation**, v.18, n.8-9, p. 555-561, 1998.

SAATY, T. Fundamentals of the analytic network process-dependence and feedback in decision-making with a single network. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v.13, p.129–157, 2004.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. 2nd. ed. New York: International Series in Operations Research & Management Science, 2012.

SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 1, p. 9–26, 1990.

SCHMICKL, C.; KIESER, A. How much do specialists have to learn from each other when they jointly develop radical product innovations? **Research Policy**, v. 37, n. 3, p. 473-491, 2008.

SOSA, M. E.; EPPINGER, S.D.; ROWLES, C.M. The misalignment of product architecture and organizational structure in complex product development. **Management Science**, v.50, n.12, p. 1615-1761, 2004.

SZAJNFARBER, Z; WEIGEL, A.L. Patterns of innovation at Nasa: Explaining switchbacks in maturity. In: THE 62ND INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS. 2011. **Proceedings...** Cape Town: IAC, 03 – 07th October 2011.

U.S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. NASA. **Implementing a knowledge- based acquisition framework could lead to better investment decisions and project outcomes**, Report to Congressional Requesters. GAO-06-218, 2005.

U.S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. GAO. **Technology readiness assessment guide: Best practices for evaluating the readiness of technology for use in acquisition programs and projects**. GAO-20-48G, 2020.

UTTERBACK, J.M. **Mastering the dynamics of innovation**. 2nd ed. Brighton, Massachusetts: Harvard Business School Press, 1996.

VAN LUYKEN, M.B.B.M. **An integrated maturity model for the development of complex systems**. Eindhoven, 2019, 77 p. Thesis (M.Sc) – Department of Industrial Engineering & Innovation Sciences. Eindhoven University of Technology.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em Administração**. 6ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2015.

WHEELWRIGHT, S.C.; CLARK, K.B. **Revolutionizing product development: Quantum leaps in speed, efficiency, and quality**. New York: The Free Press, 1992.

XAVIER Jr., A.; VELOSO, A.; SOUZA, J; CÁS, P.K.; CAPPELLETTI, C. AEB Online Calculator for Assessing Technology Maturity: IMATEC. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v.12, article ID e1320, 2020.

ZHANG, L.; BRYDE, D.; MEEHAN, J. Make-to-concept: A "solution-based" approach to complex new product development. **International Journal of Innovation Management**, v.15, n.2, p. 279-301, 2013.

Apêndice A1

Escala *Technology Readiness Level* (TRL) adaptada para uso pelo Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx)

A escala TRL, adaptada para as necessidades do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx), foi desenvolvida por Girardi *et al.* (2022). Como esta escala foi adotada na fase de modelagem da pesquisa (capítulo 3) e, posteriormente, na fase aplicada (capítulo 4), apresentam-se neste apêndice A1 as questões associadas a cada nível da escala TRL apresentada no quadro 2.6 desta dissertação.

TRL 1 - Princípios básicos observados e relatados/ modelagem teórica	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	Pesquisa básica e aplicada. Não houve testes laboratoriais das funções críticas do Objeto.
Foram realizados estudos versando sobre os princípios científicos que regem o comportamento do Objeto?	Sim, são estudos que versam sobre princípios científicos básicos, como formulação de leis, hipóteses, propriedades básicas, princípios teóricos ou modelos, sem necessariamente mencionar aplicações práticas.
Sobre a autoria dos estudos existentes	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e documentados (mas não publicados) por membros da organização (Insira as informações dos estudos mais relevantes, como título, autores, etc.).
	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e publicados por membros da organização (Insira as referências das publicações mais relevantes).
	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e publicado por terceiros (Insira ao lado as referências das publicações mais relevantes).
Potenciais aplicações práticas podem ser identificadas nesses estudos, mesmo que não sejam mencionadas?	Sim (indique nos comentários pelo menos 3 aplicações práticas para os estudos teóricos existentes).
	Não, nenhuma aplicação prática é vislumbrada para os estudos técnicos existentes.

TRL 2 - Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulada	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	Pesquisa básica e aplicada. Não houve testes laboratoriais das funções críticas do Objeto.
Foram realizados estudos versando sobre os princípios científicos que regem o comportamento do Objeto?	Sim, são estudos que versam sobre os princípios científicos básicos, mas que também analisam, por meio de simulação ou experimentação, funcionalidades e seus desempenhos para aplicações práticas.
Sobre a autoria dos estudos e registros de propriedade intelectual existente	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e documentados (mas não publicados) por membros da organização (Insira as informações dos estudos mais relevantes, como título, autores, etc.).
	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e publicados por membros da organização (Insira as referências das publicações mais relevantes).
	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e publicado por terceiros (Insira ao lado as referências das publicações mais relevantes).
	Registros de Propriedade Intelectual do Objeto foram realizados por membros da organização (Insira informações sobre o Registro da Proteção).
	Registros de Propriedade Intelectual do Objeto foram concedidos por terceiros (Insira informações sobre o Registro da Proteção).
	Outros tipos e Origens de estudos ou propriedade intelectual.
Sobre o conteúdo dos estudos e/ou registros de propriedade intelectual em comento	Uma ou mais aplicações específicas foram mencionadas para o objeto (Insira ao menos uma aplicação).
	Foram analisadas as principais funções a serem desempenhadas pelo objeto na aplicação considerada (Insira uma ou mais dessas funções).
	Foi realizada análise de desempenho relativo às funções do objeto nas aplicações consideradas (Insira um ou mais parâmetros de desempenho desta função).
	Foram identificados os experimentos necessários para verificar o desempenho previsto (Insira um ou mais experimentos previstos para avaliar o desempenho dessa função).

TRL 3 - Função crítica experimentada e analisada em ambiente laboratorial	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	Pesquisa básica e aplicada. Não houve testes laboratoriais das funções críticas do Objeto.
Foram realizados estudos versando sobre os princípios científicos que regem o comportamento do Objeto?	Sim, são estudos que versam sobre os princípios científicos básicos, mas que também analisam, demonstram e validam, por meio de simulação ou experimentação, funcionalidades e seus desempenho para aplicações práticas.
Sobre a autoria dos estudos e registros de propriedade intelectual existente	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e documentados (mas não publicados) por membros da organização (Insira as informações dos estudos mais relevantes, como título, autores, etc.).
	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e publicados por membros da organização (Insira as referências das publicações mais relevantes).
	Estudo(s) sobre o Objeto foram realizados e publicado por terceiros (Insira ao lado as referências das publicações mais relevantes).
	Registros de Propriedade Intelectual do objeto foram realizados por membros da organização (Insira informações sobre o Registro da Proteção).
	Registros de Propriedade Intelectual do Objeto foram concedidos por terceiros (Insira informações sobre o Registro da Proteção).
	Outros tipos e Origens de estudos ou propriedade intelectual
Sobre o conteúdo dos estudos e/ou registros de propriedade intelectual	Uma ou mais aplicações específicas foram mencionadas para o objeto (Insira ao menos uma aplicação).
	Foram analisadas as principais funções a serem desempenhadas pelo objeto nas aplicações consideradas (Insira uma ou mais dessas funções).
	Foram realizadas simulações ou experimentos para analisar o desempenho previsto das principais funções (Insira um ou mais experimentos para analisar o desempenho dessa função).
	Foi realizada análise de desempenho relativa às principais funções, utilizando-se resultados de experimentos ou simulações (Insira um ou mais parâmetro de desempenho dessa função).
	Foram identificados outros componentes ou subsistemas que podem realizar interface com o objeto analisado (Insira um ou mais desses componentes ou subsistemas).
	Análises de desempenho foram realizadas, considerando-se suas interfaces com outros componentes e subsistemas (Insira um ou mais parâmetros de desempenho relacionados a outros componentes e subsistemas).

TRL 4 - Prova de conceito validada em ambiente laboratorial	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	Em fase de teste das Funções Críticas do Objeto por meio de simulação ou validação de uma Prova de Conceito, Modelo de Engenharia, ou Demonstrador de Tecnologia. O Objeto NÃO foi integrado ao Produto Alvo.
O Objeto já começou a ser desenvolvido e testado?	Sim, foi desenvolvido uma Prova de Conceito do Objeto, e suas Funções Críticas testadas e validadas em Ambiente Laboratorial.
Sobre a Prova de Conceito e sua P&D	Foram especificadas as Funções Críticas da Prova de Conceito a serem testadas em Ambiente Laboratorial (Referencie o documento que descreve as Funções Críticas em Ambiente Laboratorial).
	Foram especificados os requisitos de desempenho da Funções Críticas (Referencie o documento que descreve os requisitos de desempenho).
	Foram especificados os requisitos de interface do Objeto com outros componentes e/ou subsistemas (Referencie o documento que descreve os requisitos de interface).
	Foi definido o Ambiente Laboratorial, que possibilita a verificação dos requisitos de desempenho e interface das Funções Críticas da Prova de Conceito (Referencie o documento que descreve o Ambiente Laboratorial).
	A Prova de Conceito foi testada em Ambiente Laboratorial e os requisitos de desempenho e interface foram validados (Referencie o documento que valida os testes realizados).
	A prova de Conceito foi desenvolvida com base em requisitos de usuário (Referencie aqui o(s) requisito(s) de usuário que direcionaram a P&D da Prova de Conceito).
TRL 5 - Modelo de engenharia validado em ambiente relevante	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	Em fase de teste das Funções Críticas do Objeto por meio de simulação ou validação de uma Prova de Conceito, Modelo de Engenharia, ou Demonstrador de Tecnologia. O Objeto NÃO foi integrado ao Produto Alvo.
O Objeto já começou a ser desenvolvido e testado?	Sim, foi desenvolvido um Modelo de Engenharia do Objeto, e suas Funções Críticas foram testadas e validadas em Ambiente Relevante.
Sobre o Modelo de Engenharia e sua P&D	Foram especificadas as Funções Críticas do Modelo de Engenharia a serem testadas em Ambiente Relevante (Referencie o documento que descreve as Funções Críticas de Ambiente Relevante).
	Foram especificados os requisitos de desempenho da Funções Críticas (Referencie o documento que descreve os requisitos de desempenho).
	Foram especificados os requisitos de interface do Objeto com outros componentes e/ou subsistemas (Referencie o documento que descreve os requisitos de interface).
	Foi definido o Ambiente Relevante, que possibilita a verificação dos requisitos de desempenho e interface das Funções Críticas do Modelo de Engenharia (Referencie o documento que descreve o Ambiente Relevante).
	O Modelo de Engenharia foi testado em Ambiente Relevante e os requisitos de desempenho e interface foram validados (Referencie o documento que valida os testes realizados).
	O Modelo de Engenharia foi desenvolvido com base em requisitos de usuário (Referencie aqui o(s) requisito(s) de usuário que direcionaram a P&D do Modelo de Engenharia).

TRL 6 - Demonstrador de tecnologia validado em ambiente relevante	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	Em fase de teste das Funções Críticas do Objeto por meio de simulação ou validação de uma Prova de Conceito, Modelo de Engenharia, ou Demonstrador de Tecnologia. O Objeto NÃO foi integrado ao Produto Alvo.
O Objeto já começou a ser desenvolvido e testado?	Sim, foi desenvolvido um Demonstrador de Tecnologia do Objeto, e suas Funções Críticas (incluindo parâmetros de desempenho, dimensões e peso) foram testadas e validadas em Ambiente Relevante e de acordo com os requisitos do usuário.
Sobre o Demonstrador de Tecnologia e sua P&D	Foram especificadas as Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia a serem testadas em Ambiente Relevante, incluindo as Funções relacionadas a dimensões e peso (Referencie o documento que descreve essas Funções Críticas).
	Foram especificados os requisitos de desempenho das Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia (Referencie o documento que descreve os requisitos de desempenho).
	Foram especificados os requisitos de interface do Objeto com outros componentes e/ou subsistemas (Referencie o documento que descreve os requisitos de interface).
	Foi definido o Ambiente Relevante, que possibilita a verificação dos requisitos de desempenho e interface das Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia (Referencie o documento que descreve o Ambiente Relevante).
	O Demonstrador de Tecnologia foi desenvolvido com base em requisitos de usuário (Referencie aqui o(s) requisito(s) de usuário que direcionaram a P&D do Demonstrador de Tecnologia).
	As Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia estão mapeadas em requisitos de usuário, de forma que os requisitos de desempenho, interface, dimensões e peso correspondam aos requisitos de um produto alvo considerado.
	O Demonstrador de Tecnologia foi testado em Ambiente Relevante e seus requisitos de desempenho, interface, dimensões e peso validados (Referencie o documento que valida os testes realizados).

TRL 7 - Demonstrador de tecnologia integrado ao produto alvo validado em ambiente operacional	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	O Objeto foi integrado ao Produto Alvo.
O Objeto já foi integrado ao Produto Alvo, sendo desenvolvido e testado um Protótipo?	Sim, um Demonstrador de Tecnologia foi integrado em um Produto Alvo e suas Funções Críticas testadas e validadas em Ambiente Operacional.
Sobre o Demonstrador de Tecnologia integrado ao Produto Alvo e as atividades de P&D	Foram especificadas as Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia no Protótipo, a serem testadas em Ambiente Operacional (Referencie o documento que descreve essas Funções Críticas).
	Foram especificados os requisitos de desempenho da Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia no Protótipo (Referencie o documento que descreve os requisitos de desempenho).
	Foram especificados os requisitos de interface do Objeto com outros componentes e/ou subsistemas (Referencie o documento que descreve os requisitos de interface).
	Foi definido o Ambiente Operacional, que possibilita a realização dos testes das Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia no Protótipo (Referencie o documento que descreve o Ambiente Operacional).
	O Protótipo que contém o Demonstrador de Tecnologia foi desenvolvido com base em requisitos de usuário (Referencie aqui o(s) requisito(s) de usuário que direcionaram as atividades de P&D do Modelo de Engenharia).
	As Funções Críticas do Demonstrador de Tecnologia no Protótipo estão mapeadas em requisitos de usuário (Referencie o documento que mapeia os requisitos de usuário nas Funções Críticas).
	O Protótipo foi testado em Ambiente Operacional e os requisitos de usuário mapeados nas Funções Críticas foram validados (Referencie o documento que valida os testes realizados).
TRL 8 - Protótipo validado em ambiente operacional	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	O Objeto foi integrado ao Produto Alvo.
O Objeto já foi integrado ao Produto Alvo, sendo desenvolvido e testado um Protótipo?	Sim, um Protótipo, que contém o Objeto, foi desenvolvido e validado em Ambiente Operacional, com seus requisitos de usuário validados. Esse nível representa o final do desenvolvimento do Produto.
Sobre os testes e validação do Protótipo	O Protótipo, que contém o objeto, foi desenvolvido com base em requisitos do usuário (Referencie aqui o(s) requisito(s) de usuário aos quais o Protótipo deve cumprir).
	Foi definido o Ambiente Operacional, que possibilita a realização dos testes e avaliação dos requisitos de usuário (Referencie o documento que descreve o Ambiente Operacional).
	O Protótipo foi testado em Ambiente Operacional, e os requisitos de usuário foram validados (Referencie o documento que valida os testes realizados).

TRL 9 - Protótipo avaliado por órgão competente (Avaliação de Protótipo)	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	O Produto Alvo foi homologado.
Sobre a avaliação do Protótipo	O Protótipo foi desenvolvido com base em requisitos do usuário (Referencie aqui o(s) requisito(s) de usuário aos quais o Protótipo deve cumprir).
	O Protótipo foi testado em Ambiente Operacional, e todos os requisitos de usuário foram validados (Referencie o documento que o relatório de testes).
	Foi definido o Ambiente Operacional, que possibilita a realização dos testes e avaliação dos requisitos de usuário (Referencie o documento que descreve o Ambiente Operacional).
	O Protótipo foi avaliado e homologado por órgãos competentes (Referencie os documento de avaliação e homologação e seus respectivos órgãos competentes).
TRL 10 - Repetibilidade da produção avaliada (Avaliação de Lote Piloto)	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	O Lote Piloto foi homologado.
Sobre a avaliação de Lote Piloto	Foi produzido um Lote Piloto para ser avaliado (Referencie aqui o documento que indica a produção do Lote Piloto).
	O Lote Piloto foi testado, por órgão competente, validando com sucesso todos os requisitos do usuário (Referencie aqui o Relatório de Avaliação do Lote Piloto e o respectivo órgão competente que o avaliou).
	O Produto foi distribuído ao usuário e já se encontra em utilização.
TRL 11 - Produto em operação / Feedback de usuário processado	
Em que estágio de desenvolvimento tecnológico se encontra o Objeto?	O Produto Alvo está em uso.
Sobre a experimentação do usuário e aprimoramento do Produto Alvo	O Produto já foi experimentado nas situações as quais ele foi projetado (Referencie aqui os documentos referentes a experimentação).
	Foram coletadas e documentadas as informações de uso, sugerindo, ou não, a necessidade de aprimoramento do Produto, como falhas existentes, correções necessárias, sugestões de upgrade ou novas funcionalidades para as suas próximas gerações (Referencie aqui o documento que compila as informações de <i>feedback</i> do usuário).
	Foi desenvolvida uma nova versão atualizada do Produto, com base nas informações de uso (Referencie aqui o documento que descreve a nova versão do Produto).

Referência

GIRARDI, R.; FRANÇA, A.; GALDINO, J. A customização de processos de avaliação de prontidão tecnológica baseados na escala TRL: desenvolvimento de uma metodologia para o Exército Brasileiro. **Coleção Meira Mattos**, v. 16, n. 57, p. 491-527, 2022.

Apêndice A2

Descrição dos métodos multicritério de apoio à decisão adotados na pesquisa

Este apêndice descreve os métodos multicritério de apoio à decisão adotados na presente pesquisa, a saber: (i) método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), conforme proposto por Saaty (1990), e o método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) (Hwang e Yoon, 1981).

O método AHP compreende quatro etapas, de acordo com a descrição de Saaty (1990):

- Organização da estrutura hierárquica, através da identificação do foco principal, dos critérios e subcritérios (quando existirem) e das alternativas, refletindo as relações existentes entre eles;
- Aquisição dos dados e coleta de julgamentos de valor, através da comparação dos elementos dois a dois e estabelecimento das matrizes de comparações;
- Análise das matrizes de comparações geradas na fase anterior, que indicarão a prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal;
- Análise dos indicadores de desempenho derivados, como índices de consistência por exemplo.

No AHP, os elementos de uma hierarquia para a resolução de problemas de decisão são o foco principal (ou meta), o conjunto de alternativas viáveis e o conjunto de critérios, de acordo com o ilustrado na figura A2.1.

O foco principal é o objetivo global, o que a resolução do problema trará. As alternativas viáveis são as possibilidades de escolha dentro do problema para que a decisão seja tomada. Por fim, os critérios são as características ou propriedades a partir das quais as alternativas devem ser avaliadas.

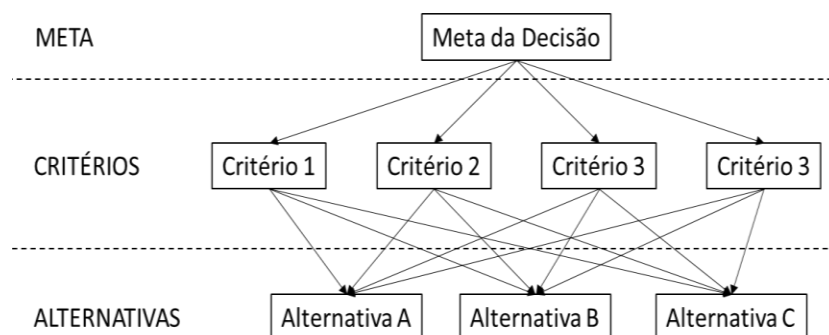


Figura A2.1 - Exemplo de estrutura hierárquica de problemas de decisão (em três níveis)

Fonte: Saaty, 1990.

Após a hierarquização, o método aponta para os julgamentos de valor, onde o avaliador deve comparar os elementos dois a dois à luz de um determinado critério. O julgamento é então a representação numérica dessa relação e o grupo de todos os julgamentos, considerando a comparação de todos os elementos em relação a um critério específico, pode ser representado através de uma matriz quadrada (Saaty, 1990).

Para o estabelecimento do processo de julgamento, Saaty (1990) definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor, escala essa que capta a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas. O quadro A2.1, a seguir, apresenta essa escala.

Quadro A2.1 – Escala de Saaty para as comparações pareadas

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação ao outro.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um elemento é muito fortemente favorecido em relação ao outro.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um elemento em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre os julgamentos.

Fonte: Saaty, 1990.

O julgamento consiste no reflexo de duas perguntas: qual dos dois elementos é o mais importante, à luz do objetivo pretendido, e com qual intensidade ele é mais importante, utilizando-se a escala de 1 a 9 apresentada no quadro A2.1.

Para o elemento mais importante, é utilizado um valor inteiro, enquanto que o menos importante recebe o inverso dessa unidade, como ilustrado no exemplo didático da figura A2.2.

Matriz A

	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Figura A2.2 - Exemplo de matriz de julgamentos para o método AHP

Fonte: Saaty, 1990.

As letras A, B, C e D representam os elementos a serem comparados dois a dois. A diagonal da matriz recebe sempre 1 pois é a comparação do elemento com ele mesmo. Para o preenchimento dos outros campos, são feitos os julgamentos para determinar a intensidade de importância, utilizando a escala determinada por Saaty. Para as comparações inversas, ou seja, o que está na parte inferior esquerda da matriz, são adicionados os valores recíprocos referentes à cada julgamento, que estão na parte superior direita da mesma.

Com as matrizes recíprocas devidamente estruturadas, obtém-se o vetor de prioridades, ou pesos, a partir do cálculo do autovetor normalizado do máximo autovalor. Existem métodos específicos para o cálculo aproximado desses valores (Saaty, 1991). Tais aproximações foram desenvolvidas por limitações computacionais da época em que o método foi desenvolvido, sendo custoso o cálculo de autovetores e autovalores para matrizes de ordem elevada.

Para fins deste trabalho, será utilizado o valor preciso de ambas as grandezas, que são denotadas matricialmente por:

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (1)$$

Onde:

A é a matriz de julgamentos (quadrada, recíproca e positiva);

w é o autovetor principal, referente aos pesos;

λ_{max} é o autovalor principal de A.

Com as características das matrizes de julgamentos em mãos, através do teorema de Perron-Frobenius, Saaty (1990) afirma que a solução tem um único maior autovalor que corresponde a um autovetor de componentes estritamente positivos. Os teoremas e as provas acerca das características envolvendo as matrizes geradas, a partir da avaliação de especialistas, são apresentados em seu trabalho. Computados os autovalores das respectivas matrizes, é necessário realizar análise da consistência dos julgamentos para avaliar o quão afastado da consistência os julgamentos estão. Utiliza-se uma medida para avaliar a probabilidade dos julgamentos terem sido realizados puramente ao acaso e esta medida é chamada Razão de Consistência (RC). Por exemplo, um $RC = 0,3$ diz que há 30% de chance do especialista responder as perguntas aleatoriamente.

Saaty (1990) apresenta um desenvolvimento simples e intuitivo para compreender a análise de consistência. Vamos supor uma matriz consistente, onde as comparações são baseadas em medidas exatas, isto é, os pesos já são conhecidos, então:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (2)$$

Como o julgamento é perfeito para todas as comparações, tem-se que $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$ para qualquer i, j, k , variando de 1 até n , sendo n a ordem da matriz.

Também vale a afirmativa:

$$a_{ij} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (3)$$

Dessa forma caracteriza-se uma matriz consistente de comparações paritárias.

Considerando $x = (x_1, \dots, x_n)$ e $y = (y_1, \dots, y_n)$ pode-se escrever em notação matricial $A \cdot x = y$, onde A é a matriz de julgamentos:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Algebricamente essa operação pode ser representada por:

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot x_i = y_i \quad (5)$$

para $i = 1, \dots, n$

Como $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$, obtém-se:

$$a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = 1 \quad (6)$$

para $i, j = 1, \dots, n$

Consequentemente:

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot w_j \frac{1}{w_i} = n \quad (7)$$

para $i = 1, \dots, n$

ou

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot w_j = n w_i \quad (8)$$

para $i = 1, \dots, n$

Que é equivalente a equação matricial:

$$Aw = nw \quad (9)$$

Em álgebra linear, esta última equação expressa o fato de que w é autovetor de A com autovalor n .

Na prática a_{ij} são os pesos atribuídos pelo julgamento dos especialistas, baseado na escala fundamental, e de certa forma subjetivos. Assim os valores a_{ij} irão se afastar do “ideal” w_i/w_j , fazendo com que a equação $Aw = nw$ não seja mais válida.

Se $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ são os números que satisfazem a equação $Aw = \lambda w$, então λ é autovalor de A e, se $a_{ij} = 1$ para todo i , então:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n \quad (10)$$

Assim, se $Aw = nw$ é válida, somente um dos autovalores é diferente de zero e valerá n , sendo o maior autovalor de A .

Caso os elementos de uma matriz recíproca positiva sofrerem pequenas variações, seus respectivos autovalores também variarão em pequenas quantidades.

Utilizando os resultados apresentados juntamente com o axioma acima, pode-se dizer que caso a diagonal principal de uma matriz possuir os elementos iguais a 1 e for consistente, pequenas variações nos elementos a_{ij} farão com que o autovalor máximo λ_{max} permaneça próximo de n e os outros autovalores próximos de zero. Sendo $\lambda_{max} \geq n$.

Portanto, para calcular o autovetor de prioridades de uma matriz de comparações paritárias A , deve-se encontrar o vetor que satisfaça a equação

$$Aw = \lambda_{max} w \quad (11)$$

O valor de interesse para o desenvolvimento da metodologia é o autovetor normalizado, de forma que a soma de w seja igual a 1. Para isso cada elemento w_i é dividido pelo seu somatório.

Uma medida de consistência, chamada Índice de Consistência (IC), é utilizada para calcular o desvio de λ_{max} em relação à n , uma vez que a utilização da escala para os julgamentos geram variações em a_{ij} , alterando λ_{max} .

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (12)$$

É comum as avaliações realizadas pelos especialistas gerarem inconsistências, pois faz parte do julgamento humano, mas deseja-se que sejam as menores possíveis. Para verificar a coerência utiliza-se, como citado anteriormente, a Razão de Consistência, tendo como definição:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (13)$$

IR (Índice Randômico) é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente, baseada na escala de 1 a 9, com recíprocas forçadas (Saaty, 1990). Este valor é tabelado e varia de acordo com a ordem da matriz. Na tabela A2.1 é apresentado o valor de IR para matrizes de ordem 1 até 10.

Tabela A2.1 - Índice randômico

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas, 2012.

A avaliação final da coerência do julgamento se dá ao comparar o valor de RC. Para o presente desenvolvimento faz-se as seguintes considerações:

- a) $RC \leq 0,1$ consiste em um julgamento coerente, premissa básica do método em relação a análise de coerência, proposta inicialmente para julgar uma avaliação como satisfatória;
- b) $0,1 < RC < 0,2$ = Julgamento questionável, considerado para que especialista reveja seus julgamentos da respectiva etapa, analisando a matriz construída e busque melhorar alguma(s) comparação(ões) que tenha(m) sido inconsistente(s). Porém não é obrigatório que se altere algum julgamento;
- c) $RC \geq 0,2$ = Julgamento incoerente, indica que as comparações pareadas daquela etapa geraram um alto índice de inconsistência e o especialista é obrigado a refazer seus julgamentos.

Uma vez alcançada a consistência no julgamento, são calculados os vetores de prioridades, ou seja, os pesos relativos de cada elemento do problema. Este cálculo é realizado através da multiplicação das matrizes de prioridades. Em outras palavras, para cada alternativa, o cálculo consiste na soma ponderada da importância relativa de cada atributo pelo nível de preferência de determinada alternativa em relação ao respectivo critério (Souza, 2013). No AHP cada alternativa receberá uma pontuação através de uma função de valor aditiva. As alternativas com maior valor serão as preferíveis (Passos, 2010). Formalizando, a função de valor para cada alternativa será:

$$F(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(a) \quad (14)$$

Onde:

$F(a)$ é o valor final de alternativa a ;

w_j é o peso do j -ésimo critério;

v_j é o desempenho da alternativa em relação ao j -ésimo critério.

Descreve-se a seguir o método TOPSIS, conforme proposto por Hwang e Yoon, (1981)

Basicamente, a técnica compreende as seguintes etapas:

- Construção da matriz do problema ou matriz de decisão, que traz as alternativas e critérios selecionados juntamente com as notas e avaliações;
- Cálculo da matriz normalizada, utilizando normalização linear ou por vetor;
- Cálculo da matriz com os respectivos pesos de cada critério, definidos previamente por um ou mais decisores;
- Identificação da PIS e da NIS;
- Cálculo das distâncias entre a PIS e cada alternativa e entre a NIS e cada alternativa;
- Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva, que vai definir a hierarquização das alternativas estudadas.

A matriz de decisão A composta por alternativas e critérios é apresentada abaixo:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (15)$$

Onde A_1, A_2, \dots, A_m são alternativas viáveis e C_1, C_2, \dots, C_n são critérios; x_{ij} indica o desempenho da alternativa A_i segundo o critério C_j .

O vetor de peso $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ composto pelos pesos individuais para cada critério C_j satisfaz

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1. \quad (16)$$

Os dados da matriz A têm origens distintas, devendo ser normalizada com o objetivo de transformá-la em uma matriz adimensional e com isso proceder a uma comparação entre os vários critérios. Para fins de aplicação nesta pesquisa, a matriz A deve ser normalizada para cada critério C_j , de acordo com a seguinte fórmula:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \text{ com } i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (17)$$

Assim, uma matriz de decisão normalizada A_n representa o desempenho relativo das alternativas e pode ser descrita por:

$$A_n = (p_{ij})_{m \times n}, \text{ com } i = 1, \dots, m, \text{ e } j = 1, \dots, n. \quad (18)$$

O algoritmo para calcular a melhor alternativa segundo a técnica TOPSIS compreende os seguintes passos (Krohling e Souza, 2011):

Passo 1: Cálculo das soluções ideais positivas A^+ (benefícios) e das soluções ideais negativas A^- (custos) da seguinte forma:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+) \quad (19)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-) \quad (20)$$

Onde:

$$p_j^+ = (\max_i p_{ij}, j \in J_1; \min_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (21)$$

$$p_j^- = (\min_i p_{ij}, j \in J_1; \max_i p_{ij}, j \in J_2) \quad (22)$$

Onde j_1 e j_2 representam respectivamente o critério *benefício* e *custo*.

Passo 2: Cálculo das distâncias Euclidianas entre A_i e A^+ (benefícios) e entre A_i e A^- (custos) da seguinte forma:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2} \text{ com } i = 1, \dots, m. \quad (23)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2} \text{ com } i = 1, \dots, m. \quad (24)$$

Passo 3: Cálculo da proximidade relativa ξ_i para cada alternativa A_i em relação à solução ideal positiva A^+ conforme:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}. \quad (25)$$

Referências

- HWANG, C.-L.; YOON, K. **Multiple attribute decision making: Methods and applications** New York: 1981.
- KROHLING, R. A.; SOUZA, D. T. T. M. Dois exemplos da aplicação da técnica TOPSIS para tomada de decisão. **Revista Sistemas de Informação da FSMA**, v. 8, p. 31-35, 2011.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v.1, n.1, p. 83-98, 2008.
- SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Mc - Graw Hill, 1990.
- SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. 2nd. ed. New York: International Series in Operations Research & Management Science, 2012.

Apêndice A3

Definição dos indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novas tecnologias (DTs) de defesa

Portão de decisão 1	
Indicador de desempenho	Definição
IT11 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, que integrará o projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IT12 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Mede o grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, em termos de seu ineditismo, alcance geográfico, impacto nas Capacidades Operativas (CO) do Exército e fortalecimento da Base Industrial da Defesa (BID).
IT13 – Potencial de integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	Avalia em que medida uma nova tecnologia, componente ou subsistema poderá ser integrada a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, que apresente potencial mercadológico (caráter dual).
IT14 – Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico concluída [Score de 0 a 10]	Mede se os princípios básicos foram estabelecidos e a modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico foi concluída, mediante evidências de estudos documentados.
IT15 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 , conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).
Portão de decisão 2	
Indicador de desempenho	Definição
IT21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, que integrará o projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IT22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Mede o grau de impacto potencial de inovação do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, em termos de seu ineditismo, alcance geográfico, impacto nas Capacidades Operativas (CO) do Exército e fortalecimento da Base Industrial da Defesa (BID).
IT23 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]	Mede o potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, que integrará um novo CoPS de defesa.
IT24 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Mede o nível de sinergia do desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente com outros projetos de PD&I de CoPS na organização, mediante participação de membros da equipe de um projeto em outros e compartilhamento de recursos e infraestrutura.
IT25 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 1 a 10]	Avalia em que medida o desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema poderá ser integrado com sucesso a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, que apresente potencial mercadológico (caráter dual).
IT26 – Escopo e plano de ação do projeto de PD&I da nova tecnologia, componente ou subsistema definidos [Score de 0 a 10]	Mede se o escopo e o plano de ação do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema encontram-se bem definidos.
IT27 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 2 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 2 , conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).

Portão de decisão 3	
Indicador de desempenho	Definição
IT31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, que integrará o projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IT32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Mede o grau de impacto potencial de inovação do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, em termos de seu ineditismo, alcance geográfico, impacto nas Capacidades Operativas (CO) do Exército e fortalecimento da Base Industrial da Defesa (BID).
IT33 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	Mede em que medida a organização estimula a criatividade e apoia a geração de ideias vinda de todos seus setores e promove iniciativas de P&D colaborativo com outras instituições/empresas.
IT34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]	Mede o potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, que integrará um novo CoPS de defesa.
IT35 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Mede o grau de sinergia do desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema com outros projetos de PD&I de CoPS na organização, mediante participação de membros da equipe de um projeto em outros e compartilhamento de recursos e infraestrutura.
IT36 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	Mede a probabilidade de sucesso do desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ser integrado a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, que apresente potencial mercadológico (caráter dual).
IT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar [Score de 0 a 10]	Mede a viabilidade técnica, em nível preliminar, do desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, compreendendo a análise de requisitos técnicos necessários para desenvolvê-la e implementá-la; a avaliação da capacidade técnica interna para desenvolvê-la; e o mapeamento dos principais riscos e obstáculos que podem surgir durante seu desenvolvimento e integração a projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.
IT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso [Score de 0 a 10]	Mede a disponibilidade de recursos necessários para realizar com sucesso o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, bem como a capacidade de buscar parcerias ou contratar especialistas externos, caso os recursos se mostrem insuficientes.
IT39 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5, conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).
Portão de decisão 4	
Indicador de desempenho	Definição
IT41 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, que integrará o projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IT42 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Mede o grau de impacto potencial de inovação do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, em termos de seu ineditismo, alcance geográfico, impacto nas Capacidades Operativas (CO) do Exército e fortalecimento da Base Industrial da Defesa (BID).
IT43 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]	Mede em que medida a organização estimula a criatividade e apoia a geração de ideias vinda de todos seus setores e promove iniciativas de P&D colaborativo com outras instituições/empresas.
IT44 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Mede a formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, em termos do número de parcerias estabelecidas; relevância das parcerias estabelecidas em relação aos objetivos do projeto de PD&I; Intensidade da colaboração entre as instituições; e resultados e impactos obtidos por meio das parcerias estabelecidas.

Portão de decisão 4 (cont.)	
Indicador de desempenho	Definição
IT45 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Mede a capacidade de uma ou mais empresas da Base industrial da Defesa (BID) em produzir e entregar a nova tecnologia, componente ou subsistema após a conclusão do projeto de PD&I; a qualidade dos produtos entregues em relação aos requisitos de qualidade estabelecidos; e a eficiência dos processos produtivos, identificando possíveis gargalos, tempos de ciclo, desperdícios e oportunidades de melhoria.
IT46 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]	Mede a capacidade da organização de integrar o desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, que apresente potencial mercadológico (caráter dual).
IT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com leis e regulamentação aplicáveis [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento a requisitos legais aplicáveis ao desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, que integrará um novo CoPS de defesa.
IT48 – Viabilidade técnica comprovada [Score de 0 a 10]	Permite comprovar a viabilidade técnica do desenvolvimento de uma nova tecnologia, componente ou subsistema, mediante a avaliação dos principais riscos técnicos envolvidos no projeto e seus impactos, bem como análise da complexidade da tecnologia, existência de lacunas de conhecimento, dependência de novas descobertas científicas, disponibilidade de recursos técnicos e capacidade de superar os desafios técnicos previstos.
IT49 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6, conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).

Apêndice A4

Definição dos indicadores de desempenho associados aos portões de decisão (PD) de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

Portão de decisão 1	
Indicador de desempenho	Definição
IP11 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IP12 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa após sua implementação, em termos de seu ineditismo, alcance geográfico, impacto nas Capacidades Operativas (CO) do Exército e fortalecimento da Base Industrial da Defesa (BID).
IP13 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Mede o grau de sinergia do desenvolvimento de um novo CoPS de defesa com projetos de PD&I de outros CoPS de defesa na organização, mediante participação de membros da equipe de um projeto em outros e compartilhamento de recursos e infraestrutura.
IP14 – Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa concluída [Score de 0 a 10]	Mede se os princípios básicos foram estabelecidos e a modelagem teórica do novo CoPS de defesa foi concluída, mediante evidências de estudos documentados.
IP15 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 , conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).
Portão de decisão 2	
Indicador de desempenho	Definição
IP21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IP22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa após sua implementação, em termos de seu ineditismo, alcance geográfico, impacto nas Capacidades Operativas (CO) do Exército e fortalecimento da Base Industrial da Defesa (BID).
IP23 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Mede o grau de sinergia do desenvolvimento de um novo CoPS de defesa com projetos de PD&I de outros CoPS de defesa na organização, mediante participação de membros da equipe de um projeto em outros e compartilhamento de recursos e infraestrutura.
IP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede a probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, compreendendo a análise de requisitos técnicos necessários para desenvolvê-lo e implementá-lo; a avaliação da capacidade técnica interna para desenvolvê-lo; e o mapeamento dos principais riscos e obstáculos que podem surgir durante seu desenvolvimento e implementação.
IP25 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 , conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).

Portão de decisão 3	
Indicador de desempenho	Definição
IP31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IP32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa após sua implementação, em termos de seu ineditismo, alcance geográfico, impacto nas Capacidades Operativas (CO) do Exército e fortalecimento da Base Industrial da Defesa (BID).
IP33 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Mede o grau de sinergia do desenvolvimento de um novo CoPS de defesa com projetos de PD&I de outros CoPS na organização, mediante participação de membros da equipe de um projeto em outros e compartilhamento de recursos e infraestrutura.
IP34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Mede o potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I de um novo CoPS, em termos do número de parcerias estabelecidas; relevância das parcerias estabelecidas em relação aos objetivos do projeto de PD&I; intensidade da colaboração entre as instituições; e resultados e impactos obtidos por meio das parcerias estabelecidas.
IP35 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede a capacidade de uma ou mais empresas da Base industrial da Defesa (BID) em produzir e entregar o novo CoPS de defesa, após a conclusão do projeto de PD&I; a qualidade dos produtos entregues em relação aos requisitos de qualidade estabelecidos; e a eficiência dos processos produtivos, identificando possíveis gargalos, tempos de ciclo, desperdícios e oportunidades de melhoria.
IP36 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 , conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).
Portão de decisão 4	
Indicador de desempenho	Definição
IP41 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IP42 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]	Mede o grau de sinergia do desenvolvimento de um novo CoPS de defesa com projetos de PD&I de outros CoPS na organização, mediante participação de membros da equipe de um projeto em outros e compartilhamento de recursos e infraestrutura.
IP43 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Mede o grau de formação de parcerias estabelecidas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, em termos do número de parcerias criadas; relevância das parcerias estabelecidas em relação aos objetivos do projeto de PD&I; Intensidade da colaboração entre as instituições; e resultados e impactos obtidos por meio das parcerias estabelecidas.
IP44 – Capacidade industrial para conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]	Mede a capacidade de uma ou mais empresas da Base industrial da Defesa (BID) em produzir e entregar o novo CoPS de defesa, após a conclusão do projeto de PD&I; a qualidade dos produtos entregues em relação aos requisitos de qualidade estabelecidos; e a eficiência dos processos produtivos, identificando possíveis gargalos, tempos de ciclo, desperdícios e oportunidades de melhoria.
IP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento a necessidades estratégicas de defesa e a diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]	Mede a probabilidade de sucesso do projeto de um novo CoPS de defesa atender a necessidades estratégicas de defesa e a diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx.
IP46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento dos resultados do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa aos requisitos legais aplicáveis.
IP47 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 8 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 8 , conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).

Portão de decisão 5	
Indicador de decisão	Definição
IP51 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de alinhamento do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa à Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação de Defesa e às diretrizes de PD&I do Sistema de Ciência Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro (SCTIEx).
IP52 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]	Mede a capacidade de uma ou mais empresas da Base industrial da Defesa (BID) em produzir e entregar o novo CoPS de defesa, após a conclusão do projeto de PD&I; a qualidade dos produtos entregues em relação aos requisitos de qualidade estabelecidos; e a eficiência dos processos produtivos, identificando possíveis gargalos, tempos de ciclo, desperdícios e oportunidades de melhoria.
IP53 – Atendimento a necessidades estratégicas de defesa e a diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento a necessidades estratégicas de defesa e a diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx, com base nos resultados do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.
IP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento dos resultados do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa aos requisitos legais aplicáveis.
IP55 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 9 [Score de 0 a 10]	Mede o grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 9 , conforme as respostas às questões referentes a este nível (ver questões no apêndice A1).

Apêndice A5

Procedimento para validação dos indicadores de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa

Com o objetivo de validar os indicadores de desempenho propostos para sua futura aplicação pela Agência de Gestão e Inovação Tecnológica (AGITEC) do Exército Brasileiro e por gerentes de projetos de PD&I de CoPS em desenvolvimento no Centro Tecnológico do Exército (CETEx), elaborou-se este procedimento como apoio aos processos de monitoramento e avaliação desses projetos, como previsto na fase aplicada da pesquisa de mestrado em curso no âmbito do Programa PósMQI da PUC-Rio.

Este procedimento refere-se a momentos distintos de análise, conforme as etapas descritas abaixo:

- Etapa 1: Análise dos critérios propostos para validação dos indicadores de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa (quadros 3.3 e 3.4 da dissertação);
- Etapa 2: Atribuição de pesos aos critérios de monitoramento e avaliação (M&A) para validação dos indicadores de desempenho propostos nos quadros 3.3 e 3.4 da dissertação, empregando-se comparações pareadas com base na escala definida por Saaty (1990);
- Etapa 3: Validação dos indicadores de desempenho propostos nos quadros 3.3 e 3.4 desta dissertação, à luz dos critérios de M&A já ponderados na segunda etapa.

1. Análise dos critérios propostos para validação dos indicadores de desempenho de projetos de PD&I de CoPS de defesa

Nesta primeira etapa, busca-se validar a lista de critérios de M&A propostos no quadro 3.5 da dissertação e abaixo (quadro A3.1), com base em documentos de referência nesta área (Görgens e Kusek, 2009; Kusek e Rist, 2004; e Brasil, 2010).

Quadro A3.1 – Critérios a serem adotados para validação dos indicadores de desempenho para avaliar projetos de PD&I de CoPS de defesa

Ref.	Critério	Descrição
C1	Significância	Capacidade de representar, com a maior proximidade possível, a realidade que se deseja medir e avaliar. Um indicador deve ser significativo ao que está sendo medido e manter essa significância ao longo do tempo.
C2	Mensurabilidade	Capacidade de alcance e mensuração quando necessário, na sua versão mais atual, com maior precisão possível e sem ambiguidade.
C3	Confiabilidade das fontes	Indicadores devem ter origem em fontes confiáveis, que utilizem metodologias reconhecidas e transparentes de coleta, processamento e divulgação.
C4	Simplicidade	Facilidade de obtenção, construção, manutenção, comunicação e entendimento pelo público em geral, interno ou externo.
C5	Temporalidade	Refere-se a algumas questões temporais, i.e., o momento em que deve começar a medição; a disponibilidade de obtenção, quando os diferentes resultados começarem a acontecer; e a possibilidade de que, por meio dessas medidas, seja possível realizar um acompanhamento periódico do desempenho do projeto social.

Em caso de haver necessidade de incluir outro(s) critério(s) de M&A ou de excluir um ou mais critérios desta lista, indique sua opinião abaixo:

- () A lista de critérios de M&A atende aos propósitos da avaliação? Se sim, manter a lista proposta no quadro A3.1.
- () Há necessidade de inclusão de um ou mais critérios de M&A? Se sim, indicar neste campo o(s) critério(s) e respectivos descritivos como no quadro A3.1.

.....

- () Há necessidade de exclusão de um ou mais critérios de M&A? Se sim, indicar neste campo quais deverão ser excluídos.

.....

2. Atribuição de pesos aos critérios propostos com uso do método AHP

Nesta segunda etapa, emprega-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), conforme proposto por Saaty e descrito em detalhe no apêndice A2 da dissertação. Para tal, este autor definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor, escala essa que busca captar a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas (Saaty, 1990).

Quadro A3.2 – Escala de Saaty para as comparações pareadas

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois critérios são igualmente importantes para o objetivo da decisão (validação dos indicadores propostos nos quadros 3.3 e 3.4 da dissertação).
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro	Um dos critérios é um pouco mais importante que o outro para o objetivo da decisão (validação dos indicadores propostos).
5	Importância grande ou essencial	Um dos critérios é significativamente mais importante para o objetivo da decisão em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um dos critérios é muito fortemente mais importante para o objetivo da decisão em relação ao outro.
9	Importância absoluta	Um dos critérios tem uma importância absoluta para o objetivo da decisão em relação ao outro.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre os julgamentos.

Para a aplicação do método AHP de Saaty no contexto da AGITEC e do CTEx, criou-se uma tabela a ser preenchida durante a etapa de atribuição de pesos aos critérios de M&A. Para cada linha do quadro A3.3, que contém o par de critérios de M&A, deve ser marcado em primeiro lugar com (x) qual dos dois é o mais importante para o objetivo de decisão (i.e., validação dos indicadores propostos nos quadros 3.3 e 3.4 da dissertação).

Em seguida, deve ser indicado com que intensidade o critério marcado com (x) é mais importante do que o outro para o objetivo da decisão (valores da escala de Saaty).

Quadro A3.3 – Comparação pareada dos critérios de M&A

Comparação pareada		Julgamento sobre a intensidade da importância do critério (escala de 1 a 9)
<input type="checkbox"/> Significância	<input type="checkbox"/> Mensurabilidade	
<input type="checkbox"/> Significância	<input type="checkbox"/> Confiabilidade das fontes	
<input type="checkbox"/> Significância	<input type="checkbox"/> Simplicidade	
<input type="checkbox"/> Significância	<input type="checkbox"/> Temporalidade	
<input type="checkbox"/> Mensurabilidade	<input type="checkbox"/> Confiabilidade das fontes	
<input type="checkbox"/> Mensurabilidade	<input type="checkbox"/> Simplicidade	
<input type="checkbox"/> Mensurabilidade	<input type="checkbox"/> Temporalidade	
<input type="checkbox"/> Confiabilidade das fontes	<input type="checkbox"/> Simplicidade	
<input type="checkbox"/> Confiabilidade das fontes	<input type="checkbox"/> Temporalidade	
<input type="checkbox"/> Temporalidade	<input type="checkbox"/> Simplicidade	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
.....	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Os espaços em branco do quadro A3.3 referem-se a possíveis inclusões de novos critérios de M&A. Da mesma forma, se um ou mais critérios forem excluídos, o quadro A2.3 deverá ser ajustado de acordo com as mudanças propostas.

Após a obtenção de consenso sobre os critérios de M&A que deverão ser compor este quadro e os valores de importância indicados na coluna da direita, os pesos serão calculados com emprego da ferramenta computacional IPÊ, desenvolvida pela Universidade Federal Fluminense (Costa, 2004).

3. Validação dos indicadores de desempenho à luz dos critérios de M&A já ponderados na segunda etapa

Uma vez atribuídos pesos aos critérios de M&A pelo método AHP, o próximo passo refere-se à validação dos indicadores propostos nos quadros 3.3 e 3.4 da dissertação, por portão de decisão, empregando-se o método TOPSIS (Hwang e Yoon, 1981), descrito no apêndice A2.

Os indicadores de desempenho dos projetos de PD&I de CoPS, propostos nos quadros 3.3 e 3.4 da dissertação, foram classificados segundo o tipo de projeto e portão de decisão, a saber: (i) indicadores de desempenho para avaliar projetos de PD&I de tecnologias (DT) a serem integradas a um projeto de desenvolvimento de um novo CoPS (quadro A3.4); e (ii) indicadores de desempenho para avaliar projetos PD&I de novos CoPS (DP) (quadro A3.5).

Importante destacar que os indicadores propostos nesses dois quadros deverão ser confirmados (ou não) previamente à validação propriamente dita à luz dos critérios de M&A.

Uma vez definidos quais indicadores deverão ser considerados em cada uma das duas situações (projetos DT ou DP), deverão ser criadas matrizes de validação quantitativa com os indicadores propostos e uma escala de 1 a 9 para medir o grau de atendimento de cada indicador aos critérios já ponderados na etapa 2, a saber: (i) muito baixo – grau 1; (ii) baixo – grau 3; (iii) médio – grau 5; (iii) alto – grau 7; (iv) muito alto – grau 9. Valores intermediários (2, 4, 6 e 8) poderão ser considerados no preenchimento das matrizes. Os critérios de M&A que entrarão na matriz deverão ser aqueles definidos na primeira etapa.

Quadro A3.4 – Matriz para validação quantitativa dos indicadores de desempenho para avaliar projetos de PD&I de subsistemas, componentes ou tecnologias críticas (DT)

PD	Indicador de desempenho	Atendimento aos critérios de M&A*						
		C1**	C2	C3	C4	C5	...	Cn
PD1	IT11 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]							
	IT12 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]							
	IT13 – Potencial de integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]							
	IT14 – Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico concluída [Score de 0 a 10]							
	IT15 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]							
PD2	IT21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]							
	IT22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10] [Score de 0 a 10]							
	IT23 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]							
	IT24 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]							
	IT25 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 1 a 10]							
	IT26 – Escopo e plano de ação do projeto de PD&I da nova tecnologia, componente ou subsistema definidos [Score de 0 a 10]							
	IT27 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 2 [Score de 0 a 10]							
PD3	IT31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]							
	IT32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]							
	IT33 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]							
	IT34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]							
	IT35 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]							
	IT36 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]							
	IT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar [Score de 0 a 10]							
	IT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso [Score de 0 a 10]							
PD4	IT39 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]							
	IT41 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]							
	IT42 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]							
	IT43 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]							
	IT44 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]							
	IT45 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]							
	IT46 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]							
	IT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com leis e regulamentação aplicáveis [Score de 0 a 10]							
	IT48 – Viabilidade técnica comprovada [Score de 0 a 10]							
	IT49 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]							

Legenda: (*) Grau de atendimento aos critérios de M&A: (i) muito baixo – grau 1; (ii) baixo – grau 3; (iii) médio – grau 5; (iii) alto – grau 7; (iv) muito alto – grau 9. Valores intermediários (2,4,6 e 8).

() Critérios de M&A - C1** – Significância; **C2** – Mensurabilidade; **C3** – Confiabilidade das fontes; **C4** – Simplicidade; **C5** – Temporalidade.

Quadro A3.5 – Matriz para validação quantitativa dos indicadores de desempenho para avaliar projetos de PD&I de novos CoPS de defesa (DP)

PD	Indicador de desempenho	Atendimento aos critérios de M&A*					
		C1**	C2	C3	C4	C5	Cn
PD1	IP31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]						
	IP32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]						
	IP33 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]						
	IP34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]						
	IP35 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]						
PD2	IP36 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]						
	IP41 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]						
	IP42 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]						
	IP43 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]						
	IP44 – Capacidade industrial para conclusão do projeto de PD&I (ex-ante) [Score de 0 a 10]						
PD3	IP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento às necessidades estratégicas e às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]						
	IP 46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]						
	IP47 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 8 [Score de 0 a 10]						
	IP31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]						
	IP32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]						
PD4	IP33 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]						
	IP34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]						
	IP35 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]						
	IP36 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]						
	IP41 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]						
	IP42 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]						
	IP43 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]						
	IP44 – Capacidade industrial para conclusão do projeto de PD&I (ex-ante) [Score de 0 a 10]						

Legenda: (*) **Grau de atendimento aos critérios de M&A:** (i) muito baixo – grau 1; (ii) baixo – grau 3; (iii) médio – grau 5; (iii) alto – grau 7; (iv) muito alto – grau 9. Valores intermediários (2,4,6 e 8).

(**) **Crítérios de M&A** - **C1** – Significância ; **C2** – Mensurabilidade; **C3** – Confiabilidade das fontes; **C4** – Simplicidade; **C5** – Temporalidade

Quadro A3.5 – Matriz para validação quantitativa dos indicadores de desempenho para avaliar projetos de PD&I de CoPS (DP)

PD	Indicador de desempenho	Atendimento aos Critérios de M&A*						
		C1**	C2	C3	C4	C5	...	Cn
PD4	IP51 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]							
	IP52 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]							
	IP53 – Atendimento às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]							
	IP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]							
	IP55 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 9 [Score de 0 a 10]							

Legenda:. (*) **Grau de atendimento aos critérios de M&A:** (i) muito baixo – grau 1; (ii) baixo – grau 3; (iii) médio – grau 5; (iii) alto – grau 7; (iv) muito alto – grau 9. Valores intermediários (2,4,6 e 8).

(**) **Critérios de M&A** - **C1** – Significância; **C2** – Mensurabilidade; **C3** – Confiabilidade das fontes; **C4** – Simplicidade; **C5** – Temporalidade.

Referências

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Indicadores de programas. Guia metodológico**. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010.

COSTA, Helder Gomes. **IPÊ 1.0 Guia do Usuário**. Grupo de Pesquisas em Sistemas de Apoio à Decisão. Niterói: UFF, 2004.

GÖRGENS, M.; KUSEK, J.Z. **Making monitoring and evaluation systems work: A capacity development toolkit**. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank, 2009.

HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple attribute decision making: Methods and applications**. New York: Springer-Verlag, 1981.

KUSEK, J.Z.; RIST, R.C. **Ten steps to a results-based monitoring and evaluation system: A handbook for development practitioners**. Washington, DC: The World Bank, 2004.

SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 1, p. 9–26, 1990.

Apêndice A6

Procedimento para avaliação de desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa

A avaliação integrada do desempenho de um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa emprega um conjunto de critérios de avaliação (quadros 3.1 e 3.2 da dissertação) e indicadores de desempenho associados a cada um dos portões de decisão. Esses indicadores, propostos inicialmente nos quadros 3.3 e 3.4 da dissertação, deverão ser previamente validados com o suporte dos métodos AHP e TOPSIS, conforme procedimento descrito no apêndice A5.

Para esta avaliação integrada, elaborou-se este procedimento que compreende três etapas, que deverão ser conduzidas de forma sincronizada, como descrito a seguir:

- Etapa 1: Realização das avaliações dos projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de desenvolvimento de subsistemas ou componentes a serem integrados ao projeto de PD&I de uma tecnologia crítica do novo CoPS, conforme representado no nível superior da figura 3.3 da dissertação;
- Etapa 2: Realização das avaliações dos projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de desenvolvimento de tecnologias críticas que deverão ser integradas ao projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, conforme representado no nível central da figura 3.3 da dissertação;
- Etapa 3: Realização das avaliações do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, conforme representado no nível inferior da figura 3.3.

1. Realização das avaliações dos projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de desenvolvimento de subsistemas ou componentes

Nesta etapa, deverão ser atribuídos pesos aos critérios de avaliação do quadro A4.1 para o portão de decisão pelo qual passará o projeto de PD&I que está sendo avaliado, empregando-se para isso o método AHP, como descrito no apêndice A2.

Quadro A4.1 – Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de subsistemas ou componentes (DT)

PD	Dimensão da avaliação	Critério de avaliação	
PD1	Estratégica	CT11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema que integrará um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa. CT12 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).	
	Mercadológica	CT13 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual).	
	Técnica	CT14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico que será integrado a um projeto de um novo CoPS de defesa. CT15 – TRL 1 (quadro 2.6 da dissertação).	
		PD2	Estratégica
Mercadológica	CT25 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).		
Técnica	CT26 – Definição do escopo e do plano de ação do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a ser integrado a projeto de um novo CoPS de defesa. CT27 – TRL 2 (quadro 2.6 da dissertação).		
	PD3		
Mercadológica		CT36 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico. CT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar.	
Técnica		CT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso. CT39 – TRL 5 (quadro 2.6 da dissertação).	
		PD4	Estratégica
Mercadológica	CT46 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual). CT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis.		
Técnica	CT48 – Viabilidade técnica comprovada. CT49 – TRL 6 (quadro 2.6 da dissertação).		

Nota: Os critérios para avaliar projetos de PD&I de subsistemas ou componentes receberam a seguinte notação: CTn1 – significando (C) de critério de avaliação de projetos de PD&I de tecnologias (T) e referindo-se ao primeiro critério dentre aqueles do portão de decisão n.

Para cada portão de decisão, é importante avaliar se há necessidade de incluir um ou mais critérios de avaliação ou de excluir um ou mais critérios propostos no quadro A4.1. Para isso indique sua opinião abaixo referente a cada portão de decisão:

() A lista de critérios de avaliação atende aos propósitos da avaliação de projetos de PD&I de subsistemas e componentes neste portão de decisão [indicador o nº]? Se sim, manter a lista proposta.

() Há necessidade de um ou mais critérios de avaliação no portão de decisão [indicador o nº]? Se sim, indicar neste campo o novo critério com o respectivo descritivo, como no quadro A4.1.

.....

() Há necessidade de exclusão de um ou mais critérios de avaliação no portão de decisão [indicador o nº]? Se sim, indique neste campo quais deverão ser excluídos.

.....

Uma vez definidos os critérios de cada portão, o próximo passo é atribuir pesos aos critérios (por portão), empregando-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), conforme proposto por Saaty e descrito em detalhe no apêndice A2 da dissertação.

Para tal, este autor definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor (quadro A4.2), escala essa que busca captar a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas (Saaty, 1990).

Quadro A4.2 – Escala de Saaty para as comparações pareadas

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois critérios de avaliação são igualmente importantes para o objetivo da decisão (avaliação de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes).
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro	Um dos critérios de avaliação é um pouco mais importante que o outro para o objetivo da decisão (avaliação de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes).
5	Importância grande ou essencial	Um dos critérios de avaliação é significativamente mais importante para o objetivo da decisão em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um dos critérios de avaliação é muito fortemente mais importante para o objetivo da decisão em relação ao outro.
9	Importância absoluta	Um dos critérios de avaliação tem uma importância absoluta para o objetivo da decisão em relação ao outro.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre os julgamentos.

Para a aplicação do método AHP de Saaty no contexto da avaliação de projetos de PD&I de subsistemas e componentes, deverão ser criadas quatro tabelas a serem preenchidas durante a etapa de atribuição de pesos aos critérios de avaliação por portão de decisão.

Toma-se como **exemplo**, a matriz referente ao **portão 1**, apresentada no quadro A4.3. Para cada linha deste quadro, que contém o par de critérios de avaliação do respectivo portão, deve ser marcado em primeiro lugar com (x) qual dos dois é o mais importante para o objetivo de decisão (i.e., avaliação dos projetos de PD&I de subsistemas e componentes).

Em seguida, deve ser indicado com que intensidade o critério de avaliação marcado com (x) é mais importante do que o outro para o objetivo da decisão (valores da escala de Saaty).

Quadro A4.3 – Comparação pareada dos critérios de avaliação

Comparação pareada dos critérios do portão de decisão 1		Julgamento sobre a intensidade da importância do critério (escala de 1 a 9)
() CT11	() CT12	
() CT11	() CT13	
() CT11	() CT14	
() CT11	() CT15	
() CT12	() CT13	
() CT12	() CT14	
() CT12	() CT15	
() CT13	() CT14	
() CT13	() CT15	
() CT14	() CT15	
()	()	
()	()	

Os espaços em branco do quadro A4.3 referem-se a possíveis inclusões de novos critérios de avaliação no portão 1. Da mesma forma, se um ou mais critérios forem excluídos, o quadro A4.3 deverá ser ajustado. Após os julgamentos sobre a intensidade da importância de cada critério em relação aos demais (coluna da direita do quadro A4.3), os pesos serão calculados algebricamente com o emprego da ferramenta computacional IPÊ, desenvolvida pela Universidade Federal Fluminense.

Em seguida, procede-se à avaliação propriamente dita do projeto de PD&I de um subsistema ou componente, à luz dos critérios de avaliação já ponderados e dos indicadores de desempenho a eles associados, que, por sua vez, deverão ser validados previamente, conforme o procedimento descrito no apêndice A5 da dissertação.

Importante ressaltar que o desempenho dos projetos de PD&I de subsistemas ou componentes nos quatro portões de decisão deverá ser medido segundo uma abordagem de pontuação (*scoring*), como sugerido no trabalho de referência de Cooper (2006), no qual se baseou a concepção do modelo apresentado no capítulo 3 da dissertação.

De acordo com o autor, ao se adotar a abordagem de pontuação, o projeto de PD&I pode ser avaliado segundo os critérios e indicadores de desempenho previamente acordados e o resultado da avaliação ser expresso em um *score* geral, que considera os pesos dos critérios e a medição de desempenho segundo os respectivos indicadores por um *score* de 0 a 10.

Para o cálculo do *score* geral do projeto de PD&I de um subsistema ou componente em um determinado portão de decisão, deve ser empregada a média ponderada, conforme a equação abaixo.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Onde:

W =média ponderada;

n = número de elementos

w_i = pesos atribuídos aos critérios de avaliação do portão de decisão

X_i = *scores* do projeto de PD&I referentes aos indicadores do portão de decisão.

Definiram-se três condições a serem satisfeitas para que o projeto de PD&I possa passar para o estágio seguinte, a saber: (i) obter um score geral superior ou igual a 8; (ii) obter score máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’; e (iii) obter um score mínimo de 6 em relação a todos os indicadores.

Se o projeto de PD&I for avaliado com um score geral entre 7,9 e 4, mesmo tendo obtido score máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’, deverão ser propostas medidas corretivas referentes aos desvios observados, na perspectiva do projeto avançar e passar para o estágio seguinte na próxima reunião de avaliação. Nos casos em que os projetos de PD&I sejam avaliados com score inferiores a 4, decide-se pelo seu cancelamento.

Finalmente, destaca-se que o procedimento do **exemplo do portão 1** para atribuir pesos aos critérios deverá ser repetido para todos os portões de decisão (PD1 a PD4), previamente à avaliação dos projetos de PD&I de subsistemas ou componentes.

Assim, na avaliação a primeira pergunta a ser respondida é: “Em que estágio se encontra o projeto de PD&I?” O projeto deverá ser avaliado à luz dos critérios do portão de decisão seguinte do estágio em que se encontra, recebendo os *scores* de 0 a 10, associados a cada um dos indicadores do referido portão. Exemplo: um projeto de PD&I que se encontra no estágio 2, deverá ser avaliado à luz dos critérios do portão de decisão 3.

O quadro A4.4 corresponde à matriz para avaliação dos projetos de PD&I de subsistemas e componentes (DT).

Como já mencionado, para o cálculo do *score* geral do projeto de PD&I de um subsistema ou componente em um determinado portão de decisão, deverão ser atribuídos os *scores* correspondentes aos respectivos indicadores e, em seguida, calculada a média ponderada desses *scores* para se obter o *score* geral, conforme a equação (1).

Quadro A4.4 – Matriz para avaliação dos projetos de PD&I de tecnologias, componentes e subsistemas (DTs)

PD	Critério de avaliação	Peso do critério (wi)	Indicador de desempenho	Score (Xi)*	wi . Xi
PD1	CT11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema que integrará um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.		IT11 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CT12 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).		IT12 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]		
	CT13 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual).		IT13 – Potencial de integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa, com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]		
	CT14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico que será integrado a um projeto de um novo CoPS de defesa.		IT14 – Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do desenvolvimento tecnológico concluída [Score de 0 a 10]		
	CT15 – TRL 1 (quadro 2.6 da dissertação).		IT15 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]		
PD2	CT21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema que integrará um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.		IT21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CT22 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).		IT22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10] [Score de 0 a 10]		
	CT23 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.		IT23 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]		
	CT24 – Sinergia do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.		IT24 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]		
	CT25 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).		IT25 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 1 a 10]		
	CT26 – Definição do escopo e do plano de ação do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a ser integrado a projeto de um novo CoPS de defesa.		IT26 – Escopo e plano de ação do projeto de PD&I da nova tecnologia, componente ou subsistema definidos [Score de 0 a 10]		
	CT27 – TRL 2 (quadro 2.6 da dissertação)		IT27 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 2 [Score de 0 a 10]		

Legenda: (*) Score de 0 a 10, como indicado ao final da definição de cada indicador.

Quadro A4.4 – Matriz para avaliação dos projetos de PD&I de tecnologias, componentes e subsistemas (DTs) (cont.)

PD	Critério de avaliação	Peso do critério (wi)	Indicador de desempenho	Score (Xi)*	Wi . Xi
PD3	CT31 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa. .		IT31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CT32 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (ex-ante).		IT32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]		
	CT33 – Cultura organizacional para PD&I colaborativo.		IT33 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]		
	CT34 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.		IT34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema [Score de 0 a 10]		
	CT35 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.		IT35 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]		
	CT36 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico.		IT36 – Probabilidade de sucesso quanto à integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]		
	CT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar.		IT37 – Viabilidade técnica em nível preliminar [Score de 0 a 10]		
	CT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso.		IT38 – Disponibilidade de recursos necessários para realizar o projeto de PD&I com sucesso [Score de 0 a 10]		
	CT39 – TRL 5 (quadro 2.6 da dissertação).		IT39 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]		
PD4	CT41 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa. .		IT41 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema que integrará um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CT42 – Impacto inovador do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um projeto de um novo CoPS de defesa (ex-ante).		IT42 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema ao se integrar a um novo CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]		
	CT43 – Cultura organizacional para PD&I colaborativo.		IT43 – Cultura favorável a iniciativas de P&D colaborativo [Score de 0 a 10]		
	CT44 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.		IT44 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]		
	CT45 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I de uma nova tecnologia, componente ou subsistema.		IT45 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I [Score de 0 a 10]		
	CT46 – Integração do projeto de PD&I da tecnologia, componente ou subsistema a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual).		IT46 – Integração a um projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa com potencial mercadológico (caráter dual) [Score de 0 a 10]		
	CT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis.		IT47 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com leis e regulamentação aplicáveis [Score de 0 a 10]		
	CT48 – Viabilidade técnica comprovada.		IT48 – Viabilidade técnica comprovada [Score de 0 a 10]		
	CT49 – TRL 6 (quadro 2.6 da dissertação).		IT49 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]		

Legenda: (*) Score de 0 a 10, como indicado ao final da definição de cada indicador.

2. Realização das avaliações dos projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de tecnologias críticas

Nesta segunda etapa, deverão ser seguidos os mesmos passos descritos anteriormente para avaliar os projetos de PD&I que compõem o portfólio de projetos de subsistemas ou componentes.

3. Realização das avaliações do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa

Nesta terceira e última etapa, deverão ser atribuídos pesos aos critérios de avaliação do quadro A4.5 para o portão de decisão pelo qual passará o projeto de PD&I que está sendo avaliado, empregando-se para isso o método AHP, como descrito no apêndice A2.

Quadro A4.5 – Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de um novo CoPS (DP)

PD	Dimensão da avaliação	Critério de avaliação
PD1	Estratégica	CP11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.
		CP12 – Impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).
		CP13 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.
	Técnica	CP14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa.
		CP15 – TRL 1 (quadro 2.6 da dissertação).
PD2	Estratégica	CP21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa .
		CP22 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).
		CP23 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.
	Técnica	CP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa
		CP25 – TRL 5 (quadro 2.6 da dissertação).
PD3	Estratégica	CP31 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa .
		CP32 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).
		CP33 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.
		CP34 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.
		CP35 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.
	Técnica	CP36 – TRL6 (quadro 2.6 da dissertação).
	Estratégica	CP41 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.
		CP42 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.
		CP43 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I.
		CP44 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.
	Mercadológica	CP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento às necessidades estratégicas e às prioridades de segurança do país, região ou da organização.
		CP46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.
	Técnica	CP47 – TRL8 (quadro 2.6 da dissertação) .

Quadro A4.5 – Critérios de avaliação associados aos portões de decisão (PD) para projetos de PD&I de novos CoPS de defesa (DP) (cont.)

PD	Dimensão da avaliação	Critério de avaliação
PD5	Estratégica	CP51 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.
		CP52 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.
	Mercadológica	CP53 – Atendimento às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx.
		CP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.
	Técnica	CP55 – TRL 9 (quadro 2.6 da dissertação).

Nota: Os critérios para avaliar projetos de PD&I de novos CoPS receberam a seguinte notação: CPn1 – significando (C) de critério de avaliação de projetos de PD&I de novos CoPS (P) e referindo-se ao primeiro critério dentre aqueles do portão de decisão n.

Para cada portão de decisão, é importante avaliar se há necessidade de incluir um ou mais critérios de avaliação ou de excluir um ou mais critérios propostos no quadro A4.5. Para isso indique sua opinião abaixo referente a cada portão de decisão:

- () A lista de critérios de avaliação atende aos propósitos da avaliação de projetos de PD&I de novos CoPS de defesa neste portão de decisão [indicador o nº]?. Se sim, manter a lista proposta.
- () Há necessidade de um ou mais critérios de avaliação no portão de decisão [indicador o nº]? Se sim, indicar neste campo o novo critério com o respectivo descritivo, como no quadro A4.5.
-
- () Há necessidade de exclusão de um ou mais critérios de avaliação no portão de decisão [indicador o nº]? Se sim, indicar neste campo quais deverão ser excluídos.
-

Uma vez definidos os critérios de cada portão, o próximo passo é atribuir pesos aos critérios (por portão), empregando-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), conforme proposto por Saaty (1990) e descrito em detalhe no apêndice A2 da dissertação. Para tal, este autor definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor (quadro A4.6).

Quadro A4.6 – Escala de Saaty para as comparações pareadas

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois critérios de avaliação são igualmente importantes para o objetivo da decisão (avaliação de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes).
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro	Um dos critérios de avaliação é um pouco mais importante que o outro para o objetivo da decisão (avaliação de projetos de PD&I de subsistemas ou componentes).
5	Importância grande ou essencial	Um dos critérios de avaliação é significativamente mais importante para o objetivo da decisão em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um dos critérios de avaliação é muito fortemente mais importante para o objetivo da decisão em relação ao outro.
9	Importância absoluta	Um dos critérios de avaliação tem uma importância absoluta para o objetivo da decisão em relação ao outro.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre os julgamentos.

Para a aplicação do método AHP de Saaty no contexto da avaliação de projetos de PD&I de novos CoPS, deverá ser criada uma matriz para cada portão de decisão (PD1 a PD5) em um total de cinco matrizes a serem preenchidas durante a etapa de atribuição de pesos aos critérios de avaliação (por portão de decisão).

Toma-se como **exemplo**, a matriz referente ao **portão 1**, apresentada no quadro A4.7. Para cada linha deste quadro, que contém o par de critérios de avaliação do respectivo portão, deve ser marcado em primeiro lugar com (x) qual dos dois é o mais importante para o objetivo de decisão (i.e., avaliação dos projetos de PD&I de um novo CoPS de defesa).

Em seguida, deve ser indicado com que intensidade o critério de avaliação marcado com (x) é mais importante do que o outro para o objetivo da decisão (valores da escala de Saaty).

Quadro A4.7 – Comparação pareada dos critérios de avaliação

Comparação pareada dos critérios do portão de decisão 1		Julgamento sobre a intensidade da importância do critério (escala de 1 a 9)
<input type="checkbox"/> CT11	<input type="checkbox"/> CT12	
<input type="checkbox"/> CT11	<input type="checkbox"/> CT13	
<input type="checkbox"/> CT11	<input type="checkbox"/> CT14	
<input type="checkbox"/> CT11	<input type="checkbox"/> CT15	
<input type="checkbox"/> CT12	<input type="checkbox"/> CT13	
<input type="checkbox"/> CT12	<input type="checkbox"/> CT14	
<input type="checkbox"/> CT12	<input type="checkbox"/> CT15	
<input type="checkbox"/> CT13	<input type="checkbox"/> CT14	
<input type="checkbox"/> CT13	<input type="checkbox"/> CT15	
<input type="checkbox"/> CT14	<input type="checkbox"/> CT15	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Os espaços em branco do quadro A4.7 referem-se a possíveis inclusões de novos critérios de avaliação no portão 1. Da mesma forma, se um ou mais critérios forem excluídos, o quadro A4.7 deverá ser ajustado. Após a obtenção de consenso sobre quais critérios de avaliação deverão ser considerados para o portão 1, bem como os valores de importância indicados na coluna da direita do quadro A4.7, os pesos serão calculados com emprego da ferramenta computacional IPÊ, desenvolvida pela Universidade Federal Fluminense (Costa, 2004).

Em seguida, procede-se à avaliação propriamente dita do projeto de PD&I de um novo CoPS, à luz dos critérios de avaliação já ponderados e dos indicadores de desempenho a eles associados. Esses, por sua vez, deverão ser validados previamente, seguindo-se o procedimento descrito no apêndice A5 da dissertação.

Importante ressaltar que o desempenho dos projetos de PD&I de novos CoPS nos cinco portões de decisão deverá ser medido segundo uma abordagem de pontuação (*scoring*), como sugerido no trabalho de referência de Cooper (2006, p.28), no qual se baseou a concepção do modelo apresentado no capítulo 3 da dissertação.

De acordo com o autor, ao se adotar a abordagem *scorecard*, o projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa poderá ser avaliado segundo os critérios e indicadores de desempenho previamente acordados e o resultado da avaliação poderá ser expresso em um *score* geral, que considera os pesos dos critérios e a

medição de desempenho, segundo os respectivos indicadores de avaliação, por um *score* de 0 a 10 pontos.

Para o cálculo do *score* geral do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa em um determinado portão de decisão, deverá ser empregada a média ponderada, conforme a equação abaixo.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Onde:

W =média ponderada;

n = número de elementos

w_i = pesos atribuídos aos critérios de avaliação do portão de decisão

X_i = *scores* do projeto de PD&I referentes aos indicadores do portão de decisão.

Definiram-se três condições a serem satisfeitas para que o projeto de PD&I possa passar para o estágio seguinte, a saber: (i) obter um *score* geral superior ou igual a 8; (ii) obter *score* máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’; e (iii) obter um *score* mínimo de 6 em relação a todos os indicadores.

Se o projeto de PD&I for avaliado com um *score* geral entre 7,9 e 4, mesmo tendo obtido *score* máximo em relação aos indicadores ‘Grau de alinhamento estratégico’ e ‘Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL indicado’, deverão ser propostas medidas corretivas referentes aos desvios observados, na perspectiva do projeto avançar e passar para o estágio seguinte na próxima reunião de avaliação. Nos casos em que os projetos de PD&I sejam avaliados com *score* inferiores a 4, decide-se pelo seu cancelamento.

Finalmente, destaca-se que o procedimento do **exemplo do portão 1** para atribuir pesos aos critérios deverá ser repetido para todos os portões de decisão (PD1 a PD5), previamente à avaliação dos projetos de PD&I de novos CoPS de defesa.

Assim, na avaliação a primeira pergunta a ser respondida é: “Em que estágio se encontra o projeto de PD&I?” O projeto deverá ser avaliado à luz dos critérios do portão de decisão seguinte do estágio em que se encontra, recebendo os *scores* de 0 a 10, associados a cada um dos indicadores do referido portão. **Exemplo:** Um projeto de PD&I que se encontra no estágio 2, deverá ser avaliado à luz dos critérios do portão de decisão 3.

O quadro A4.8 corresponde à matriz para avaliação dos projetos de PD&I de novos CoPS (DP).

Como já mencionado, para o cálculo do *score* geral do projeto de PD&I de novos CoPS de defesa em um determinado portão de decisão, deverão ser atribuídos os *scores* correspondentes aos respectivos indicadores e, em seguida, calculada a média ponderada desses *scores* para se obter o *score* geral, conforme a equação (1).

Quadro A4.8 – Matriz para avaliação dos projetos de PD&I de novos CoPS de defesa

PD	Critério de avaliação	Peso do critério (wi)	Indicador de desempenho	Score (Xi)*	wi . Xi
PD1	CP11 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa.		IP11 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP12 – Impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (ex-ante).		IP12 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP13 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.		IP13 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]		
	CP14 – Definição de princípios básicos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa.		IP14 – Princípios básicos estabelecidos e modelagem teórica do novo CoPS de defesa concluída [Score de 0 a 10]		
	CP15 – TRL 1 (quadro 2.6 da dissertação).		IP15 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 1 [Score de 0 a 10]		
PD2	CP21 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa .		IP21 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP22 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (ex-ante).		IP22 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de CoPS de defesa (ex-ante) [Score de 0 a 10]		
	CP23 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.		IP23 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]		
	CP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa		IP24 – Probabilidade de sucesso técnico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP25 – TRL 5 (quadro 2.6 da dissertação).		IP25 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 5 [Score de 0 a 10]		

Legenda: (*) Score de 0 a 10 pontos, como indicado ao final da definição de cada indicador.

Quadro A4.8 – Matriz para avaliação dos projetos de PD&I de novos CoPS de defesa (cont.)

PD	Critério de avaliação	Peso do critério (wi)	Indicador de desempenho	Score (Xi)*	Wi . Xi
PD3	CP31 – Alinhamento estratégico do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa .		IP31 – Grau de alinhamento estratégico do projeto de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP32 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>).		IP32 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP33 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.		IP33 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]		
	CP34 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.		IP34 – Potencial de formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]		
	CP35 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.		IP35 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP36 – TRL6 (quadro 2.6 da dissertação).		IP36 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 6 [Score de 0 a 10]		
PD4	CP41 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.		IP41 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]		
	CP42 – Sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização.		IP42 – Grau de sinergia com outros projetos de PD&I de CoPS de defesa na organização [Score de 0 a 10]		
	CP43 – Formação de parcerias com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas (ICTs) durante o projeto de PD&I.		IP43 – Parcerias formadas com fornecedores e instituições científicas e tecnológicas durante o projeto de PD&I [Score de 0 a 10]		
	CP44 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.		IP44 – Capacidade industrial para conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]		
	CP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento às necessidades estratégicas e às prioridades de segurança do país, região ou da organização.		IP45 – Probabilidade de sucesso de atendimento às necessidades estratégicas e às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]		
	CP46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.		IP 46 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP47 – TRL8 (quadro 2.6 da dissertação) .		IP47 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 8 [Score de 0 a 10]		

Legenda: (*) Score de 0 a 10 pontos, como indicado ao final da definição de cada indicador.

Quadro A4.8 – Matriz para avaliação dos projetos de PD&I de novos CoPS de defesa (cont.)

PD	Critério de avaliação	Peso do critério (w_i)	Indicador de desempenho	Score (X_i)*	$w_i \cdot X_i$
PD5	CP51 – Impacto inovador do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.		IP51 – Grau de impacto inovador do projeto de PD&I de um novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP52 – Capacidade industrial para a conclusão do projeto de PD&I do novo CoPS de defesa.		IP52 – Capacidade industrial após conclusão do projeto de PD&I (<i>ex-ante</i>) [Score de 0 a 10]		
	CP53 – Atendimento às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx.		IP53 – Atendimento às diretrizes da Política Nacional de CT&I de Defesa e de PD&I do SCTIEx [Score de 0 a 10]		
	CP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa.		IP54 – Conformidade legal dos resultados do projeto de PD&I com as leis e regulamentação aplicáveis ao uso do novo CoPS de defesa [Score de 0 a 10]		
	CP55 – TRL 9 (quadro 2.6 da dissertação).		IP55 – Grau de atendimento aos requisitos do nível TRL 9 [Score de 0 a 10]		

Legenda: (*) Score de 0 a 10 pontos, como indicado ao final da definição de cada indicador.

Referências

COOPER, R. G. Managing Technology Development Projects. **Research Technology Management**, v.49, n.6, p.23-31, 2006.

COSTA, Helder Gomes. **IPÊ 1.0 Guia do Usuário**. Grupo de Pesquisas em Sistemas de Apoio à Decisão. Niterói: UFF, 2004.

SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 1, p. 9–26, 1990.