



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.29.01.26-TDI

**MODELO PARA AVALIAÇÃO DE PORTFÓLIO DE
PROJETOS DE P&D, BASEADO EM OPÇÕES REAIS,
PARA OTIMIZAR A CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA
DE ORGANIZAÇÕES PÚBLICAS DO SETOR ESPACIAL
BRASILEIRO**

Luis Gustavo dos Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Luís Antônio Waack Bambace, aprovada em 06 de dezembro de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MSKDR5>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

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

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

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.29.01.26-TDI

**MODELO PARA AVALIAÇÃO DE PORTFÓLIO DE
PROJETOS DE P&D, BASEADO EM OPÇÕES REAIS,
PARA OTIMIZAR A CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA
DE ORGANIZAÇÕES PÚBLICAS DO SETOR ESPACIAL
BRASILEIRO**

Luis Gustavo dos Santos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelo Dr. Luís Antônio Waack Bambace, aprovada em 06 de dezembro de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MSKDR5>>

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Santos, Luis Gustavo dos.

Sa59m Modelo para avaliação de portfólio de projetos de P&D, baseado em opções reais, para otimizar a capacitação tecnológica de organizações públicas do setor espacial brasileiro / Luis Gustavo dos Santos. – São José dos Campos : INPE, 2017. xxvi + 159 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.29.01.26-TDI)

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientador : Dr. Luís Antônio Waack Bambace.

1. Avaliação de portfólio. 2. P&D. 3. Opções reais. 4. TRL. I.Título.

CDU 658.511.4:629.78(81)



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

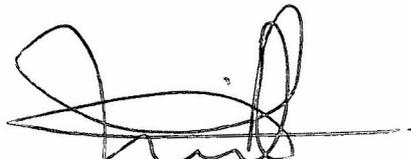
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): *Luis Gustavo dos Santos*

Título: "MODELO PARA AVALIAÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS DE P&D, BASEADO EM OPÇÕES REAIS, PARA OTIMIZAR A CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA DE ORGANIZAÇÕES PÚBLICAS DO SETOR ESPACIAL BRASILEIRO".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de *Mestre* em *Engenharia e Tecnologia Espaciais/Eng. Gerenc. de Sistemas Espaciais*

Dr. Paulo Giácomo Milani



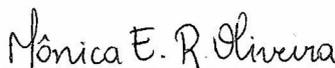
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Luís Antônio Waack Bambace



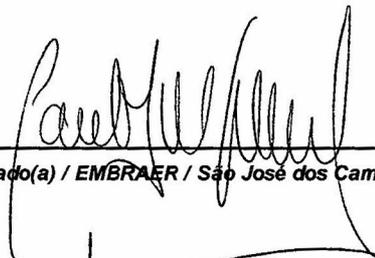
Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Mônica Elizabeth Rocha de Oliveira



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

Dr. Paulo Tadeu de Mello Lourenção



Convidado(a) / EMBRAER / São José dos Campos - SP

Dr. Anderson Vicente Borille



Convidado(a) / ITA/IEM/CCM / SJC Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

“Não importa quão longa seja a noite, o dia virá certamente”.

“O amanhã pertence àqueles que se preparam hoje”.

Provérbios africanos

A minha esposa e filhos queridos, minhas fontes de inspiração e energia para continuar tentando me tornar um ser humano melhor.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Luís Antônio Waack Bambace, meu orientador, que me inspirou a fazer o mestrado no INPE devido às suas aulas sobre Engenharia da Inovação, Métodos Heurísticos de Busca de Soluções Inovadoras e Gerenciamento de Projetos de Desenvolvimento Tecnológico.

A Márcio Fernandes e João Alberto Teixeira Graffunder, gerentes seniores da EMBRAER, pela autorização para me ausentar do trabalho algumas horas por semana para cursar as matérias do mestrado do INPE.

A todos os demais gestores da diretoria de suporte ao cliente da aviação comercial da EMBRAER S.A., pelo apoio contínuo ao desenvolvimento de seus funcionários.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e todos os seus funcionários, pela oportunidade de cursar o mestrado em um ambiente acolhedor e que nos desafia continuamente a nos superarmos.

RESUMO

O Brasil ainda não atingiu o status de nação inovadora, dispondo de poucas organizações entre as que mais investem em P&D no mundo. Em um ambiente de disponibilidade limitada de recursos humanos e financeiros, é fundamental sua gestão otimizada para atender às pretensões e necessidades nacionais de aumento da competitividade de produtos e serviços. Neste contexto, propomos uma metodologia que suporte à tomada de decisão de investimento em projetos de capacitação tecnológica por instituições públicas do setor espacial brasileiro. A abordagem apresentada combina aspectos de metodologias de desenvolvimento de novos produtos, determinação de níveis de prontidão tecnológica, avaliação de projetos por técnicas de opções reais e o conceito de utilidade. Mostramos uma maneira de contornar o problema de se aplicar técnicas de avaliação financeira em projetos que após sua conclusão não gerarão, necessariamente, produtos a serem comercializados. Aplicamos a metodologia proposta em um portfólio de desenvolvimento tecnológico fictício (baseado em projetos reais do INPE), com o objetivo de mostrar sua simplicidade e flexibilidade para ser adaptada e adotada pelas organizações públicas nacionais do setor espacial, em particular, e científicas, em geral.

MODEL FOR EVALUATION OF R&D PROJECTS PORTFOLIO, BASED ON REAL OPTIONS, TO OPTIMIZE THE TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF BRAZILIAN PUBLIC ORGANIZATIONS FROM THE SPACE SEGMENT

ABSTRACT

Brazil has not reached the status of an innovative nation, therefore not having many organizations among the ones with the largest investments on research and development in the world. In an environment of limited human and financial resources, it is fundamental their optimized management to meet the national claims and needs related to the competitiveness of products and services. In this context, we propose herein a methodology supporting investment decision making in technology development projects conducted by public Brazilian space institutions. The presented approach combines aspects of methodologies for new product development, assessment of technology readiness level, project evaluation by real options and the concept of utility. We present a way to circumvent the problem to apply financial evaluation technics to projects that, after their completions, will not generate necessarily products for commercialization. We apply the proposed methodology on a fictional technology development portfolio (based on real INPE projects), aiming to show its simplicity and flexibility to be adapted and adopted by national public space organizations, in particular, and scientific organizations in general.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|--------------------|
| Figura 1.1 – Distribuição dos tipos de fontes bibliográficas dessa dissertação. | 5 |
| Figura 1.2 – Distribuição temporal das fontes bibliográficas dessa dissertação. | 5 |
| Figura 1.3 – Distribuição dos temas das fontes bibliográficas dessa dissertação..... | 6 |
| Figura 2.1 – Visão geral da escala TRL. | 12 |
| Figura 2.2 – Orientação para classificação do nível de maturidade de uma tecnologia.13 | 13 |
| Figura 2.3 – Estágios do processo de desenvolvimento de novos produtos. | 19 |
| Figura 2.4 – Exemplo do modelo Gatilho e Etapa (Stage-Gate)..... | 20 |
| Figura 2.5 – Modelo Stage-Gate para Projetos de Desenvolvimento Tecnológico. | 21 |
| Figura 2.6 – Relação de TRL com ciclo de vida de Produtos | 22 |
| Figura 2.7 – Etapas do ciclo de vida dos produtos espaciais da NASA. TRL substanciatomada de decisão sobre investimentos nos KDP A, B e C.. | 23 |
| Figura 2.8 – Função utilidade representando aversão ao risco de um investidor..... | 37 |
| Figura 3.1 – Trajetórias de acumulação de capacidade tecnológica em organizações de países em desenvolvimento..... | 44 |
| Figura 4.1 – Relacionamento das metodologias de referência..... | 57 |
| Figura 5.1 – Função utilidade presentando propensão ao risco de um investidor..... | 66 |
| Figura 5.2 – Função utilidade representando neutralidade ao risco de um investidor. 67 | 67 |
| Figura 5.3 – Funções Utilidade para diferentes possibilidades de evolução de TRL..... | 69 |
| Figura 5.4 – Árvore de eventos do avançamento da TRL da Tecnologia Crítica 1. | 76 |
| Figura 5.5 – Árvore de eventos em uma planilha eletrônica. | 76 |
| Figura 5.6 – Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano..... | 79 |
| Figura 5.7 – Árvore de análise das OR disponíveis em cada período..... | 80 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.8 – Gráfico dos investimentos previstos para capacitação tecnológica. | 84 |
| Figura 5.9 – Gráfico dos investimentos realizados para capacitação tecnológica..... | 85 |
| Figura 5.10 – Evolução prevista e real da TRL no projeto TC1. | 87 |
| Figura 5.11 – Evolução prevista e real da TRL no projeto TC2. | 87 |
| Figura 5.12 – Evolução prevista e real da TRL no projeto TC10. | 88 |
| Figura 5.13 – Trajetória de capacitação tecnológica (por soma das TRL)..... | 89 |
| Figura 5.14 – Trajetória de capacitação tecnológica (por soma de OR). | 90 |
| Figura 5.15 – Comparação entre funções utilidade para um mesmo projeto..... | 93 |
| Figura 5.16 – Árvore de eventos em uma planilha eletrônica. | 93 |
| Figura 5.17 – Árvore de análise das OR disponíveis em cada período..... | 94 |
| Figura 5.18 – Gráfico dos investimentos realizados para capacitação tecnológica..... | 95 |
| Figura 5.19 – Gráfico dos investimentos realizados para capacitação tecnológica..... | 98 |
| Figura C.1 – Programação das Missões Espaciais entre os anos 2012 e 2020..... | 125 |
| Figura E.1 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC1. | 131 |
| Figura E.2 – Planilha com Análise das OR do Projeto TC1..... | 132 |
| Figura E.3 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC2. | 133 |
| Figura E.4 – Planilha com Análise das OR do Projeto TC2..... | 134 |
| Figura E.5 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC3. | 135 |
| Figura E.6 – Planilha com Análise das OR do Projeto TC3..... | 136 |
| Figura E.7 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC4. | 137 |
| Figura E.8 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC4. | 138 |
| Figura E.9 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC5. | 139 |
| Figura E.10 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC5. | 140 |
| Figura E.11 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC6. | 141 |

| | |
|---|-----|
| Figura E.12 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC6. | 142 |
| Figura E.13 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC6. | 142 |
| Figura E.14 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC7. | 143 |
| Figura E.15 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC7. | 144 |
| Figura E.16 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC7. | 144 |
| Figura E.17 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC8. | 145 |
| Figura E.18 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC8. | 146 |
| Figura E.19 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC8. | 146 |
| Figura E.20 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC9. | 147 |
| Figura E.21 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC9. | 148 |
| Figura E.22 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC9. | 148 |
| Figura E.23 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC10. | 149 |
| Figura E.24 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC10. | 150 |
| Figura E.25 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC10. | 150 |
| Figura F.1 – Planilha com programação das missões espaciais fictícias entre os anos de 2017 e 2026. | 151 |
| Figura F.2 – Planilha com detalhes de cada projeto fictício de capacitação em tecnologias críticas. | 152 |
| Figura G.1 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos)..... | 155 |
| Figura G.2 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos)..... | 156 |
| Figura G.3 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos)..... | 157 |
| Figura G.4 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos)..... | 158 |
| Figura G.5 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos)..... | 159 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|--------------------|
| Tabela 2.1 – Comparação de resultados possíveis para alternativas de investimento. | 34 |
| Tabela 3.1 – Análise SWOT de técnicas de avaliação de maturidade tecnológica. | 42 |
| Tabela 5.1 – Aplicação da metodologia de priorização de investimento baseado em OR. | 83 |
| Tabela 5.2 – Dados do gráfico dos investimentos previstos para capacitação tecnológica. | 85 |
| Tabela 5.3 – Dados do gráfico de investimentos realizados na capacitação tecnológica. | 86 |
| Tabela 5.4 – Percentual de utilização dos recursos distribuídos anualmente por projeto. | 97 |
| Tabela C.1 – Principais projetos do Programa de Capacitação em Tecnologias Críticas e de Acesso Restrito (de 2008 a 2015). | 124 |
| Tabela C.2 – Programação de Investimentos em Tecnologias Críticas e Desenvolvimento de Competências (de 2012 a 2021). | 124 |
| Tabela F.1 – Evolução prevista e real do nível de prontidão tecnológica (TRL) dos projetos do portfólio fictício. | 153 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Pág.

| | |
|------|---|
| AD2 | Advancement Degree of Difficulty |
| BP | British Petroleum |
| CBA | Cost Benefit Analysis |
| CEA | Cost Effectiveness Analysis |
| C&T | Ciência e Tecnologia |
| CF | Cash Flow |
| CTE | Critical Technology Elements |
| DCF | Discounted Cash Flows |
| DCLG | Department for Communities and Local Government |
| DoD | Department of Defense |
| DoE | Department of Energy |
| ECV | Expected Productivity Index |
| FCD | Fluxo de Caixa Descontado |
| HRL | Human Readiness Level |
| i | Interest rate |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IRL | Integration Readiness Level |
| IRR | Internal Rate Of Return |
| ITAM | Integrated Technology Analysis Methodology |
| KDP | Key Decision Point |
| MAUT | Multi-Attribute Utility Theory |
| MCA | Multi-criteria Analysis |
| MoD | Ministry of Defense |
| MMC | Menor Múltiplo Comum |
| MRL | Manufacturing Readiness Level |
| MS | Microsoft |

| | |
|------|---|
| NASA | National Aeronautics And Space Administration |
| NRC | National Research Council |
| NPD | New Product Development |
| OR | Opções Reais |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| PNAE | Programa Nacional de Atividades Espaciais |
| RD3 | Research and Development Degree of Difficulty |
| ROA | Real Options Analysis |
| ROI | Return on Investments |
| RONA | Return on Net Assets |
| SRL | System Readiness Level |
| SWOT | Strength, Weakness, Opportunities and Threats |
| TA | Technology Assessment |
| TIP | Technology Investment Portfolio |
| TMA | Taxa Mínima de Atratividade |
| TOR | Teoria das Opções Reais |
| TPMM | Technology Program Management Model |
| TRA | Technology Readiness Assessment |
| TRL | Technology Readiness Level |
| TRRA | Technology Readiness and Risk Assessment |
| TRRL | Technology Readiness Transfer Level |
| VPL | Valor Presente Líquido |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|--------|--|
| 1 | INTRODUÇÃO 1 |
| 1.1. | Objetivo Geral 2 |
| 1.2. | Objetivos Específicos..... 2 |
| 1.3. | Motivação..... 2 |
| 1.4. | Metodologia de pesquisa 3 |
| 1.5. | Aplicação do método de pesquisa 4 |
| 1.6. | Estrutura do trabalho 6 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 9 |
| 2.1. | Métodos para aferição de prontidão tecnológica 9 |
| 2.2. | <i>Technology readiness level (TRL)</i> 11 |
| 2.3. | <i>Technology readiness assessment (TRA)</i> 14 |
| 2.4. | <i>Advancement degree of difficulty (AD2 ou AD²)</i> 15 |
| 2.5. | Desenvolvimento de novos produtos 16 |
| 2.6. | Gerenciamento de portfólio..... 23 |
| 2.7. | Métodos financeiros para avaliação de projetos de P&D..... 26 |
| 2.7.1. | Valor presente líquido (VPL) 27 |
| 2.7.2. | Análise de OR 28 |
| 2.7.3. | Função utilidade 36 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 39 |
| 4 | ABORDAGEM PROPOSTA 51 |
| 4.1. | Principais direcionadores desse trabalho 51 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.1.1. | Expectativas sobre o desenvolvimento de novos produtos | 52 |
| 4.1.2. | Escolhas das metodologias de referência | 54 |
| 4.1.3. | Relacionamento das metodologias de referência | 57 |
| 5 | APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA E RESULTADOS..... | 61 |
| 5.1. | Programa de desenvolvimento de Tecnologias Críticas e Restritas (PTCR) do INPE | 61 |
| 5.2. | Metodologia de aplicação da abordagem..... | 61 |
| 5.2.1. | Definições sobre os dados necessários..... | 62 |
| 5.2.2. | Planejamento da coleta de dados..... | 63 |
| 5.2.3. | Execução da coleta de dados | 64 |
| 5.3. | Resultados da aplicação | 65 |
| 5.3.1. | Funções utilidade multicritérios..... | 65 |
| 5.3.2. | Análises de OR..... | 73 |
| 5.3.3. | Gestão do portfólio de P&D | 80 |
| 5.3.4. | Alguns impactos da alteração de critérios de avaliação dos projetos..... | 91 |
| 5.3.4.1. | Primeiro exemplo de critério alternativo..... | 91 |
| 5.3.4.2. | Segundo exemplo de critério alternativo | 95 |
| 6 | DISCUSSÃO | 99 |
| 6.1. | Comparação com a revisão bibliográfica | 99 |
| 6.2. | Contribuições desse trabalho..... | 100 |
| 6.3. | Limitações..... | 101 |
| 7 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 105 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 109 |
| | APÊNDICE A – DETALHAMENTO DOS NÍVEIS DA ESCALA TRL | 117 |

| | |
|--|-----|
| APÊNDICE B – DETALHAMENTO DOS NÍVEIS DA ESCALA AD2 | 121 |
| APÊNDICE C – PROJETOS DE CAPACITAÇÃO EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO DO INPE DE 2008 A 2015 | 123 |
| APÊNDICE D – CRITÉRIOS PARA QUANTIFICAÇÃO DO VALOR DE PROJETOS DE CAPACITAÇÃO EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO DO INPE..... | 127 |
| APÊNDICE E – ÁRVORES DE DECISÃO DO PORTFÓLIO FICTÍCIO DE PROJETOS DE CAPACITAÇÃO DO INPE EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO | 131 |
| APÊNDICE F – CENÁRIO FICTÍCIO PARA DEMONSTRAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TEORIA DE OR NA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE P&D | 151 |
| APÊNDICE G – GESTÃO DO PORTFÓLIO FICTÍCIO DE PROJETOS DE CAPACITAÇÃO DO INPE EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO | 155 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil foi classificado no *2015 Global Innovation Index* (GII 2015) como apenas o 70° colocado em inovação mundial, em um estudo que inclui 141 países, ficando atrás de Costa Rica (51°), México (57°), Panamá (62°), Colômbia (67°) e Uruguai (68°), e assim, embora tenhamos a maior economia da América Latina, ainda não conseguimos atingir o status de nação inovadora. Em outra pesquisa, o *2013 European Union Industrial Research & Development Investment Scoreboard* (EU 2013), preparado pela Comissão Europeia e avaliando 2000 empresas ao redor do mundo, o Brasil figura com apenas 8 empresas entre as que mais investem em pesquisa e tecnologia no mundo.

Essas pesquisas podem exemplificar um ambiente de disponibilidade de recursos humanos e financeiros para pesquisa e desenvolvimento (P&D) inferior às pretensões e necessidades nacionais de aumento da competitividade de nossos produtos e serviços. Se tal quadro de limitada capacidade de diminuição da desvantagem tecnológica frente a outras nações ocorrer conjuntamente com uma gestão não otimizada dos recursos limitados disponíveis, por exemplo, pelo engajamento de grande parte desses recursos para suportar desenvolvimentos mais conservadores (priorizando soluções já consagradas) e muitas vezes com objetivos mais imediatistas ou menos relevantes quanto aos resultados, julgamos poder haver uma piora nas expectativas de longo prazo para elevação consistente do potencial de inovação de uma dada organização.

Existe, portanto, uma grande necessidade de se encontrar meios para que os limitados recursos disponíveis para P&D sejam empregados de forma mais eficiente, aumentando o potencial competitivo de nossas empresas e institutos de pesquisa. Nesse trabalho se apresenta uma solução prática e inédita de aplicação da Teoria de Opções Reais para avaliação de projetos de P&D, mesmo quando seus resultados não serão comercializados. Essa solução

também contribui para aumentar a eficiência do gerenciamento do portfólio de desenvolvimento de novos produtos em organizações científicas.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é propor uma metodologia de gestão de portfólios de projetos de capacitação tecnológica que suporte a tomada de decisão quanto à alocação de recursos por instituições públicas do setor espacial brasileiro, de forma sistemática e quantitativa.

1.2. Objetivos Específicos

O objetivo geral dessa dissertação será alcançado através do atingimento de objetivos específicos listados abaixo:

1. Revisar metodologias de Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD), avaliação do Nível de Prontidão Tecnológico, avaliação de projetos baseados nas Teorias das Opções Reais (TOR) e de utilidade, que tenham como características a praticidade do uso.
2. Propor uma abordagem que combine os aspectos das metodologias e métodos selecionados no item anterior, que possa ser utilizada para se atingir de forma prática o objetivo principal desse trabalho;
3. Aplicar a abordagem em um portfólio fictício de projetos de capacitação tecnológicas, inspirado em exemplos reais do INPE ou de outras instituições públicas do setor científico brasileiro;

1.3. Motivação

As metas governamentais listadas no Programa Nacional de Atividades Espaciais – PNAE (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2012) indicam o desafio da capacitação da indústria espacial brasileira para que as missões ali definidas sejam cumpridas. Além das inúmeras incertezas científicas

intrínsecas ao processo de P&D, somam-se as limitações conjunturais de recursos financeiros e humanos para a sua realização.

Um problema a ser resolvido em tal cenário seria avaliar de forma prática e continua os projetos de P&D para suportar a tomada de decisão de alocação de recursos em organizações públicas como o INPE, que otimizem a realização de seus objetivos estratégicos de capacitação tecnológica.

Um portfólio de projetos de P&D pode ser avaliado por diferentes métodos qualitativos ou quantitativos. Os primeiros podem ser muito sensíveis a interpretações pessoais e, portanto, imprecisos. Os métodos quantitativos, baseados em conceitos financeiros, são mais precisos e menos sujeitos a subjetividades, mas esta precisão fica condicionada aos dados disponíveis¹ para sua implementação (por exemplo, como quantificar os benefícios para a sociedade advindos da capacitação tecnológica do INPE?).

1.4. Metodologia de pesquisa

Segundo as definições de Silva e Menezes (2005), a natureza dessa dissertação é aplicada, uma vez que busca gerar conhecimentos para uso prático e dirigidos à solução de problemas específicos de organizações do setor espacial brasileiro. Quanto à sua abordagem para os problemas identificados, essa pesquisa será quantitativa, pois irá traduzir em números opiniões e informações para então classificá-las e analisá-las.

Essa pesquisa é exploratória do ponto de vista de seus objetivos, segundo as definições de Gil (2002), pois envolverá o levantamento bibliográfico dos

¹ De acordo com Eggert (1982), esses dados sempre são incertos, devido à dinâmica dos mercados (crises podem ocorrer, novos produtos podem aparecer etc). Como a monetização da utilidade de um portfólio de P&D tem relação com os produtos mais baratos que fornecem as funções correspondentes, todo e qualquer valor associado a um produto tende a mudar no tempo, geralmente para menos. Excepcionalmente, ocorrem aumento de valores face a normas de segurança mais rígidas (e.x. banimento de tintas com base de chumbo em brinquedos). O impacto destas incertezas tende a fazer com que o resultado de métodos quantitativos financeiros sejam pouco precisos em tomada de decisão em qualquer pesquisa e desenvolvimento que não seja de curto prazo para o segmento do produto em questão.

inúmeros conceitos relacionados aos problemas identificados e entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com tais problemas, sendo que, quanto aos procedimentos técnicos a serem utilizados, essa pesquisa pode ser classificada como estudo de caso.

1.5. Aplicação do método de pesquisa

As fontes encontradas no levantamento bibliográfico feito como parte desse trabalho podem ser classificadas como segue:

- Artigos publicados em congressos, jornais e revistas especializadas;
- Teses de doutorado;
- Dissertações de mestrado;
- Livros;
- Manuais;
- Relatórios; e
- Apresentações.

O levantamento bibliográfico inicial identificou aproximadamente 200 fontes distintas relacionadas aos temas abordados nessa dissertação. Posteriormente foi possível identificar quais daquelas fontes eram as mais relevantes para o escopo desse trabalho, o que reduziu a quantidade de fontes bibliográficas utilizadas para aproximadamente um quarto daquela inicialmente identificada.

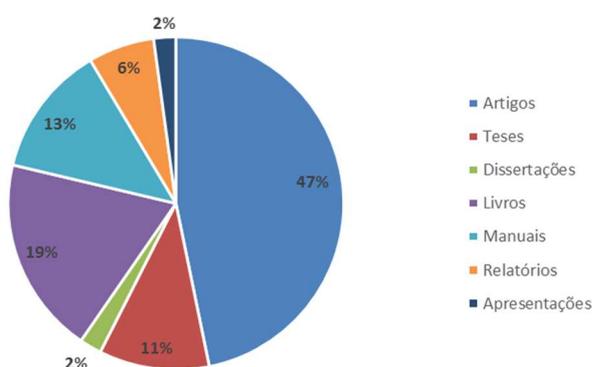
Entre os critérios (não mandatórios) utilizados para se avaliar a relevância das fontes pesquisadas para o trabalho atual, podemos destacar:

- Conter exemplos detalhados, para facilitar entendimento de sua aplicação;

- Estar relacionada ao contexto de P&D;
- Priorizar as fontes com datas de publicação mais recentes;

A Figura 1.1 mostra a proporção dos diferentes tipos de publicação utilizados como as fontes bibliográficas utilizadas nessa dissertação, com uma grande concentração de artigos e livros.

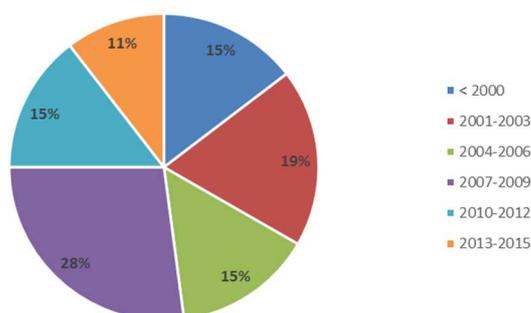
Figura 1.1 – Distribuição dos tipos de fontes bibliográficas dessa dissertação.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Quanto à distribuição no tempo das diferentes fontes bibliográficas, podemos notar pela Figura 1.2 que a grande maioria (54%) constitui-se em publicações recentes, posteriores a 2007, caracterizando-se assim, na opinião do autor desse trabalho, uma base bastante atual para suportar essa dissertação.

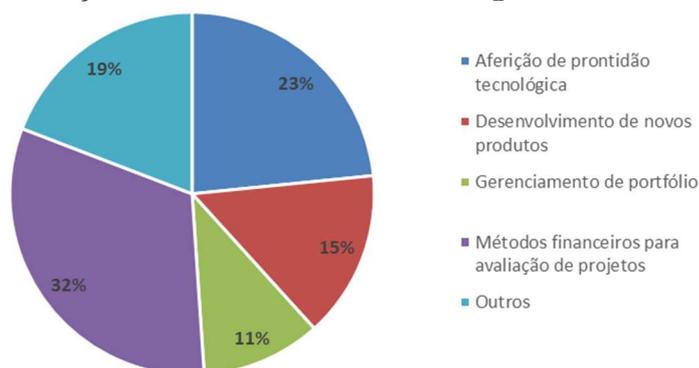
Figura 1.2 – Distribuição temporal das fontes bibliográficas dessa dissertação.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Finalmente, a Figura 1.3 apresenta a distribuição das fontes bibliográficas quanto ao seu assunto principal, sendo possível observar a abrangência dos assuntos investigados frente ao objetivo geral desse trabalho e os seus objetivos específicos.

Figura 1.3 – Distribuição dos temas das fontes bibliográficas dessa dissertação.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

No tópico “Aferição de prontidão tecnológica”, o tema central das fontes bibliográficas foi o modelo TRL, enquanto nos tópicos “Métodos financeiros para avaliação de projetos”, o principal assunto foi a TOR. No tópico “Outros” incluem-se fontes bibliográficas que versam sobre assuntos direta ou indiretamente ligados a essa dissertação, mas de forma mais genérica.

1.6. Estrutura do trabalho

Esse trabalho está dividido em 7 capítulos, sendo que o capítulo 1 refere-se à sua motivação, objetivos e metodologia de pesquisa.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica desse trabalho, abrangendo os principais métodos para aferição de prontidão tecnológica de uma organização, a conceituação do processo de desenvolvimento de novos produtos e gerenciamento de portfólios de projetos, além de apresentar métodos financeiros para avaliação de projetos de P&D.

O capítulo 3 traz uma revisão bibliográfica de diferentes fontes relacionadas aos objetivos e abordagem propostos neste trabalho.

O capítulo 4 apresenta os principais direcionadores dessa dissertação, discorrendo sobre as expectativas sobre o desenvolvimento de novos produtos, os critérios utilizados na escolha das metodologias de referência deste trabalho e o relacionamento dessas metodologias.

O capítulo 5 consiste na aplicação da abordagem proposta a um portfólio fictício de projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito, inspirado parcialmente no programa de desenvolvimento de tais tecnologias do INPE (PTCR) e indicação dos resultados obtidos.

O capítulo 6 apresenta uma discussão sobre os resultados obtidos com a aplicação da abordagem proposta, destacando as diferenças com trabalhos anteriores, as contribuições desse trabalho e suas limitações.

O capítulo 7 traz as conclusões deste trabalho e faz sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Métodos para aferição de prontidão tecnológica

Os profissionais responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologias precisam tomar inúmeras decisões críticas para aumentar a probabilidade que tais tecnologias possam contribuir para a criação de produtos de sucesso. Muitas dessas decisões podem ser apoiadas por métodos relativamente recentes de aferição da capacitação de uma organização em diferentes tecnologias.

De acordo com Mankins (2009), o desenvolvimento de novos sistemas e funcionalidades depende tipicamente de bem-sucedidos esforços em P&D de tecnologias avançadas. Quando essas iniciativas de P&D são bem executadas, pode haver uma redução significativa de incertezas quanto ao cronograma e orçamento da capacitação plena em uma dada tecnologia, como também aumento no nível de desempenho que os produtos nela baseados poderão atingir. Entretanto, quando os projetos de P&D não são gerenciados de forma adequada, há maior risco de estouros orçamentários, atrasos nos lançamentos de novos produtos e deterioração dos objetivos iniciais para seu desempenho. Desta forma, Mankins indica que um desafio para gerentes de sistemas e tecnologia é serem capazes de fazer avaliações claras e bem documentadas sobre prontidão tecnológica e seus riscos, em momentos chave no ciclo de vida de um programa de desenvolvimento.

Azizian et al. (2009) fizeram uma avaliação abrangente sobre esses métodos, indicando que houve um grande quantidade de pesquisas visando o desenvolvimento de ferramentas e métodos que pudessem rastrear a maturidade tecnológica através da progressão do ciclo de vida de desenvolvimento de um sistema, de modo a garantir um gerenciamento contínuo de risco e efetivo suporte à tomada de decisão. O método conhecido como TRL (*Technology Readiness Level*) foi o pioneiro neste contexto, mas por ter sido considerado uma métrica insuficiente, inúmeros outros métodos qualitativos, quantitativos e automáticos foram propostos em seu lugar.

Segundo esses autores, métodos qualitativos para avaliação de prontidão tecnológica baseiam-se em escalas (por exemplo, de 0 a 9), com cada nível definindo um grau de maturidade tecnológica. Há também uma descrição das características principais associadas aos resultados obtidos em cada etapa do ciclo de desenvolvimento de uma dada tecnologia. São, portanto, métricas subjetivas que podem condensar demasiadamente inúmeros aspectos relacionados com a maturidade tecnológica em apenas um valor, além de possibilitar interpretações distintas sobre a descrição de cada um de seus níveis. Embora sejam de uso relativamente fácil, rápido, flexível e interativo, por serem baseadas grandemente em conhecimento tácito e subjetivo, podem gerar avaliações tendenciosas ou incorretas (AZIZIAN et al., 2009).

De forma diferente, métodos quantitativos de avaliação de prontidão tecnológica buscam avaliar o nível de maturidade de uma dada tecnologia através do emprego de algum modelo matemático. O resultado dessas técnicas quantitativas é derivado de operações matemáticas entre duas ou mais métricas, e não seria sempre indicativo da maturidade da tecnologia em si ou do sistema associado, mas sim do risco associado ao uso de dada tecnologia no desenvolvimento de um produto. Quanto mais madura a tecnologia, menor o risco. Em comparação com os métodos qualitativos, são mais objetivos e precisos no suporte à tomada de decisão, mas são também mais difíceis e demorados de usar. Devido à sua maior complexidade, estão também expostos a erros nos cálculos matemáticos, impactando negativamente a avaliação da maturidade tecnológica.

Há ainda uma terceira categoria de métodos para avaliação de prontidão tecnológica, a qual emprega alguma forma de automatização das análises feitas. Esses métodos automáticos, como foram classificados por Azizian et al. (2009), empregam uma ferramenta (programa computacional) que receberá informações coletadas com os envolvidos com o desenvolvimento da tecnologia e executará análises quantitativas de forma transparente ao usuário.

Assim, tais métodos mantêm muitos atributos comuns às técnicas qualitativas e quantitativas.

Podemos citar como exemplos de métodos qualitativos, as técnicas para aferição do nível de prontidão tecnológica da manufatura e do grau de dificuldade de avançamento (respectivamente, MRL e AD2, dos termos em inglês *Manufacturing Readiness Level* e *Advancement Degree of Difficulty*). Exemplos de métodos quantitativos seriam os de medição do nível de prontidão de sistemas e a avaliação do risco e prontidão tecnológico (respectivamente, SRL e TRRA, dos termos em inglês *System Readnes Level* e *Technology Readiness and Risk Assessment*). Um exemplo de método automático seria a calculadora de nível de prontidão tecnológico. Detalhes sobre cada um desses métodos e outros do mesmo tipo são fornecidos na Tabela 3.1, assim como suas principais vantagens e desvantagens.

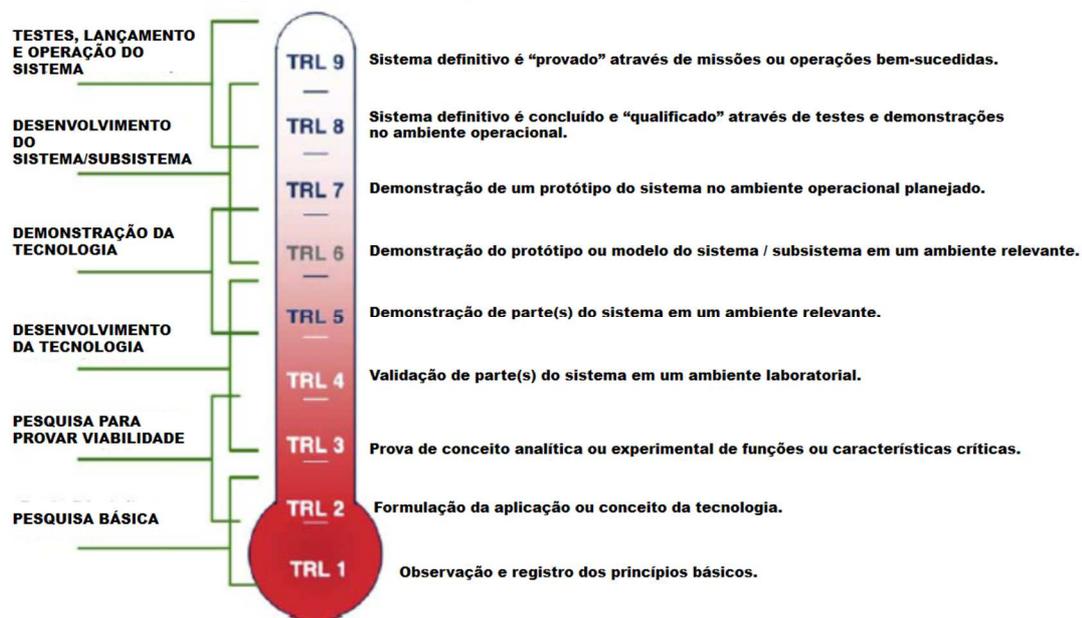
2.2. *Technology readiness level (TRL)*

A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA) introduziu o conceito de TRL em meados da década de 1970, como uma métrica independente que permitisse uma avaliação mais efetiva quanto à maturidade de novas tecnologias sendo desenvolvidas naquela organização. Por volta de duas décadas mais tarde, em 1995, a conceituação da escala TRL foi reforçada com o primeiro detalhamento das definições de cada um de seus nove níveis. Desde então, essa métrica foi adotada por inúmeros órgãos do governo norte-americano, tais como o Departamento de Defesa (DoD, do termo em inglês "*Department of Defense*"), tendo provado ser altamente efetiva na comunicação entre diversas organizações do real domínio sobre novas tecnologias (MANKINS, 2009).

Os nove níveis da escala TRL vão dos estágios iniciais da investigação científica (TRL1), onde os fundamentos de uma nova tecnologia são identificados, até o ponto onde uma nova tecnologia é empregada com sucesso em um produto operando nas condições para as quais foi desenvolvido (TRL9),

como pode ser visto de forma geral na Figura 2.1. Um maior detalhamento dos níveis da escala TRL é fornecido pelo Apêndice A.

Figura 2.1 – Visão geral da escala TRL.



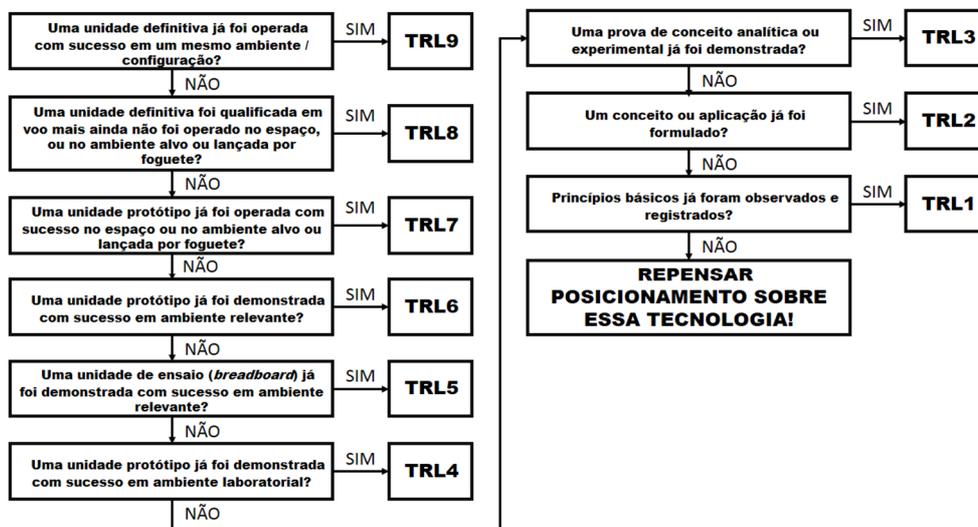
Fonte: baseado em Mankins (2009).

Segundo NASA (2014), embora as breves descrições dadas pela Figura 2.1 sobre cada um dos níveis da escala TRL possam parecer claras e objetivas, inúmeros problemas de classificação ocorrem quando tenta-se empregá-las na prática. A principal causa desses problemas seria a terminologia empregada, sujeita a diferentes interpretações, uma vez que vários dos termos surgiram de diferentes ramificações da engenharia, como significados originalmente muito específicos a um campo particular de conhecimento científico.

Para que isso seja evitado, a NASA emprega um fluxograma lógico com definições mais precisas e consistentes com seus programas e projetos de desenvolvimento (ver Figura 2.2). Segundo essa abordagem, o primeiro passo para se desenvolver uma avaliação uniforme de TRL é definir claramente todos os termos utilizados. Em seguida, é necessário quantificar, com base na experiência passada da organização, os julgamentos de valor ("*judgment calls*") a serem empregados para se decidir quão similar uma saída gerada por um

Um dado projeto de P&D está em comparação com o necessário ou esperado para a classificação em um certo nível da escala TRL (e.x.: o sistema “X” assemelha-se mais a um protótipo ou a uma placa de ensaio de engenharia?). Em termos de design e desempenho operacional esperado, isso pode ser mais facilmente obtido se a descrição do que foi obtido pelo projeto de P&D se der em termos de forma, adequação (“fit”) e função. Um terceiro elemento crítico para qualquer avaliação de TRL estaria associado à escolha de quem teria as melhores condições de fazer os julgamentos de valor relativos ao status da tecnologia em questão. A NASA recomenda ter-se um time de avaliação experiente e bem balanceado, não sendo sempre necessário que seus membros sejam experts em suas disciplinas, e sim, que pelo menos entendam o estado da arte das aplicações correspondentes às tecnologias sendo avaliadas.

Figura 2.2 – Orientação para classificação do nível de maturidade de uma tecnologia.



Fonte: baseado em NASA (2007).

Malas et al. (2011) afirmam, entretanto, que TRLs indicam apenas o nível de maturidade em um dado momento de seus elementos tecnológicos críticos (do termo em inglês “*Critical Technology Elements*” – CTE), não sendo capazes de aferir a dificuldade de se atingir o próximo nível da escala. Esses autores ressaltam que TRLs associadas aos CTEs devem ser avaliadas de forma

integrada, pois um CTE pode parecer maduro quando tomado isoladamente, mas essa avaliação pode mudar quando, por exemplo, levam-se em conta os efeitos combinados de outros fatores (ex. tamanho, peso e energia necessários para sua utilização em um ambiente operacional representativo) ou as interações necessárias entre sistemas baseados em diferentes CTEs. Além disso, indicam outras limitações do processo de avaliação de TRLs:

- Não conseguem avaliar risco de obsolescência da tecnologia
- Não são suficientes para medir risco de um programa
- Não são métricas para avaliação da saúde de um programa
- Não são suficientes nem para medir a prontidão de um sistema. Mede apenas parte do estado multidimensional de prontidão, que englobaria aspectos tecnológicos, manufatura, logística & sustentabilidade e gerenciamento & contratação

2.3. *Technology readiness assessment (TRA)*

Segundo o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD, 2009), o termo TRA define um processo formal e sistemático de avaliação da maturidade tecnológica de equipamentos e softwares críticos para um determinado sistema. Uma TRA pode ser parte importante da análise de risco de um desenvolvimento, mas não isenta o gerente do programa (ou equivalente) de sua responsabilidade de empregar outros esforços de redução de risco para garantir a maturidade tecnológica adequada ao final de cada etapa do ciclo de vida do projeto. Esse processo utiliza-se da escala TRL para identificação padronizada do nível de prontidão de cada CTE, que pode ser entendida para diferentes representantes da organização encarregada pelo programa, seus fornecedores e demais partes interessadas. O DoD recomenda que os membros do time avaliando a TRL devem ser suficientemente independentes dos desenvolvedores, de modo a não serem influenciados ou tendenciosos, e

não devem, portanto, trabalhar diretamente ou matricialmente na liderança das equipes desenvolvedoras. Adicionalmente, devem tais profissionais ser treinados sobre todos os aspectos desse processo, os critérios para identificação de CTE e ver exemplos e instruções para a aplicação de TRLs.

Mankins (2009) indica que devem ser feitas TRAs quando uma organização busca determinar a maturidade de uma nova tecnologia e/ou sua capacidade de empregá-la dentro de níveis aceitáveis de desempenho técnico e econômico. De forma geral, esse autor recomenda que TRAs sejam executadas em diferentes pontos ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento de uma nova tecnologia ou sistema, incluindo os momentos de conclusão das análises sistêmicas e os estudos conceituais do produto, o ponto de escolha entre diferentes opções de projetos, como também o ponto de decisão sobre o início de desenvolvimento do produto final. Entretanto, além do uso da escala TRL, Mankins considera que uma TRA efetiva deva também incorporar outras métricas para avaliar outros aspectos relacionados aos riscos de desenvolvimento de uma nova tecnologia, tais como:

- Objetivos de desempenho – incluindo medidas de engenharia (por exemplo, massa máxima permitida) e operacionais (por exemplo, custos, disponibilidade, tempo médio entre falhas).
- Grau de dificuldade de P&D: entendimento claro dos “obstáculos” e incertezas relacionadas ao desenvolvimento bem-sucedido de um sistema baseado em nova(s) tecnologia(s).

2.4. *Advancement degree of difficulty (AD2 ou AD²)*

NASA (2007) define AD2 (ou AD²) como o processo para desenvolver a compreensão do que é necessário para avançar o nível de maturidade de um sistema, fornecendo subsídios para estimarmos os custos, cronogramas e riscos preliminares. Em avaliações do tipo AD2 subsequentes, os resultados devem ser utilizados para construir o plano de desenvolvimento tecnológico,

suportando a identificação de opções de caminhos alternativos e limitações aceitáveis de desempenho. Finalmente, o uso desse tipo de avaliação faz parte do processo de avaliação de tecnologias da NASA, no qual, após a identificação de todos os componentes, subsistemas e sistemas com TRL abaixo de TRL 6 (SAUSER et al., 2005), executa-se para cada um deles uma avaliação AD2.

De acordo com Bilbro (2007), a importância da realização correta de avaliações AD2 não pode ser menosprezada, sob o risco de não ser possível preparar orçamentos e projeções de custos realistas, cumprir etapas intermediárias chave e produzir os resultados esperados. Da mesma forma que no processo de avaliação da TRL, destaca-se a importância de se aplicar a avaliação em vários níveis do sistema sendo desenvolvido. Dessa forma, o AD2 do sistema como um todo será função do AD2 dos seus subsistemas e componentes. Esse autor indica que a métrica AD2 combina métricas específicas de avaliação do nível de prontidão dos sistemas sendo desenvolvidos, tais como quanto ao seu projeto, manufatura e integração, definindo 9 níveis (1 a 9, como na escala TRL) que refletem o aumento da dificuldade de se avançar com o status geral da prontidão tecnológica. Esses nove níveis da escala AD2 são detalhados no Apêndice B.

2.5. Desenvolvimento de novos produtos

Segundo Loch e Kavadias (2008), o processo de desenvolvimento de novos produtos (do termo em inglês, *New Product Development* – NPD) engloba um grande número de tópicos e desafios para uma organização, tais como a formulação de uma estratégia, seus desdobramentos, alocação de recursos, coordenação da colaboração entre diferentes indivíduos, equipes e organizações, além de um planejamento, monitoramento e controle sistemático. Eles entendem que o termo “novo produto” pode se aplicar à qualquer linha de produtos manufaturados ou serviços, novos ou modificados, que são resultantes de um conjunto de atividades que ocorrem em uma

organização. Desta forma, segundo esses autores, os elementos fundamentais do desenvolvimento de novos produtos seriam:

- Um processo de geração de ideias variantes, o qual identificaria novas combinações de tecnologias, processos e oportunidades de mercado com o potencial de criar valor econômico. Variantes seriam criadas por procura direcionada ou combinações aleatórias de elementos não relacionados (criatividade).
- Um processo robusto de seleção, o qual escolheria as mais promissoras entre as novas combinações para investimentos posteriores de recursos financeiros, gerenciais, físicos e humanos, de acordo com critérios consistentes.
- Um processo de transformação, capaz de converter (desenvolver) oportunidades em bens econômicos e conhecimento codificado (incorporado em um conceito ou projeto) – produtos ou serviços oferecidos aos clientes.
- Um processo de coordenação que garanta um bom fluxo de informação, colaboração e cooperação entre as múltiplas equipes envolvidas com as atividades de NPD.

Crawford (1997) define novo produto como toda nova oferta feita por uma entidade, seja de processo, serviço ou bem físico, independentemente de alguma outra empresa ter oferta igual ou similar. Dentro desta ótica o novo produto pode ser dividido em 5 categorias:

- Produtos novos para o mundo: na prática invenções ou processos inéditos.
- Entrada em novas categorias: ofertas que fazem a empresa entrar em uma nova área para si, mas que não são novas para outras empresas ou entidades.

- Adições de novos produtos: produtos que se constituem extensões da linha da empresa, e que complementam os produtos atuais da empresa e aumentam o leque de escolha do consumidor.
- Melhoria de produtos: aperfeiçoamentos nos produtos que aumentam o desempenho de produtos atuais ou aumentem a percepção de valor com relação ao produto por parte do cliente.
- Reposicionamentos: colocação de produtos existentes em novos mercados ou segmentos.
- Reduções de custo: colocação de produtos com desempenho semelhante a custos mais baixos em função de melhorias de processo.

Krishnan e Ulrich (2001) consideram que perguntas tais como “qual tecnologia deverá ser adotada no produto?”, “onde o produto será montado?”, “qual será a equipe de desenvolvimento do produto e quem o liderará?”, “quais os mercados” e “quais variantes do produto serão desenvolvidas como parte da família daquele produto?” estão entre as decisões que devem ser tomadas durante o desenvolvimento de um produto. Obviamente, ressaltam que diferentes organizações utilizarão diferentes métodos para suportar a tomada de decisão, mas todas elas decidirão sobre uma grande quantidade de tópicos relacionados ao conceito do produto, sua arquitetura, configuração, cadeia de suprimentos e arranjos de distribuição e cronograma de projeto, entre outros.

Bhuiyan (2011) indica que, embora muitos modelos para NPD tenham sido desenvolvidos ao longo dos anos, o mais conhecido deles é o proposto por Booz, Allen e Hamilton (1982), mostrado na Figura 2.3. Esse modelo, também conhecido como BAH, é a base da maioria dos outros métodos de NPD, englobando todos os estágios básicos dos modelos encontrados na literatura. Ele foi baseado em uma grande quantidade de entrevistas, pesquisas e estudos de caso, podendo ser considerado uma boa representação das práticas mais comuns da indústria.

Figura 2.3 – Estágios do processo de desenvolvimento de novos produtos.



Fonte: adaptada de Booz, Allen e Hamilton (1982).

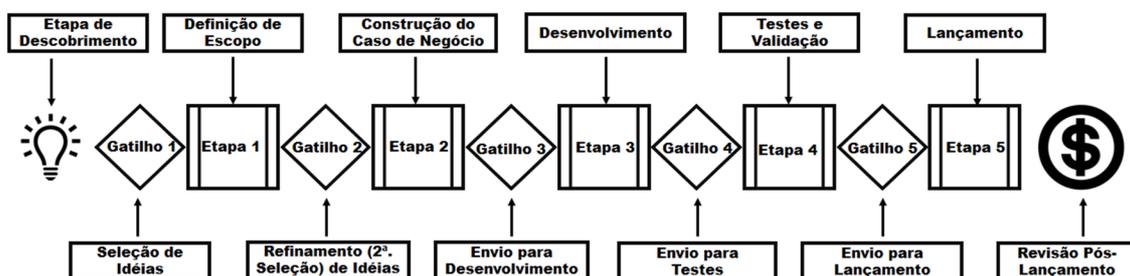
Ainda de acordo com Bhuiyan (2011), cada estágio do modelo BAH pode ser resumido como indicado abaixo:

- **Estratégia para o novo produto:** nesse estágio, o processo de NPD se conecta aos objetivos da organização, fomentando o foco para a geração de ideias e conceitos. Também são estabelecidos os critérios para a seleção das melhores ideias e conceitos.
- **Geração de ideias:** nessa fase, a organização promove a busca das ideias sobre novos produtos que atendam aos objetivos da organização.
- **Triagem:** estágio do processo NPD que consiste da análise inicial para determinar quais ideias são minimamente exequíveis e merecem estudo detalhado.
- **Análise de negócio:** aqui se avalia a ideia quanto aos seus aspectos quantitativos, tais como retorno geral sobre investimento, incluindo, sempre que possível, valores relacionados não apenas com o produto principal decorrente do desenvolvimento, como também subprodutos, ganhos com licenciamento e afins.

- Desenvolvimento: fase onde a ideia é materializada como um produto demonstrável e que possa ser manufaturado.
- Testes: Nessa etapa ocorrem os experimentos comerciais necessários à verificação das premissas iniciais de negócio.
- Comercialização: Lançamento do produto.

A passagem entre os estágios de um processo NPD pode ser marcada por avaliações objetivas dos resultados obtidos na etapa anterior. Esse aspecto está presente no processo de NPD conhecido como *Stage-Gate* (gatilho e estágio). Segundo Cooper (2008), esse processo é um mapa conceitual e operacional para mover de forma eficiente novos produtos desde a ideia inicial até o seu lançamento e além. Em sua forma mais simples, como indicado na Figura 2.4, o modelo *Stage-Gate* é constituído de uma série intercalada de etapas (*stages*) e pontos de tomadas de decisão crítica (*gates*). Durante as etapas, o time de projeto executa suas atividades, obtendo as informações necessárias e fazendo a integração e análise dos dados. Nos momentos de tomada de decisão críticas, decide-se em prosseguir ou interromper com o investimento no projeto. Essas etapas e pontos de tomada de decisão correspondem aos diferentes estágios do ciclo de vida de um produto.

Figura 2.4 – Exemplo do modelo Gatilho e Etapa (*Stage-Gate*).



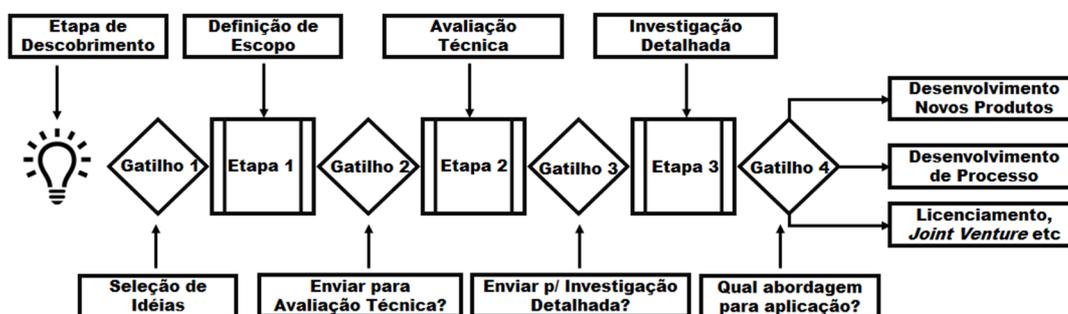
Fonte: adaptada de Cooper (2008).

Cooper (2008) também ressaltou que a execução de um processo NPD do tipo *Stage-Gate* é muito similar ao ato de se comprar uma série de opções em um investimento financeiro. Inicialmente, compra-se uma opção por uma pequena

parcela de dinheiro, faz-se então uma análise criteriosa do negócio ou projeto em questão, e finalmente toma-se a decisão de continuar investindo ou não². Essa comparação feita por Cooper é indicativo da relevância de se buscar empregar a análise por Opções Reais (OR, detalhada na seção 2.7.2) para suportar tomadas de decisão em processos de desenvolvimento de novos produtos.

Entretanto, esse modelo de gerenciamento não é o mais indicado para a classe específica de projetos de desenvolvimento tecnológico, nos quais os entregáveis principais são novos conhecimentos, novas tecnologias e capacitação técnica, sendo necessário sua simplificação em três etapas e quatro pontos de tomada de decisão (Figura 2.5) e tendo sua aplicação alimentando um processo mais tradicional de desenvolvimento de novos produtos (COOPER, 2006).

Figura 2.5 – Modelo *Stage-Gate* para Projetos de Desenvolvimento Tecnológico.



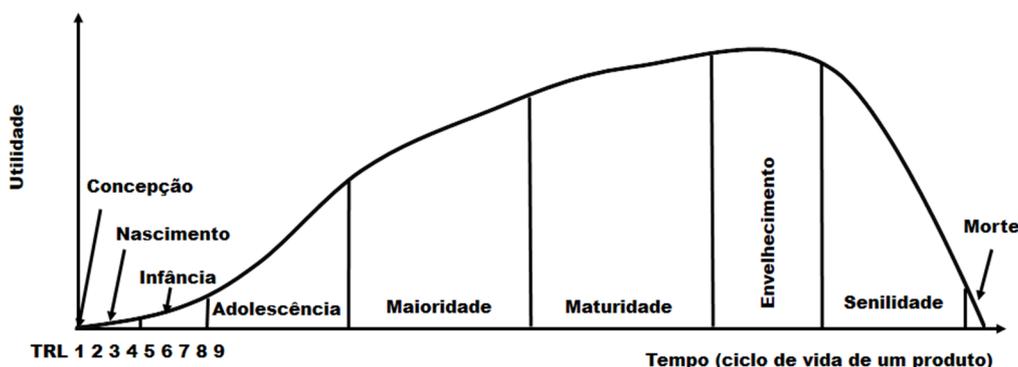
Fonte: Baseado em Cooper (2006).

O processo de desenvolvimento de um novo produto e suas tecnologias constitui a porção inicial do ciclo de vida do mesmo. Pode-se então comparar o ciclo de vida de uma nova tecnologia com o de um sistema biológico (NOLTE, 2008). Um ser vivo passa por diferentes fases durante o período em que existe.

² Segundo Eggert (2008), esta decisão deve levar em conta a possibilidade de geração de receitas através do licenciamento de produtos intermediários (na área original do projeto de P&D ou em outras áreas) e em todo e qualquer uso das tecnologias sendo desenvolvidas em outros produtos da organização.

De forma similar, uma nova tecnologia se desenvolve a partir de uma ideia, passando por um pico de utilidade e culminando com sua obsolescência. Nolte descreveu tal relação no que chamou de “gráfico da baleia”, como indicado na Figura 2.6, na qual mostrou a importância da aplicação de avaliação do avançamento da prontidão tecnológica (TRL) nas fases iniciais do ciclo de vida de um produto (a “cauda da baleia”).

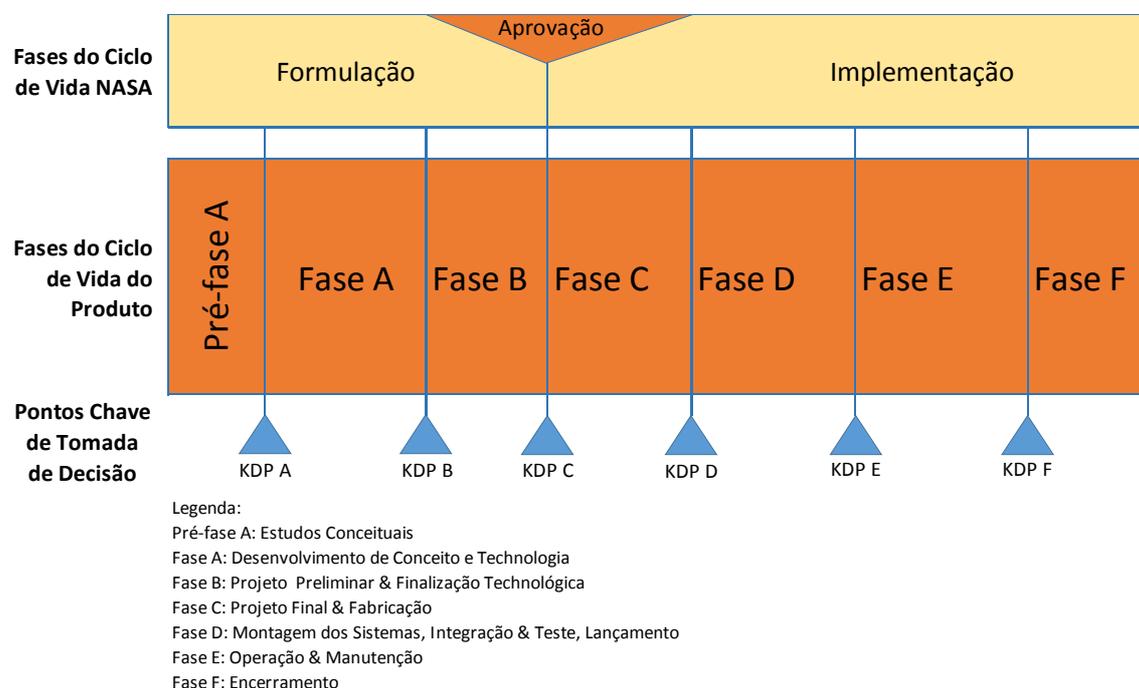
Figura 2.6 – Relação de TRL com ciclo de vida de Produtos



Fonte: Baseado em Nolte (2008).

Seguindo essa mesma orientação, as avaliações de prontidão tecnológica da NASA, baseadas na metodologia de TRL e AD2, são utilizadas para substanciar três pontos críticos para tomada de decisões (*Key Decision Points* – KDP) sobre a passagem entre fases do ciclo de vida de seus produtos espaciais (NASA, 2007). O ciclo completo é dividido em 7 fases incrementais, e os KDP em questão ocorreriam na transição entre as primeiras 4 fases do ciclo de vida (KDP A, B e C), como indicado na Figura 2.7. Assim, por exemplo, se uma dada tecnologia não fosse avaliada como estando com TRL6 no atingimento do KDP C, tal tecnologia não seria considerada nas etapas subsequentes do desenvolvimento de uma opção específica para uma missão espacial, como por exemplo um satélite.

Figura 2.7 – Etapas do ciclo de vida dos produtos espaciais da NASA. TRL substancia tomada de decisão sobre investimentos nos KDP A, B e C.



Fonte: Baseado em NASA (2007).

2.6. Gerenciamento de portfólio

Fridgeirdottir e Akella (2005) consideram o gerenciamento do portfólio de produtos uma das atividades fundamentais de um processo NPD. Esse gerenciamento visa escolher os produtos a serem desenvolvidos, levando-se em consideração a capacidade produtiva disponível na organização. As decisões tomadas nesse processo ocorrem em altos níveis executivos e gerenciais da organização e são frequentemente estratégicas em sua natureza. Entretanto, há uma tendência de se escolher um número excessivo de produtos a serem desenvolvidos simultaneamente, acarretando tempos de desenvolvimento muito longos, que se refletem em extensões nos prazos de disponibilização dos produtos para os usuários e, não raramente, com abandonos de seus lançamentos. Essa tendência também é destacada por Eggert (2008).

Segundo Cooper et al. (2001), o processo decisório no gerenciamento de um portfólio é dinâmico, de forma a permitir a constante atualização e revisão da lista de projetos ativos de P&D e de desenvolvimento de novos produtos. Esses autores classificam os métodos de gerenciamento de portfólio de projetos em 6 tipos:

1. Financeiros: são as abordagens dominantes no gerenciamento de portfólios e seleção de projetos, sendo o método dominante em 40% das empresas pesquisadas. Incluem várias métricas de lucratividade e retorno, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Retorno sobre Ativos Líquidos (RONA, do inglês *Return on Net Assets*), Retorno sobre Investimentos (ROI, do inglês *Return on Investments*), período de reembolso (*payback*), Valor Comercial Esperado (ECV, do inglês *Expected Commercial Value*) e Índice de Produtividade de Projeto (*Design Productivity Index*). Quando tais métodos são os dominantes em uma organização, a seleção de projetos e composição do portfólio resume-se a um cálculo financeiro, e a classificação e priorização dos mesmos é baseada nos valores ou índices financeiros gerados.
2. Estratégicos: a estratégia da organização é a base para alocação de recursos nos diferentes projetos. Esse método é o segundo mais popular entre as abordagens de gerenciamento de portfólio, sendo o método dominante em 26.6% das empresas pesquisadas. Baseando-se nas metas, visão e estratégia da organização, a alta gerência divide os recursos disponíveis por linha de produto, mercado, tipo de projeto ou quaisquer outras dimensões relevantes às suas necessidades. Cada uma dessas divisões (*splits*) é então subdividida novamente, criando-se entre 6 e 10 grupos de investimento (*buckets*). Os projetos são então distribuídos entre esses grupos de acordo com suas características e ordenados, até que o limite de cada *bucket* seja atingido. A ordenação dos projetos pode ser feita por um índice financeiro, ECV ou modelo de pontuação.

3. Diagramas de Bolhas: também chamados de mapas de portfólio, receberam muita atenção em livros, artigos e software a partir da segunda metade da década de 1990. Projetos são representados em diagramas ou mapas X-Y tais como bolhas. São então categorizados de acordo com a zona ou quadrante em que se encontram. Esses diagramas de bolha lembram os modelos originais de portfólio (projetos “estrela”, “vaca leiteira”, “abacaxi ou cachorro” e “oportunidades ou interrogação”, mas com eixos diferentes (por exemplo, probabilidade de sucesso técnico versus VPL). Apenas 5.3% das empresas utilizam esse método como a principal forma de gerenciar seus portfólios de projetos.
4. Modelos de Pontuação (*Scoring models*): nessa abordagem os projetos são classificados através de uma série de questões ou critérios (por exemplo, com escalas do tipo baixo-médio-alto; ou de 1 a 10). As classificações em cada escala são somadas para gerar uma nota para o projeto (*project score*), que então se torna o índice a ser utilizado nas decisões de seleção e/ou priorização dos projetos. Essa adição pode ser simples ou ponderada (questões sobre aspectos mais críticos receberiam pesos maiores). Esse método é o dominante em 13.3% das empresas pesquisadas.
5. Listas de “Sim ou Não”. Cada projeto deve receber um certo número mínimo de Pontuação (*Check lists*): os projetos são avaliados por uma série de questões do tipo respostas positivas para prosseguir. Além disso, o número de “sim” é usado para suportar decisões sobre priorização ou cancelamento de projetos. Apenas 2.7% das empresas utilizam *check lists* como o principal método para gestão de portfólio de projetos.
6. Outros: o restante das empresas (12%) afirma utilizar métodos de gerenciamento de portfólio de projetos diferentes daqueles indicados acima, mas que em sua maioria, segundo Cooper, seriam apenas

variantes ou híbridos daqueles. Apenas uma das empresas pesquisadas confessou apoiar-se em “sua experiência e intuição”.

Mesmo com uma grande variedade de métodos para suportar o gerenciamento de portfólio de produtos, um problema persistente e antigo da NASA é como alocar os recursos escassos para o desenvolvimento de tecnologias espaciais e de maneira a beneficiar o maior número de potenciais futuras missões (SHISHKO, 2003).

2.7. Métodos financeiros para avaliação de projetos de P&D

A NASA não utiliza frequentemente análises financeiras para avaliação de seus projetos, em parte pelas incertezas sobre suas projeções de custos durante os ciclos de vida mais longos, devido à dificuldade de calcular o valor monetário dos ganhos científicos e até mesmo pelo ambiente político que a envolve (Hawes e Duffey, 2008). Entretanto, esses mesmos autores indicam que alguns métodos de avaliação financeira podem melhorar o processo de análise de projetos da NASA, incluindo a análise de OR (do termo em inglês “*Real Option Analysis*” – ROA).

Segundo Teixeira (2004), os métodos clássicos de análise de investimentos produtivos visam comparar os resultados esperados de tomadas de decisão relativas a alternativas diferentes, de forma quantitativa. Entre esses métodos tem-se o VPL, Índice de Lucratividade (IL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Custo Anual (PMT), todos eles com a finalidade de subsidiar a escolha da alternativa de investimento com maior rentabilidade ou menor custo para a organização.

O método VPL é o mais utilizado para grandes investimentos realizados pelas empresas, mas há evidências empíricas que indicam que a análise de OR (a qual tem como base o próprio método VPL) lhe é superior (COPELAND e ANTIKAROV, 2001). Desta forma, julgamos conveniente prover mais detalhes sobre essas duas abordagens de avaliação nas seções seguintes.

2.7.1. Valor presente líquido (VPL)

Segundo Teixeira (2004), o método VPL corresponde à soma algébrica de todos os fluxos futuros projetados (desembolsos e receitas esperados – CF_j), ocorridos durante a vida útil do projeto, descontado à data zero pela taxa “ i ”, que pode ser a taxa mínima de atratividade (TMA) adotada pela organização, equivalente a, no mínimo, uma taxa oferecida pelo mercado por alguma aplicação de baixo risco financeiro, menos o investimento inicial (CF_0), como indicado na equação (2.1). Por esse método, um projeto será economicamente viável se $VPL \geq 0$, sendo portanto considerado inviável se $VPL < 0$. Além disso, pressupõe-se que os projetos alternativos sendo avaliados por esse método tenham a mesma duração. Entretanto, caso essa premissa seja incorreta, assume-se que os projetos podem ser repetidos nas mesmas condições e toma-se, como tempo de duração de todos eles, seu menor múltiplo comum (mmc).

$$VPL = \left[\frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \frac{CF_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{CF_{n-1}}{(1+i)^{n-1}} + \frac{CF_n}{(1+i)^n} \right] - CF_0 \quad (2.1)$$

De acordo com HAWES e DUFFEY (2008), quando avaliamos projetos comerciais de engenharia visando redução de custos, emprega-se tipicamente métodos de fluxo de caixa descontado (FCD), tais como a VPL. Entretanto, quando o nível de incertezas é alto, como no caso dos projetos da NASA, é necessário fazer ajustes à esses métodos para levar em conta o grau de incerteza. Normalmente, isso é feito através da adoção de uma taxa de desconto mais elevada, o que acarreta distorções nos resultados.

De acordo com Neufville (2001), a falha conceitual de procedimentos baseados em fluxo de caixa descontados seria assumir uma linha simples e contínua de desenvolvimento do projeto, indicando que o mesmo seria implementado do começo ao fim, mesmo se falhasse. Desta forma, a probabilidade de falha é incorporada ao valor total do projeto e também se assume que o projeto não será alterado ao longo do tempo. Esse raciocínio despreza completamente o

fato de gerentes públicos e privados abortarem projetos ao longo de seu desenvolvimento (por exemplo, devido ao baixo desempenho), como, por outro exemplo, quando se cancelam projetos de P&D antes dos produtos maturarem o suficiente para serem lançados no mercado ou quando cancelam grandes obras de infraestrutura como trechos de rodovias e ferrovias. Quando podem agir dessa maneira, tais gerentes criam condições para se eliminar as distribuições de risco em determinadas situações, fazendo com que o valor esperado de seus projetos seja sistematicamente maior que o calculado com o uso de fluxos de caixa descontados.

Como exemplo de aplicação do método VPL (baseado em DIXIT e PINDYCK, 1994 *apud* COPELAND e ANTIKAROV, 2001), considere uma situação onde precisamos decidir entre investir \$1.600 em um projeto hoje, ou esperar para realizar tal investimento apenas no final do ano. Assumiremos nesse exemplo que tal investimento é irreversível, ou seja, caso desistamos do projeto após o investimento, perderemos todo o dinheiro aplicado nessa empreitada, não há depreciação, as receitas são de \$200 e o custo do capital é 10% ao ano. Aplicando a metodologia VPL, teríamos:

$$VPL = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{200}{(1,1)^t} - 1.600 = 2.200 - 1.600 = 600 \quad (2.2)$$

2.7.2. Análise de OR

Dias (2005) indica que o registro mais antigo do uso da teoria das OR em empresas é de 1985, na Shell holandesa, mas que tal método só passou a ser mais difundido em ambientes corporativos na década de 1990. Além disso, comenta que uma das diferenças importantes de OR e o método tradicional do fluxo de caixa descontado é que o primeiro incentiva a realização de investimentos por fases, valorizando a obtenção de informações entre as fases que possam reduzir as incertezas relativas ao projeto, e suportar decisões mais otimizadas sobre prosseguir ou não para a fase seguinte. Além disso, as

empresas consideram mais prudente o investimento em fases, do que um grande aporte financeiro em um projeto, o que desmotivaria tais organizações a se basear em métodos de FCD.

Segundo Shishko (2003), o método de análise de OR é um dos paradigmas utilizados pela NASA em seu esforço para melhorar a alocação de recursos para o desenvolvimento de tecnologias. Segundo esse autor, a abordagem de avaliação por OR foca no investimento sobre cada tecnologia e sua aplicação nas missões que potencialmente podem utilizá-las. Dessa forma, esse método visa responder à pergunta: “Quanto vale o direito de se poder investir no desenvolvimento de uma dada tecnologia?”.

Segundo Neufville (2001), convencionou-se supor que um bom projeto minimiza o risco de seu próprio desenvolvimento, ou dito de outra forma, seria reativo ao risco. A estrutura baseada na TOR, entretanto, reconheceria que o tratamento adequado das incertezas adiciona valor às opções que o tomador de decisão dispõe, e poderiam ser vistas como um elemento positivo. Desta forma, o projeto de sistemas adotando essa perspectiva seria proativo quanto ao risco, buscando oportunidades de adição de valor e buscando coletar continuamente novas informações para garantir que as opções possam ser exploradas de modo correto no momento adequado. Pensando dessa forma, projetistas introduziriam muito mais flexibilidade em seus sistemas do que quando seguem a prática tradicional de projetos.

Hawes e Duffey (2008) definem o método de OR como aquele que reformula as projeções de fluxos de caixa de projetos em um formato de opções financeiras, utilizando normalmente as ferramentas matemáticas para precificação de derivativos financeiros associadas à equação de Black-Scholes (2.3). Essas opções podem então ser utilizadas para avaliar um valor adicional potencial para cada projeto, o qual seria gerado pela possibilidade de se adquirir conhecimentos novos com o passar do tempo (e assim tomar decisões de negócio mais bem substanciadas) e por efeitos de volatilidade

eventualmente associados aos ativos reais subjacentes a cada tipo de opção. Esses autores indicam que há um grande número de pesquisadores suportando a tese de que o método de OR é naturalmente adequado à análise de projetos de P&D.

$$\frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} = rf \quad (2.3)$$

Na equação (2.3), de acordo com Hull (2006), “S” é o preço do ativo subjacente à opção (no caso financeiro, seria o preço da ação), “f” é o preço do derivativo expresso em função de “S” e do tempo “t” (ou seja, o valor da opção), “r” representa a taxa de juros considerada como de “risco zero” (por exemplo, no caso brasileiro, os juros pagos pela caderneta de poupança) e “σ” é o desvio padrão dos retornos associados ao ativo subjacente (novamente no caso financeiro, o desvio padrão dos ganhos obtidos com uma dada ação financeira). Segundo esse autor, essa equação diferencial tem inúmeras soluções que dependem das condições de contorno impostas à formulação de “f”, e sua interpretação não é trivial, sendo demasiadamente complexa para os objetivos desse trabalho.

É importante ressaltar que alguns métodos para cálculo de OR buscam aproximar os resultados que seriam obtidos através da equação diferencial de Black-Scholes, baseando-se em outras abordagens (por exemplo, em análises combinatórias), obtendo-se de forma mais pragmática os valores das opções para um dado investimento.

Dattar e Matheus (2004) propuseram um método que seria equivalente algebricamente à fórmula de Black-Scholes, mas que precisaria utilizar apenas informações que estão disponíveis em análises de projetos por meio de métodos mais tradicionais, como a técnica VPL. Mais especificamente, o método proposto por esses autores utiliza a distribuição do valor do projeto ao longo do período considerado, a taxa de desconto associada, o nível de investimento e a taxa considerada como de “risco-zero”. Essas informações

devem então ser processadas por um programa de simulação de cenários financeiros tal como o Crystal Ball©, seguindo os seguintes passos:

1. Determinar a distribuição de receitas descontada pelo custo médio de capital utilizado como referência pela organização;
2. Calcular o valor presente para se exercer a opção de investimento em questão, utilizando-se a taxa de “risco-zero”;
3. Encontrar o valor presente do resultado financeiro médio, excluindo-se prejuízos (ou seja, definindo-se o resultado mínimo como zero).

Dattar e Matheus (2004) não detalham como o modelamento desses passos foi feito no Crystal Ball©, mas apresentam tabelas que indicam que os resultados obtidos para inúmeros cenários diferentes foi muito próximo daquele que seria conseguido aplicando-se diretamente a fórmula de Black-Scholes. Assim, embora esse método não exija a estimativa de parâmetros difíceis de obter para os casos de projetos de desenvolvimento tecnológico sem fins lucrativos, tais como a volatilidade de seu valor para o mercado, ele ainda apresenta o inconveniente do uso de sistemas de simulação de resultados financeiros e seu modelamento para cada projeto, o que pode dificultar sua implementação. Desta forma, decidimos não adotar esse método como base para a proposta deste trabalho.

Cox, Ross e Rubinstein (1979) utilizaram a teoria da probabilidade para construir um método que se vale de uma grade binomial (*binomial lattice*) para aproximar os resultados obtidos pela equação diferencial de Black-Scholes, utilizando apenas conceitos elementares de matemática. Utilizando-se de um exemplo simples de avaliação de ações, provam que é possível assumir que o preço dessas ações (S) segue um processo binomial multiplicativo sobre períodos discretos. Nesse processo, a taxa de retorno dessas ações pode assumir, após um período, dois valores possíveis: $u-1$ com probabilidade q , ou $d-1$ com probabilidade $1-q$. Consequentemente, o valor final da ação após o

período pode ser uS ou dS . Com essas informações e considerando C como o valor da opção correspondente às ações e K o valor a ser pago para exercitar a opção, esses autores mostraram que C pode assumir dois valores possíveis: $C_u = \max[0, uS - K]$ com probabilidade q , ou $C_d = \max[0, dS - K]$ com probabilidade $1-q$. Adotando, em seguida, r como a taxa de juros considerada como de risco zero, demonstraram como podemos obter as fórmulas (2.4) e (2.5).

$$C = \frac{[pC_u + (1 - p)C_d]}{r} \quad (2.4)$$

$$P \equiv \frac{r - d}{u - d} \quad (2.5)$$

Cox, Ross e Rubinstein (1979) seguem o exemplo, expandindo a análise para mais períodos, provando que quando o número de períodos considerado tende ao infinito, ou seja, com a negociação contínua dessas ações, o modelo binomial multiplicativo para valores de ações incluem uma distribuição log-normal (quando o logaritmo de uma variável aleatória segue uma distribuição normal) como um caso limite. Isso é relevante, segundo esses autores, pois Black e Scholes iniciaram sua argumentação com as premissas que os preços das ações seguiriam uma distribuição log-normal e que elas poderiam ser negociadas continuamente. Assim, Cox, Ross e Rubinstein (1979) demonstram que o método por eles proposto se aproxima rapidamente dos valores obtidos pela equação de Black-Scholes, conforme o número de períodos considerados aumenta.

Segundo Copeland e Antikarov (2001), os quais adotam a abordagem proposta por Cox, Ross e Rubinstein (1979), a base de uma análise prática por OR reside em uma avaliação convencional de VPL. Assim, podemos entender mais facilmente a importância de quantificação da flexibilidade de se tomar decisões embasadas por novas informações que tornam-se disponíveis ao longo de um projeto. Esses autores fornecem um exemplo simples para ilustrar essa relação

entre uma análise VPL e a feita seguindo o método de OR. Nesse exemplo, precisamos decidir se devemos nos comprometer agora com um projeto que irá custar \$115.000.000 no próximo ano, mas que terá um fluxo de caixa de \$170.000.000 ou \$65.000.000, com 50% de chance para cada valor. Como alternativa, tem-se a opção de esperar até o final do ano para decidir (tendo, portanto, o conhecimento exato do fluxo de caixa que tivemos no período). A taxa de juros de “risco zero” é de 8%, e a taxa mínima de atratividade³ (TMA) para essa organização é de 17,5%. Assim, para avaliarmos a viabilidade do compromisso imediato com o investimento no próximo ano, podemos calcular o VPL como indicado na equação (2.6). O resultado negativo indicaria que não deveríamos nos comprometer com esse investimento.

$$VPL = \frac{0,5(\$170) + 0,5(\$65)}{1,175} - \frac{\$115}{1,08} = \$100 - \$106,48 = -\$6,48 \quad (2.6)$$

Quando podemos levar em conta a flexibilidade na tomada de decisão sobre o investimento em um projeto, podemos avaliar adequadamente as alternativas disponíveis. Assim, para esse exemplo, a Tabela 2.1 mostra os ganhos correspondentes às duas possibilidades de investimentos.

³ Segundo Teixeira (2004), a taxa mínima de atratividade (TMA) varia de organização para organização, levando em consideração as incertezas quanto aos retornos advindos da execução de um projeto. Seu conceito está atrelado à ideia de que quando uma organização decide aplicar recursos em algum empreendimento, o capital investido tem de atingir, no mínimo, o nível da expectativa de ganho desta organização, ou pelo menos, o ganho que ela teria se o investimento fosse feito em um ativo de baixo risco.

Tabela 2.1 – Comparação de resultados possíveis para alternativas de investimento.

| | Fluxo de Caixa Esperado | Investimento | Resultado do Compromisso imediato | Resultado de Decidir mais tarde |
|------------------|-------------------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Cenário Positivo | \$170 | \$115 | \$55 | MAX[\$55,0] |
| Cenário Negativo | \$65 | \$115 | -\$50 | MAX[-\$50,0] |

Fonte: Baseado em Copeland e Antikarov (2001).

Baseado nas informações da Tabela 2.1, o valor do VPL poderia ser calculado de outra forma, como indicado na equação (2.7).

$$VPL = \frac{0,5(\$55) + 0,5(\$0)}{1,175} = \$23,40 \quad (2.7)$$

Como podemos notar, o VPL do projeto passou de -\$6,48 milhões (em um ambiente de imposição de tomada de decisão imediata sobre um investimento a ser executado no ano seguinte), para \$23,40 milhões (com a opção de confirmar o fluxo de caixa real da organização antes de se fazer o investimento). Consequentemente, o valor dessa opção é igual a \$23,40 – (-\$6,48) = \$29,88 milhões!

Embora essa abordagem já demonstre nítida superioridade ao cálculo de VPL tradicional, Copeland e Antikarov (2001) insistem em refiná-la ainda mais, corrigindo uma violação da regra econômica conhecida como “lei do preço único”, do termo em inglês “*law of one price*”⁴. Para isso, criaríamos “portfólios replicantes” (do termo inglês, “*replicating portfolio*”), que assumem a existência

⁴ A “lei do preço único”, ou “*law of one price*”, diz que dois ativos que geram os mesmos resultados líquidos em todos os estados da natureza são substitutos perfeitos e devem, dessa forma, ter o mesmo preço ou valor. Aplicado ao contexto do exemplo proposto, COPELAND & ANTIKAROV (2001) afirmam que essa lei exigiria que os valores da quinta coluna da Tabela 2.1 (55 ou 0) fossem perfeitamente correlacionados aos valores da quarta coluna (55 ou -50), o que não ocorre.

um número “m” de ações de um valor mobiliário⁵ equivalente ao projeto, um número “B” de títulos do mesmo e a taxa considerada de “risco zero” (r_f), que combinados como indicado pela equação (2.8), replicariam o comportamento dos ganhos do projeto em questão.

$$m(\text{Valor Mobiliário Equivalente}) + B(1 + r_f) = \text{Fluxo de Caixa} \quad (2.8)$$

Como é muito difícil encontrar na prática um valor mobiliário com comportamento equivalente aos projetos sendo avaliados, podemos utilizar o VPL tradicional do projeto, sem qualquer contabilização de flexibilidade na tomada de decisão sobre o investimento, assumindo que esse VPL é a melhor estimativa imparcial sobre o valor de mercado do projeto. Assim, utilizando-se das informações disponíveis na Tabela 2.1 e lembrando que r_f no exemplo é igual a 8%, teríamos:

$$m(\$170) + B(1 + 0,08) = \$55 \quad (2.9)$$

$$m(\$65) + B(1 + 0,08) = \$0 \quad (2.10)$$

Resolvendo esse sistema linear de duas equações, obtemos $m=0,524$ e $B=-\$31,54$. Com essas informações, podemos calcular finalmente o VPL do projeto, considerando o valor da alternativa de investimento (flexibilidade), como indicado pela equação (2.11):

$$m(\$100) + B = 0,524(\$100) - \$31,54 = \$52,40 - \$31,54 = \$20,86 \quad (2.11)$$

Assim, por essa abordagem pragmática, poderíamos calcular o valor mais preciso da opção de investimento mais tardio proposto no exemplo com sendo

⁵ Valores mobiliários são quaisquer títulos ou contratos de investimento coletivo, ofertados publicamente, que gerem direito de participação, de parceria ou remuneração, inclusive resultante da prestação de serviços, cujos rendimentos advém do esforço do empreendedor ou de terceiros. Fonte: <http://www.portaldoinvestidor.gov.br>

de \$27,34 milhões, um pouco menor do que aquela calculada com o resultado da equação (2.7).

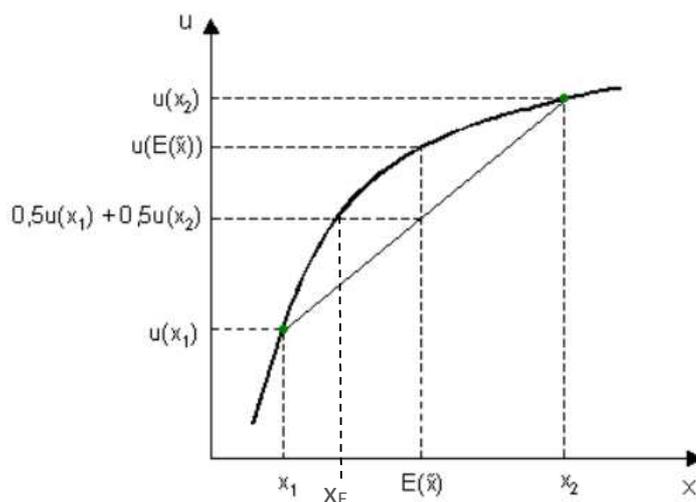
Copeland e Antikarov (2001) também demonstram numericamente a convergência dos resultados de seu método binomial de cálculo de OR com os resultados que seriam obtidos pela fórmula de Black-Scholes, embora reconheçam que a taxa dessa convergência não seja suave. Assim, devido à fundamentação teórica e relativa simplicidade para aplicação do método proposto por eles, o autor dessa dissertação o adotou como a principal referência para a proposta de análise por OR proposta nesse trabalho.

2.7.3. Função utilidade

Segundo Raiffa (1982) e Alchian (1953), se pudermos assinalar um conjunto de números (medidas) a vários itens de interesse para uma pessoa e formos capazes de afirmar que a entidade entre elas com maior número assinalado será a escolhida por essa pessoa, então podemos nomear essa medida de “utilidade”. Além disso, poderíamos também afirmar que escolhas são feitas para maximizar a utilidade. Analiticamente, é conveniente e comum postularmos que um indivíduo busca sempre maximizar a utilidade em suas escolhas, independentemente do tipo de item associado a essa utilidade.

Cusinato (2003) indica que a função utilidade é apenas um meio para se indexar matematicamente as preferências de indivíduos, sejam quais forem seus critérios para tomada de decisão. A Figura 2.8 exemplifica um função utilidade correspondente ao comportamento de um indivíduo avesso ao risco, onde x_1 e x_2 são, por exemplo, valores de lucratividade possíveis de uma dada aplicação financeira, cada uma com 50% de chance de ocorrer, $E(\tilde{x})$ o valor esperado de lucratividade, e $u(x_1)$, $u(x_2)$ e $u(E(\tilde{x}))$ os valores de utilidade correspondentes a cada valor citado de lucratividade.

Figura 2.8 – Função utilidade representando aversão ao risco de um investidor.



Fonte: Baseado em CUSINATO (2003).

Podemos notar que a utilidade do valor esperado da aposta financeira feita por esse indivíduo, $u(E(\tilde{x}))$, é maior do que o valor esperado da utilidade, $0,5u(x_1)+0,5u(x_2) = E(u(\tilde{x}))$. Em outras palavras, esse indivíduo hipotético preferiria ter 100% de certeza de receber o valor $E(\tilde{x})$ do que apostar com 50% de chance de receber ao final do investimento o valor x_2 . Além disso, esse indivíduo aceitaria ter 100% de certeza de receber valores inferiores a $E(\tilde{x})$, mas não inferiores a x_E , para evitar a aposta financeira. Assim a aversão ao risco tende a fazer com que os investidores aceitem retornos menores em troca de uma maior garantia de receber um dado retorno, mesmo que menor, e isto tende a gerar queda da utilidade, tanto em alguns investimentos financeiros, como em pesquisa e desenvolvimento.

De acordo com Norstad (2011), funções utilidade medem preferências de investidores quanto aos ganhos e a quantidade de risco que estão dispostos a aceitar na expectativa de obterem ganhos maiores. Isso permitiria desenvolver uma teoria de otimização de portfólio de investimentos e é por esse motivo que a teoria sobre utilidade é um tema central na teoria moderna sobre portfólios. Além disso, o seu princípio de maximização da utilidade esperada afirma que um investidor racional, quando confrontado com uma escolha entre um

conjunto de alternativas viáveis de investimento, agiria para selecionar aquela que maximizasse a utilidade relacionada ao ganho.

Downem (2005) sugere que uma função utilidade pode ser utilizada em muitos casos para descrever ou prever julgamentos preferenciais, em problemas de tomada de decisão. Entretanto, em situações onde múltiplos atributos devem ser avaliados, o tomador de decisão normalmente encontra dificuldades para escolher o nível de um atributo frente a um outro (por exemplo, velocidade da aeronave contra seu alcance), na busca de algum objetivo (por exemplo, atender um requisito de custo mínimo para transporte de passageiros). Uma forma para se expressar a regra para tomada de decisão nessas situações é combinar os vários atributos em um índice escalar de utilidade (ou preferência, ou valor), e escolher a alternativa mais bem ranqueada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dos métodos para aferição da prontidão tecnológica é a TRL. O principal propósito desse método é o de ajudar gestores a tomarem decisões relativas ao desenvolvimento e transferências de tecnologia, devendo ser visto como uma de várias ferramentas necessárias para gerenciar o progresso de atividades de pesquisas e desenvolvimento dentro de uma organização (NRC, 2014). O NRC ainda indica que uma das vantagens do modelo TRL seria o fato deste poder ser utilizado para dar suporte às decisões sobre investimento em tecnologias.

Segundo Mankins (2009), desde o seu desenvolvimento pela NASA a partir de meados dos anos 1970, o uso do método de avaliação do nível de prontidão tecnológica, TRL, vem aumentando gradativamente, sendo adotado pelas agências do DoD e seus fornecedores. A partir dos anos 2000 já havia uma versão da TRL sendo usada pela Agência Espacial Europeia e pelo Japão, sendo que o padrão atual dessa métrica foi adotado mundialmente a partir de 2006.

Sauser et al. (2005), citando outros autores, afirmam que embora o uso de TRL pela NASA e DoD seja similar, há uma ligeira variação de sua interpretação por parte destas duas organizações. Por exemplo, a NASA especifica que as tecnologias devem ser maturadas até atingirem TRL 6 antes que uma missão possa assumir o compromisso de adotá-las, enquanto o DoD declara que uma tecnologia deve atingir TRL 7 antes de ser incluída em um programa de sistemas bélicos.

Segundo NASA (2007), avaliações de prontidão tecnológica baseadas no modelo TRL são utilizadas para substanciar os três primeiros KDP's sobre a passagem entre fases do ciclo de vida de seus produtos espaciais: entre a fase de estudos conceituais (Pré-fase A) para o desenvolvimento de conceito e tecnologia (Fase A); da Fase A para a fase de projeto preliminar e finalização tecnológica (Fase B); e da Fase B para o projeto final e fabricação (Fase C).

A metodologia TRL não é uma unanimidade, sendo que inúmeros autores apontam suas limitações e deficiências. Por exemplo, Sarfaraz et al. (2012) afirmam que um de seus pontos fracos é a subjetividade da determinação do valor da prontidão tecnológica. Eles acreditam que essa métrica não possui os meios de determinar a maturidade da integração entre diferentes tecnologias e seus impactos em um sistema. Ainda segundo esses autores, uma avaliação adequada da maturidade de integração entre as tecnologias empregadas em um projeto é crítica para seu sucesso.

Phillips (2010) declara que a métrica TRL se mostrou incapaz de capturar consistentemente os aspectos humanos relacionados ao desenvolvimento de novas tecnologias e suas associações com a prontidão tecnológica. Ele propõe um modelo de avaliação do nível de prontidão humana (*Human Readiness Level* – HRL), complementar ao modelo TRL, a ser utilizado nos processos de gerenciamento de riscos de programas do DoD. Tal modelo serviria, segundo o autor, como um guia para profissionais envolvidos com os processos de aquisição daquela organização pública norte-americana considerarem adequadamente riscos associados a fatores humanos em todas as fases e marcos dos processos de compras do departamento de defesa dos Estados Unidos.

Azizian et al. (2009) indicam que, como resultado da crescente complexidade dos sistemas e da falta de objetividade da ferramenta, o modelo TRL falha em prover compreensão suficiente sobre a maturidade de tecnologias sendo avaliadas pela área de aquisições do DoD para uso em projetos, normalmente de grande escala de produção, embora reconheçam que o modelo TRL é adequado para o desenvolvimento de produtos em baixos volumes, como é o caso da NASA. Esses autores fizeram análises SWOT entre diferentes métodos alternativos ao TRL, sejam eles qualitativos, quantitativos ou automáticos, sem conseguir estabelecer de forma clara qual deles deveria ser adotado pelo DoD em substituição à metodologia TRL para melhorar a capacidade dos gestores a reduzir os riscos de estouros de orçamento, atrasos

e degradação de desempenho de projetos. Um resumo de suas análises encontra-se na Tabela 3.1.

O estudo de Olechowski et al. (2015) sobre o estado da arte da métrica de nível de prontidão tecnológica indica que a TRL é efetivamente o padrão em muitas indústrias, expondo evidências obtidas diretamente de organizações tais como NASA (Espaço), Raytheon (Defesa), BP (Óleo e Gás), Bombardier (Aeronáutica), John Deere (Equipamentos Pesados), Alstom (Sistemas de Energia) e Google (Tecnologia de Informação e Eletrônicos).

Segundo o DoE (2011), o processo de avaliação da prontidão tecnológica adotado pelo DoE americano é baseado nos processos de TRA da NASA e do DoD, que tem como base o TRL. O DoE também reconhece que níveis mais baixos de TRL estão associadas a projetos pilotos ou testes em menor escala de produção (Escala de Bancada: até 1/10 da escala de produção final do projeto; Escala de Engenharia: entre 1/10 e a escala de produção final do projeto), e somente após a TRL6 é que a escala final de produção é testada.

Tabela 3.1 – Análise SWOT de técnicas de avaliação de maturidade tecnológica.

| Tipo | Exemplos | Forças | Fraquezas | Oportunidades | Ameaças |
|--------------|---|---|--|--|---|
| Qualitativo | MRL Integration Readiness Level (IRL) TRL for non-system technologies TRL for Software Technology Readiness Transfer Level (TRRL) AD2 Research and Development Degree of Difficulty (RD3) | Avalia a maturidade de uma tecnologia em um dado momento; | Não fornece uma plataforma comum para desenvolvimento de sistemas e introdução de tecnologias | Permite adaptações para uso em diversos sistemas por sua flexibilidade e agilidade | Definições são sujeitas à interpretação pessoal |
| | | Une <i>stakeholders</i> para avaliar maturidade de tecnologias de componentes, podendo fomentar discussões sobre outros fatores importantes | Simplifica demasiadamente muitos fatores de maturidade em um valor; Não incorpora o fator de integração entre duas tecnologias | Ser utilizado em novas aquisições | É muito genérica para aplicação em qualquer programa |
| | | Pode ser executada rápida e iterativamente; | Não avalia maturidade de sistemas complexos constituídos de muitas tecnologias | Atingir acurácia e precisão através de critérios de saída mais concretos e sucintos | Avaliações errôneas podem causar impacto adverso na operação e missão do sistema |
| | | Não exige conhecimento prático sobre ferramentas complexas de avaliação | Não aborda obsolescência e risco de incorporação de tecnologias menos maduras em um sistema | Expandir e integrar-se com outros sistemas de medição | Estimativas erradas podem impactar custos e cronograma |
| | | | Subjetividade; Baseia-se em conhecimento tácito | | |
| Quantitativo | System Readiness Level (SRL) e SRL Max Technology Readiness and Risk Assessment (TRRA) Integrated Technology Analysis Methodology (ITAM) Tech. Insertion Metric TRL Schedule Risk Curve | Relativamente preciso quando comparado com técnicas qualitativas | Pode ser muito complexo e difícil de aplicar por um técnico médio | Se tornar genérico o suficiente para atingir as necessidades de avaliação de maturidade do DoD | Cria uma barreira de linguagem entre aqueles que tem o conhecimento prático do modelo e aqueles que não o tem |
| | | Avaliação da maturidade de uma tecnologia em um dado momento | Maior tempo é necessário para executar análises qualitativas | Ser utilizado para novas aquisições | Desencoraja avaliações de maturidade devido à complexidade do modelo |
| | | Métricas tangíveis para suportar tomada de decisão | Pode ser específico, não podendo ser adaptado para outros programas | Maior acurácia e precisão: integração de métricas relevantes no modelo | Sujeito a erros de cálculo. |
| | | Integra múltiplos sistemas de medição | Difícil de executar de forma iterativa | Automatizar o modelo matemático usando ferramentas como o MS Excel | |
| | | Relativamente objetivo | | | |
| | | Não é sujeito à interpretações pessoais | | | |
| Automático | TRL Calculator MRL Calculator Technology Program Management Model (TPMM) | Avaliação de maturidade de uma tecnologia em um dado momento; | Discrepâncias no resultado se questões são respondidas incorretamente ou omitidas | Atingir acurácia e precisão através de critérios de saída mais concretos e sucintos | Resultados na forma de definições são sujeitos à interpretações pessoais |
| | | Comparação entre diferentes tecnologias baseado em perguntas padronizadas; | Não informa sobre o risco envolvido em se elevar a maturidade | Tornar-se mais amigável ao usuário | Discrepâncias nos resultados: questões ambíguas. |
| | | Pode ser executado rápida e iterativamente; | Sem métricas quantitativas e tangíveis | | Ferramentas comerciais podem ter custo elevado |
| | | Não é sujeito a erros de cálculo; | Definições subjetivas | | |

Fonte: baseada em Azizian et al. (2009).

Além da evolução da prontidão tecnológica, outros aspectos devem ser levados em consideração na tomada de decisão sobre investimentos em pesquisas que permitam o desenvolvimento de novos produtos. Loch e Kavadias (2008) afirmam que o processo de Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD) consiste das atividades de uma organização que conduzam a um fluxo de oferta ao mercado de produtos novos ou modificados ao longo do tempo, incluindo a geração de oportunidades, sua seleção e transformação em artefatos (produtos manufaturados) e atividades (serviços) oferecidos aos clientes, além da institucionalização das melhorias nas próprias atividades de NPD.

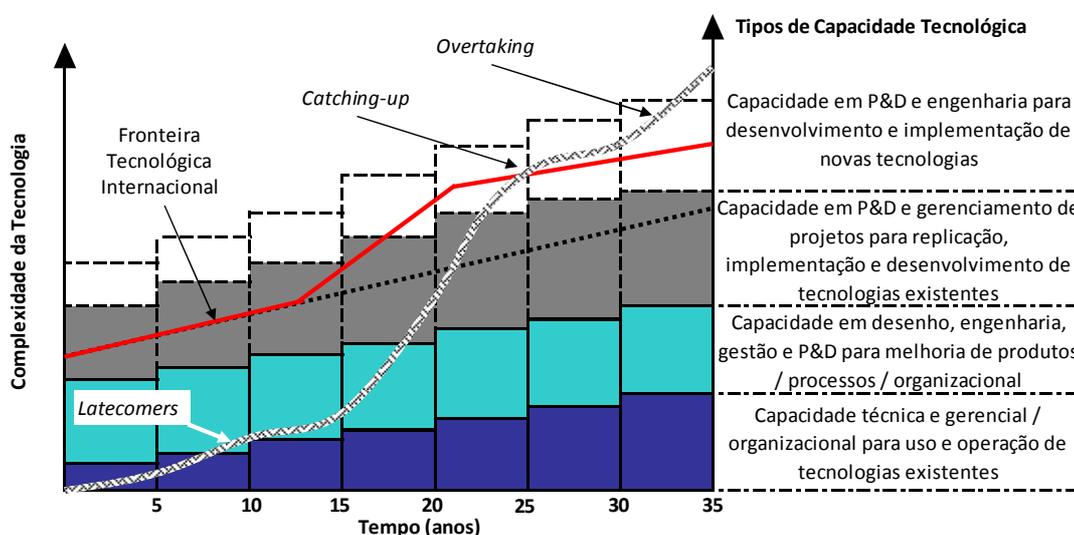
Quando tratamos de organizações de países em desenvolvimento, as ideias sobre novos produtos podem inicialmente derivar da necessidade de se eliminar ou diminuir a defasagem com relação à fronteira tecnológica internacional. Figueiredo (2009) indica que há, pelo menos, dois tipos de trajetórias de acumulação de capacidade tecnológica para essas organizações. O primeiro, conhecido como trajetória de alcance ou *catching-up*, refere-se ao movimento de acumulação tecnológica que conduz a organização para uma posição muito próxima da fronteira tecnológica de produção e/ou inovação. O segundo, conhecido como ultrapassagem ou *overtaking*, conduz a organização para uma posição na própria fronteira tecnológica, ou seja, a empresa torna-se uma das líderes tecnológicas em nível mundial. Ao longo dessas trajetórias, a organização se tornaria gradativamente mais capacitada, seguindo uma “escada” tecnológica com os seguintes degraus:

- a. Capacidade técnica e gerencial para usar e operar tecnologias existentes no mercado;
- b. Capacidade em desenho, engenharia, gestão e P&D para aprimoramento incremental de produtos/processos e organizacional;
- c. Capacidade em P&D e engenharia básica/gestão de projetos para copiar, implementar e desenvolver tecnologias existentes; e

- d. Capacidade em P&D e engenharia para desenvolver e implementar novas tecnologias.

A Figura 3.1 ilustra as duas trajetórias citadas por Figueiredo (2009). A complexidade de uma dada tecnologia é indicada em seu eixo vertical esquerdo. Os tipos e níveis de capacidade tecnológica, citados acima, são indicados no eixo vertical direito.

Figura 3.1 – Trajetórias de acumulação de capacidade tecnológica em organizações de países em desenvolvimento.



Fonte: Baseado em Figueiredo (2009).

Fridgeirdottir e Akella (2005) indicam que uma atividade fundamental de um processo NPD é o gerenciamento do portfólio de produtos, baseando-se na capacidade disponível na organização, sendo que as decisões são tomadas em altos níveis executivos e gerenciais e são frequentemente estratégicas por natureza. Afirmam também que, em geral, empresas tendem a escolher um número excessivo de novos produtos para trabalhar, o que provoca longos ciclos de desenvolvimento ou cancelamento de projetos.

Em sua tese de doutorado, Eggert (2008) abordou justamente o problema de maximização de retorno de investimentos em pesquisas em instituições com

limitações de recursos para a realização de atividades de NPD, tendo avaliado em detalhe a questão do número de novos produtos e tecnologias a serem desenvolvidas. A questão de tecnologia é mais importante que a do produto, já que uma tecnologia vantajosa tem uso amplo em vários produtos, e vida útil bem maior que a de qualquer produto que a use. Nesta análise híbrida, inovaram-se substancialmente em diagramas de bolha que envolveram itens como avaliação de estabilidade via análise estrutural de Gordon, Godet, Vester, Gausemeier.

Segundo Cooper et al. (2001) e Eggert (2008), o gerenciamento de portfólio é um processo de decisão dinâmico no qual uma lista de projetos ativos de P&D e de novos produtos é constantemente atualizada e revisada. Nesse processo, novos projetos são avaliados, selecionados e priorizados; projetos existentes podem ser acelerados, cancelados ou terem reduzida sua priorização; e recursos são alocados e realocados aos projetos ativos. O processo decisório sobre o portfólio é caracterizado por incertezas e informações voláteis, oportunidades dinâmicas, múltiplos objetivos e considerações estratégicas, interdependência entre projetos, além de múltiplos tomadores de decisão. Tal processo decisório inclui revisões periódicas do portfólio total de projetos da organização (comparando uns aos outros), escolhas recorrentes do tipo *Go / Kill / Wait / Accelerate / Slow Down* sobre projetos individuais (usando a abordagem de pontos de decisão), e criação de uma estratégia corporativa para o desenvolvimento de novos produtos, complementada com decisões sobre alocação estratégica de recursos.

Shishko (2003) afirma que um problema antigo e recorrente da NASA consiste em como alocar recursos escassos para desenvolvimento de tecnologias avançadas de forma a melhor suportar um grande número de potenciais futuras missões espaciais. Segundo esse autor, dentro da NASA há dois paradigmas para gestão de portfólio de investimento em tecnologia (TIP, do inglês *Technology Investment Portfolio*) que receberam muita atenção recentemente:

a abordagem de OR e o modelo de Missão Ampla (*Broad Mission Model*). A abordagem baseada em OR foca no investimento necessário para o desenvolvimento de uma dada tecnologia e sua utilização em missões que potencialmente podem vir a utilizá-la. Essa abordagem tenta avaliar quanto vale o direito de se empreender o desenvolvimento dessa tecnologia. A abordagem do Modelo de Missão Ampla concentra-se em um conceito amplo de missão e todos os investimentos em tecnologia que potencialmente poderiam ser feitos. Neste caso, tenta-se responder como recursos limitados para desenvolvimento de tecnologia deveriam ser aplicados para melhorar os resultados de uma missão.

Em avaliações comerciais de projetos de engenharia onde o objetivo principal é redução de custos, Hawes e Duffey (2008) indicam que normalmente são utilizadas estruturas de trabalho baseadas em fluxo de caixa, que incluam análises dos custos marginais de implementação e impactos positivos de custos evitados. Métodos tradicionais para analisar fluxos de caixa descontados (*Discounted Cash Flows* - DCF) são o VPL e IRR. Entretanto, análises DCF são raramente utilizados pela NASA como uma das ferramentas para formulação de projetos. A experiência da NASA indica que há uma grande incerteza associada às estimativas de custo de desenvolvimento total de um projeto e os potenciais benefícios de redução de custo que tal projeto podem trazer para missões espaciais que o empregue. Essas incertezas estariam associadas à maturidade das tecnologias, dificuldade de estimativas de custos para projetos não convencionais (*one-of-a-kind*), prioridades e pressões políticas. Problemas tais como alterações de natureza política ou baixo desempenho de um parceiro internacional são particularmente difíceis de quantificar. Análises DCF tradicionais não incorporam componentes de incerteza (o método mais comum – e mais problemático – é assumir taxas de desconto maiores do que as normalmente utilizadas, visando incorporar riscos). Entre os métodos alternativos que estão sendo explorados para endereçar as

deficiências do DCF, a análise de OR tem recebido considerável atenção na avaliação de grandes projetos comerciais.

De acordo com Teixeira (2004), o método VPL é utilizado em análises de investimentos, visando subsidiar a escolha de alternativas que tragam mais rentabilidade ou menores custos para a organização.

Segundo Dias (2005), um importante diferencial do método de OR sobre o método VPL seria o fato de que o primeiro incentiva a realização faseada de investimentos, pois a informação obtida numa fase serve para decidir otimamente sobre o projeto da fase subsequente (exercer a opção adequada). Neely (1998) diz que, mesmo com as incertezas inerentes aos projetos de P&D, sua natureza sequencial permite que os riscos possam ser mitigados simplesmente pela tomada de decisões embasadas na redução gradativa dessas incertezas conforme as pesquisas avançam. O impacto dessa redução de incertezas ao longo do tempo pode ser capturado por metodologias baseadas em OR.

Neufville (2001) diz que o uso de OR é preferível aos métodos baseados em fluxos de caixa descontados (tais como o VPL), uma vez que eles são inapropriados e falhos sempre que o ambiente do projeto for incerto.

Segundo Trigeorgis (1996), análises de OR podem ser vistas operacionalmente como versões corrigidas em sentido econômico de análises de árvores de decisão. Também afirmam que um método para sua precificação assumiria que o VPL pode ser levado em consideração como o valor de referência de um projeto quando não há nenhuma flexibilidade gerencial significativa. Quando existe tal flexibilidade, o VPL precisaria ser ajustado para contabilizar tal flexibilidade. Trigeorgis chamou esse VPL corrigido de Valor Presente Expandido, como indicado na equação (3.1).

$$\text{VPL expandido} = \text{VPL tradicional} + \text{Valor flexibilidade gerencial} \quad (3.1)$$

Copeland e Antikarov (2001) definem OR como o direito, mas não a obrigação, de tomar uma ação (por exemplo, cancelar, expandir, executar ou reduzir investimentos em um projeto) com um pré-determinado custo (preço de exercício da opção), por um pré-determinado período de tempo (a vida da opção).

Entretanto, há dificuldades para a aplicação de OR. Santos e Pamplona (2002) dizem que um dos problemas é estimar a volatilidade de um ativo subjacente não comercializado, diferentemente do que ocorre com as opções financeiras (ações negociadas em bolsa, por exemplo), que possuem seus valores registrados em séries históricas. Como o valor da opção é sensível à incerteza do ativo subjacente, fazem-se necessárias estimativas razoáveis da volatilidade do mesmo. Além disso, na teoria de precificação de opções, é importante que o ativo subjacente seja negociado para transmitir uma avaliação livre de arbitragem. Se o ativo não é negociado e se, além disto, não tem preço de mercado, para muitos autores é praticamente impossível determinar o valor da opção (TRIGEORGIS *apud* SANTOS & PAMPLONA, 2002). Assim, para se evitar esse tipo de problema em avaliações por OR de projetos de P&D em que os produtos resultantes dos investimentos não serão necessariamente comercializados, podem-se utilizar abordagens baseadas na teoria da utilidade. Em economia, o termo “utilidade” é geralmente sinônimo de “valor”, e refere-se ao nível de satisfação do consumidor com um dado produto (NAGLE *et HOLDEN* *apud* DOWNEN, 2005).

Segundo Downem (2005), em problemas de tomada de decisão, pode-se utilizar frequentemente uma função utilidade para descrever ou prever julgamentos preferenciais.

Diferentemente de empresas, organizações públicas nem sempre conseguem aplicar tais métodos de avaliação aos seus projetos de P&D, uma vez que os

benefícios advindos de tais projetos podem não ser financeiros. Piric e Reeve (1997) indicam que os resultados mais importantes dos investimentos em P&D efetuados pelo poder público, tais como a geração de novos conhecimentos, habilidades e experiências, são intangíveis e não quantificáveis, pois seus benefícios poderão se realizar apenas no longo prazo e impactar áreas não relacionadas. Desta forma, esses autores afirmam que seria crucial reconhecer que tais investimentos devem refletir um amplo conjunto de temas (econômicos, sociais, ambientais e culturais) e não somente estar preocupados com estreitas interpretações de "resultado econômico". Polcuch (2001, página 14) assinala que, mesmo com as atuais discussões a respeito da sociedade do conhecimento, os principais documentos para análise de impactos de Ciência e Tecnologia (C&T) concentram-se ainda nos aspectos puramente econômicos, quando deveriam ser orientadas à resolução de problemas sociais.

Lackner (1999) diz que no setor privado os produtos finais derivados dos investimentos tecnológicos (por exemplo, novos medicamentos da indústria farmacêutica) têm a importante característica de serem bens que serão comercializados no mercado. Desta forma, há grandes chances de informações sobre a demanda dos consumidores tornarem-se disponíveis e então permitir que os resultados dos investimentos em P&D sejam convertidos em unidades monetárias. Entretanto, no caso dos investimentos da NASA em tecnologias avançadas, os produtos finais, os quais devem ser utilizados como referência para justificar tais investimentos, são resultados científicos do ramo espacial e descobertas a serem divulgadas mundialmente, ou verdadeiros bens públicos. Desta forma, um método baseado em OR para avaliar os investimentos tecnológicos da NASA precisa considerar os aspectos relacionados a utilidade pública dos produtos gerados e o problema de avaliar seus benefícios para a sociedade.

Finalmente, de acordo com DCLG (2009), análises de efetividade de custos (CEA, do termo em inglês *Cost Effectiveness Analysis*) e análises de custo-

benefício (CBA, do inglês *Cost Benefit Analysis*) são formas analíticas de se comparar diferentes tipos de entradas e saídas relacionadas a um projeto, atribuindo-lhes valores monetários. Entretanto, o DCLG recomenda métodos de análise multicritério (MCA, do inglês *Multi-criteria analysis*) para se comparar projetos, os quais não exigem que a atribuição de valores monetários seja feita para todos os critérios de interesse. Tais métodos podem, inclusive, utilizar dados de CEA ou CBA. Um dos principais métodos MCA é a Teoria da Utilidade Multi-Atributos (MAUT - *Multi-Attribute Utility Theory*), que utiliza funções utilidade para converter escalas de atributos numéricos em escalas de unidade de utilidade, permitindo assim comparação direta de diversas métricas.

4 ABORDAGEM PROPOSTA

4.1. Principais direcionadores desse trabalho

A abordagem proposta nessa dissertação foi construída tendo em mente alguns direcionadores principais, que são listados abaixo:

- A abordagem proposta deveria ser simples de se aplicar e compreender, visando diminuir a resistência quanto à sua adoção;
- A aplicação dessa abordagem almeja dar suporte ao processo decisório sobre investimentos em projetos de P&D de organizações de pesquisa sem fins lucrativos, como o INPE, tornando-o mais eficiente;
- A eficiência no conjunto de investimentos em P&D seria medida pelo atingimento de seus objetivos estratégicos de capacitação tecnológica, com o uso mínimo de recursos e maximização dos resultados para a organização;
- Abordagens quantitativas são mais adequadas para medir o atingimento de metas, sendo menos sujeitas a subjetividades características de critérios qualitativos;
- Há modelos de gerenciamento do desenvolvimento de novos produtos adotados largamente por empresas comerciais de sucesso que poderiam ser adaptados para melhorar os processos correspondentes de organizações de pesquisa sem fins lucrativos;
- Há modelos de avaliação da capacitação tecnológica consagrados pelo setor espacial;
- Os métodos mais consagrados de avaliação de projetos de P&D avaliam, de diferentes formas, seu potencial retorno financeiro dos

mesmos, dificultando seu uso por organizações que não irão necessariamente comercializar seus produtos;

- Existem modelos de quantificação do valor de produtos para seus usuários ou beneficiários, que podem ser utilizados para gerar um referencial quantitativo de produtos que não produzirão receitas;
- Os modelos de desenvolvimento de novos produtos, capacitação tecnológica e avaliação financeira de projetos podem ser adaptados e combinados em uma abordagem mais apropriada às organizações de pesquisa sem fins lucrativos.

4.1.1. Expectativas sobre o desenvolvimento de novos produtos

A abordagem proposta nesse trabalho busca permitir que organizações de pesquisa, que não irão necessariamente comercializar seus produtos, possam aplicar eficientemente seus recursos em capacitação tecnológica e desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades e expectativas de seus *stakeholders*.

O domínio de tecnologias críticas e de difícil acesso, diminuição da distância quanto à capacitação tecnológica dos centros de pesquisa nacionais frente aos seus pares internacionais de maior expressão, faz parte dos objetivos estratégicos do PNAE (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2012).

Para gerenciar eficientemente uma carteira de projetos de capacitação tecnológica, Cooper (2006) propõe um modelo conceitual e operacional, diferente dos tradicionais processos de desenvolvimento de novos produtos, capaz de lidar adequadamente com as características específicas, riscos e incertezas de projetos de desenvolvimento tecnológico (Figura 2.5). Os elementos desse modelo são listadas abaixo:

1. Ponto de Decisão 1: Seleção da Ideia; a decisão inicial de se comprometer uma certa quantidade de recursos (tempo e dinheiro) para um projeto de pesquisa. Os critérios para a seleção das ideias que possuem algum mérito para uma investigação mais detalhada são em sua maioria qualitativos, e verificam itens tais como: alinhamento e impacto na estratégia da organização e possibilidade de sucesso técnico.
2. Etapa 1: Escopo do Projeto. Essa etapa busca criar a base do projeto de pesquisa, definindo seu escopo e planejamento macro. As atividades desempenhadas aqui são conceituais e de preparação, incluindo pesquisa da literatura, patentes e propriedade intelectual, avaliação de alternativas competitivas e análise técnica preliminar.
3. Ponto de Decisão 2: Seguir para avaliação técnica? Aqui se deve decidir se deverão ser feitos os primeiros trabalhos experimentais e técnicos. Novamente, os critérios utilizados são principalmente qualitativos.
4. Etapa 2: Avaliação técnica. Essa fase visa demonstrar a viabilidade técnica da ideia em condições ideais. Algumas das atividades típicas dessa etapa são: análise tecnológica conceitual detalhada, experimentação de viabilidade, desenvolvimento de rede de parceiros do projeto (dentro e fora da organização), identificação dos recursos necessários e soluções para aqueles não disponíveis e avaliação detalhada do impacto da tecnologia na organização.
5. Ponto de Decisão 3: Seguir para investigação detalhada? É nesse momento que a organização precisa decidir se haverá um comprometimento mais substancial para o avanço do projeto de pesquisa. Esse ponto de decisão é, portanto, mais exigente que o anterior, e é baseado nas informações obtidas na avaliação técnica precedente.

6. Etapa 3: Investigação detalhada. Nessa etapa deve-se executar o planejamento completo de experimentação, provar a viabilidade técnica e determinar o escopo completo da tecnologia e seu valor para a organização. Essa etapa pode necessitar de uma quantidade significativa de recursos, sendo identificadas as possibilidades processuais e de mercado associados aos produtos que poderão ser desenvolvidos baseados na tecnologia, preparando-se um caso de negócio relacionado a esse desenvolvimento. Se o desenvolvimento da tecnologia de alguma forma se desviar muito do que foi planejado para essa etapa, o projeto deve ser reavaliado pelos critérios do “ponto de decisão 3”, decidindo-se novamente se ele deve ser interrompido ou se deve continuar.

7. Ponto de decisão 4: qual a estratégia de implementação a ser adotada? Os resultados de todo o trabalho técnico feito anteriormente são revisados nesse ponto, determinando-se a aplicabilidade, escopo e valor da tecnologia para a organização. Além disso, decide-se os próximos passos para sua implementação. Assim, a conclusão pode ser iniciar um ou mais projetos específicos de desenvolvimento de novos produtos baseados na tecnologia que foi maturada. É importante destacar então que esse ponto de decisão liga-se aos pontos de decisão iniciais de um processo convencional de desenvolvimento de novos produtos (como indicado na Figura 2.4).

4.1.2. Escolhas das metodologias de referência

A escolha das metodologias que serviram de referência para a proposição da abordagem descrita nesse trabalho baseou-se nas seguintes considerações:

Metodologia TRL:

- É a base do processo de avaliação da prontidão tecnológica utilizado pela NASA, havendo farto material de referência sobre como tal metodologia é aplicado em pontos cruciais de tomada de decisão ao longo do ciclo de desenvolvimento de novos produtos daquela organização;
- É a metodologia de avaliação de prontidão tecnológica mais disseminada no mundo (MANKINS, 2009; OLECHOWSKI et al., 2015).

Metodologia *Stage-Gate* de desenvolvimento de novos produtos:

- Seu modelo, baseado em etapas e pontos de decisão se assemelha às etapas do ciclo de vida de produtos espaciais de organizações como NASA e INPE;
- É baseado no modelo BAH, referência mundial para o desenvolvimento eficiente de novos produtos (BHUIYAN, 2011);
- Cooper (2006) desenvolveu uma variante da metodologia original, para torná-la mais adequada às características específicas de projetos de desenvolvimento tecnológico, a qual será utilizada como referência para esse trabalho;
- A execução de um processo de desenvolvimento de novo produto baseado nessa metodologia está relacionada à compra de opções em um investimento financeiro (COOPER, 2008), suportando a proposta desse trabalho de se adotar os resultados de análises de OR para tomada de decisão em projetos de desenvolvimento tecnológico.

Gerenciamento financeiro de portfólio de projetos de P&D:

- É a abordagem dominante para o gerenciamento de portfólios e seleção de projetos, sendo mais utilizado do que abordagens mais qualitativas,

tais como àquelas baseadas na estratégia da organização, diagramas de bolhas e modelos de pontuação;

- Esse tipo de gerenciamento é considerado uma das atividades fundamentais de um processo de desenvolvimento de novos produtos (FRIDGEIRSDOTTIR e AKELLA, 2005).

Metodologia de análise de OR:

- É uma das metodologias sendo adotadas pela NASA para tentar melhorar a alocação de recursos para o desenvolvimento de novas tecnologias Shishko (2003);
- É superior a métodos mais tradicionais de avaliação financeira de projetos, tais como o VPL (COPELAND e ANTIKAROV, 2001);
- Diversos autores defendem a tese de que o método de OR é naturalmente adequado à análise de projetos de P&D (HAWES e DUFFEY, 2008).

Função Utilidade:

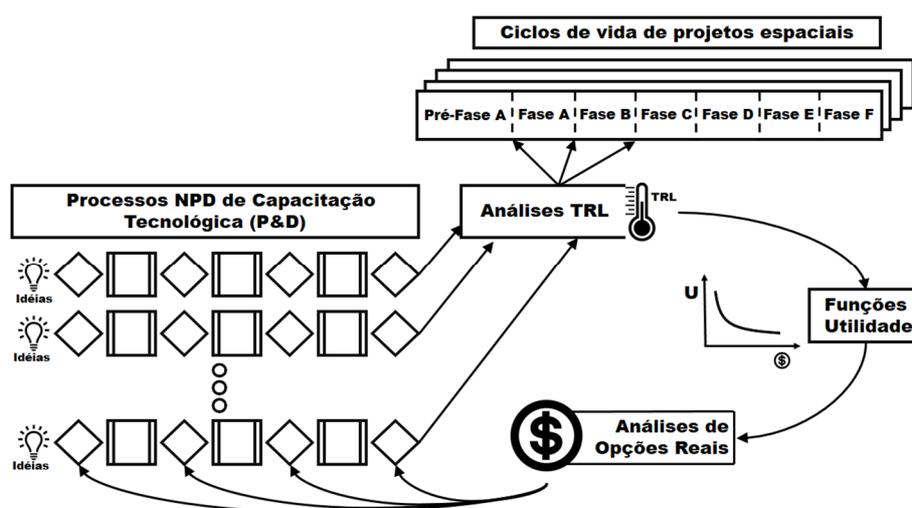
- Como grande parte dos projetos de desenvolvimento de produtos de organizações como o INPE não visam a geração de receitas, a metodologia de definição de funções utilidade podem ser utilizadas para quantificar o valor desse tipo de projeto para que atinjam os objetivos estratégicos da organização;
- A quantificação proporcionada pela identificação da função utilidade de um projeto pode nos auxiliar a entender os critérios de tomada de decisão sobre investimentos Cusinato (2003);
- Funções utilidade podem ser utilizadas para a otimização de portfólios de investimento (NORSTAD, 2011);

- Podem-se combinar vários atributos em um índice escalar de utilidade (DOWNEM, 2005), facilitando-se o processo de quantificação do valor de cada projeto de desenvolvimento frente aos diferentes critérios que podem ser relevantes para uma organização como o INPE.

4.1.3. Relacionamento das metodologias de referência

A abordagem proposta combina algumas das entradas e saídas das metodologias propostas, de forma a criar ciclos de cálculo do valor das opções de investimentos em projetos de capacitação tecnológica, monitoramento recorrente do avanço dessa capacitação e tomada de decisão sobre como investir os recursos disponíveis, como indicado pela Figura 4.1.

Figura 4.1 – Relacionamento das metodologias de referência.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Na Figura 4.1, os inúmeros projetos de P&D para capacitação tecnológica (à esquerda da figura) são avaliados seguindo a metodologia TRL em momentos chave do ciclo de desenvolvimento de um projeto espacial (parte superior da figura). Os resultados dessas avaliações dos projetos de P&D afetam a decisão de utilizar ou não as tecnologias correspondentes nas fases seguintes do desenvolvimento do projeto espacial (por exemplo, um satélite). Além disso,

tais resultados servem de entradas para cálculos do valor da utilidade e das Opções Reais de cada um dos projetos de P&D para a organização. Fechando o ciclo indicado na Figura 4.1, a análise das OR afetam o quanto deveria ser investido nas etapas seguintes dos projetos de capacitação tecnológica. Podemos assim imaginar que os processos NPD de capacitação tecnológica são monitorados por “sensores de TRL”. Esses sensores geram entradas para o comando de “válvulas” no processo de desenvolvimento de um novo satélite (correspondentes aos KDP A, B e C) e para serem processados por “leis de controle” baseadas em TOR e Teoria de Utilidade. O resultado desse processamento “fecha a malha”, comandando “válvulas” nos processos de capacitação tecnológica. Essas “válvulas” controlariam o quanto de recursos cada projeto recebe em cada ciclo de desenvolvimento.

Organizações como a NASA e o INPE (em menor volume) criam projetos de P&D para aumentar sua capacitação tecnológica e atingir seus objetivos estratégicos. Tais projetos visam amadurecer ideias e conceitos até que os mesmos estejam consolidados na forma de novos conhecimentos, processos, protótipos e produtos, e esta abordagem propõe que isso ocorra de acordo com a metodologia *Stage-Gate* para P&D desenvolvida por Cooper (2006). Essa etapa está indicada na parte esquerda da Figura 4.1, sendo que cada projeto de capacitação tecnológica é representado por uma sequência de losangos e retângulos, representando respectivamente, os pontos de tomada de decisão e etapas de trabalho de um processo *Stage-Gate*.

Na abordagem aqui proposta, utilizamos a metodologia de OR para suportar as tomadas de decisão sobre investimento anual em cada projeto. Entretanto, como os objetivos estratégicos de organizações como o INPE e a NASA raramente estão associados a expectativas de receitas associadas à prestação de serviços ou comercialização de produtos, devemos utilizar meios de se atribuir valor financeiro a cada um dos projetos, para que seja possível aplicar

as ferramentas de análise de OR. Na abordagem proposta, isso é feito inspirando-se na metodologia de Funções Utilidade Multicritério.

Finalmente, essa carteira de projetos de capacitação tecnológica deve ser gerenciada adequadamente, para que as tecnologias atinjam o grau de maturidade necessário para serem consideradas aptas para emprego pelos responsáveis técnicos de seus diferentes projetos espaciais. Assim, verifica-se anualmente qual o nível de prontidão que cada tecnologia atingiu na organização, avaliando as informações e artefatos físicos gerados durante as atividades de cada processo de NPD segundo os critérios da metodologia TRL. As informações sobre os níveis de prontidão tecnológica de cada projeto de P&D serão então utilizados para suportar a tomada de decisão de uso dessas tecnologias pelos projetos espaciais sendo desenvolvidos pela organização que ocorre na transição das fases iniciais dos seus ciclos de desenvolvimento. Na Figura 4.1, isso é exemplificado em sua parte superior, sendo que as informações sobre a TRL atingida por cada projeto de P&D é utilizada nas transições entre pré-fase A e fase A, fases A e B, e fase B e C.

O ciclo proposto para gerenciamento de um portfólio de projetos de P&D para capacitação tecnológica é então fechado, através do uso das informações sobre as TRL atingidas como um dos atributos das funções utilidades.

5 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA E RESULTADOS

5.1. Programa de desenvolvimento de Tecnologias Críticas e Restritas (PTCR) do INPE

Visando a capacitação tecnológica do país, paralelamente aos projetos de desenvolvimento de satélites, há no INPE programas de P&D em diversas áreas. Especificamente na área de Engenharia Espacial, destaca-se o desenvolvimento de projetos visando à capacitação nacional em tecnologias críticas e de acesso restrito, as quais, segundo o PNAE (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2012), devem ser dominadas para que o Brasil possa superar as barreiras ao conhecimento e à aquisição de importantes tecnologias espaciais, que reforcem as competências do INPE na área e suportem a continuidade de suas missões espaciais.

De acordo com Perondi (2012), a direção do INPE àquela época buscava apoiar projetos de capacitação com ênfase em:

- Subsistemas: especialmente estrutura, controle térmico, controle de atitude e órbita, potência, computação de bordo e telecomunicações e, equipamentos que compõem a carga útil;
- Processos, procedimentos, modelos e equipamentos de suporte para a fabricação dos satélites programados no PNAE; e
- Aprimoramento dos sistemas de gestão e de garantia da qualidade de projetos espaciais.

5.2. Metodologia de aplicação da abordagem

A abordagem proposta aplica-se no suporte ao gerenciamento de projetos de capacitação tecnológica em organizações cujos produtos a serem desenvolvidos não têm como um de seus objetivos principais a geração de receitas.

No caso específico do INPE, pode-se aplicar na gestão do portfólio de projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito, e, neste contexto, as etapas necessárias para que isso fosse demonstrado são:

- Definições sobre os dados necessários;
- Planejamento da coleta e simulação de dados; e
- Execução da coleta e simulação de dados

5.2.1. Definições sobre os dados necessários

Idealmente, a aplicação da abordagem proposta nessa dissertação se aplicaria ao conjunto de todos os projetos em andamento que visam capacitar tecnologicamente o INPE para cumprir sua missão institucional, seja na construção de satélites, seja em outros itens de tecnologia de ponta. Ela tem por objetivo identificar caminhos mais eficazes para se atingir cada resultado imediato e a minimização do uso de recursos para que a instituição atinja seus objetivos de longo prazo. Qualquer tomada de decisão só é eficaz quando embasada em informações adequadas, e o direcionamento de recursos é uma das tomadas de decisão das mais delicadas. Em qualquer instituição, por motivos diversos, sempre há dificuldades na obtenção de informações. Como o objetivo é a demonstração do funcionamento do método e não uma decisão real, vamos usar dados públicos sobre os projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito, baseando-se nessas informações concretas para assumir premissas, simular dados e fazer conjecturas.

Portfólio de projetos

Os aspectos de interesse de um portfólio de projetos de capacitação tecnológica do INPE e seu gerenciamento são a quantidade de projetos em um período de aproximadamente 10 anos, o total anual disponibilizado em orçamento para sua execução, os registros de acompanhamento do

avançamento físico e financeiro dos mesmos, a alocação e capacitação de pessoal para os programas em andamento, a proteção de propriedade intelectual e a correlação entre os prazos de conclusão desses projetos frente às necessidades das missões onde estes poderiam ou deveriam ser utilizados.

Um portfólio fictício de projetos de capacitação e de desenvolvimento de satélites foi então elaborado baseando-se nessas informações.

Funções utilidade

Para a escolha da função utilidade para quantificar o valor de cada projeto de capacitação em tecnologias ainda não disponíveis, devem ser listados diferentes critérios relacionados aos benefícios eventuais que o domínio de uma dada tecnologia dessa natureza poderia trazer ao INPE e à sociedade brasileira, e como essa percepção de benefícios seria afetada por fatores como o tempo e custo para obtenção dessa capacitação, e se possível incluir-se uma potencial redução destes benefícios face à competição com novas alternativas tecnológicas e alterações de cenário.

5.2.2. Planejamento da coleta de dados

Portfólio de projetos

Para a determinação dos aspectos típicos de um portfólio de projetos de capacitação tecnológico do INPE e seu gerenciamento, deveriam ser avaliadas as informações disponíveis no portal de acesso à informação dessa instituição, além das informações disponíveis no PNAE 2012-2021.

Funções Utilidade

Os critérios iniciais para descrever o valor de um dado projeto de capacitação tecnológico serão sugeridos pelo autor desse trabalho, baseando-se, em parte, em critérios utilizados pelo mesmo em processos de avaliação de projetos de desenvolvimento com fins comerciais da empresa onde trabalha. Esses

critérios poderiam, eventualmente, ser apresentados para especialistas do INPE, para que indicassem sua validade, apontassem eventuais critérios adicionais e propusessem a importância relativa entre tais critérios.

5.2.3. Execução da coleta de dados

Portfólio de projetos

O autor desse trabalho acessou os dados públicos coletados sobre os projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito entre os anos de 2009 e 2015, como também a quantidade de missões previstas para serem desenvolvidas e de satélites a serem lançados entre os anos de 2010 e 2020, tabulando-os e analisando-os de forma a servirem de referência para a criação de um cenário fictício, porém representativo, de uma carteira de projetos de P&D e de um cronograma de missões a serem lançadas em um período de 10 anos. As informações coletadas estão no apêndice C.

Funções Utilidade

Como alertado pelos orientadores desse trabalho, o acesso aos responsáveis pela definição dos critérios de escolha e priorização de investimento em projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito não foi possível. Desta forma, optamos pela adoção de alguns dos critérios que o autor utiliza em sua função de desenvolvedor sênior de novos serviços e ferramentas de suporte aos clientes de uma empresa do ramo aeronáutico, adaptando-os ao contexto dos projetos desenvolvidos pelo INPE.

Foram criados, então, parâmetros adicionais a cada um desses critérios, para que o autor desse trabalho pudesse definir diferentes funções utilidade, simulando as opiniões de três tomadores de decisão distintos. Isso permitirá que avaliemos a robustez do procedimento proposto nessa dissertação, para que possa ser adotada independentemente das considerações e critérios escolhidos para análise de projetos de capacitação tecnológica de uma

organização como o INPE⁶. O uso de utilidade multicritério pode também ser relevante para se avaliar adequadamente subprodutos de um projeto de P&D. O software desenvolvido no projeto Apollo da NASA para gerenciar uma série de sistemas complexos embarcados nas cápsulas é o “ancestral” do software que atualmente é usado nas máquinas de leitura de cartão de crédito em lojas de departamento (GAUDIN, 2009)⁷.

5.3. Resultados da aplicação

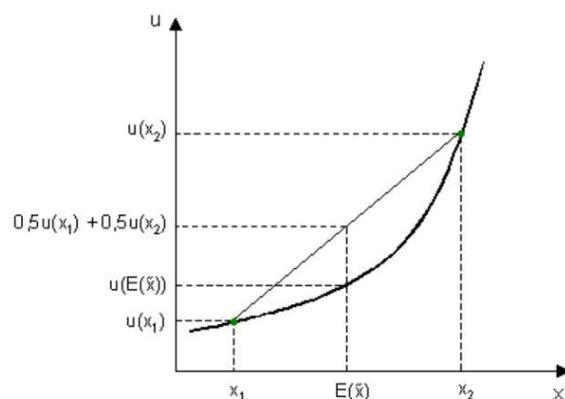
5.3.1. Funções utilidade multicritérios

Segundo Cusinato (2003), existem 3 formas típicas de funções utilidade correspondente ao comportamento de investidores com diferentes atitudes frente ao risco. O comportamento de investidores com aversão ao risco poderia ser de alguma forma mapeado por funções utilidade que gerassem curvas similares àquela indicada pela Figura 2.8. De forma alternativa, o comportamento típico de investidores propensos ao risco seria descrito por funções utilidade que poderiam ser representadas graficamente como indicado na Figura 5.1 e finalmente, uma função utilidade que exemplificaria o comportamento típico de investidores com propensão neutra quanto ao risco é mostrada na Figura 5.2.

⁶ É importante, nesse ponto, destacar a premissa de que, quaisquer que sejam os critérios adotados para a avaliação de projetos de capacitação tecnológica e, por conseguinte, sua função utilidade, todos os projetos serão avaliados pelos mesmos critérios.

⁷Outro exemplo seria um projeto espacial de um país em desenvolvimento conseguir capacitar uma empresa totalmente nacional (e.x. uma fábrica de tintas), reduzindo a concentração de mercado em sua área de atuação, reduzindo preços e melhorando a qualidade de vida da população. Na opinião do autor, países sem capacidade tecnológica em um setor tendem a ter preços maiores neste mesmo setor, em comparação com os preços correspondentes de países mais capacitados (e.x. os preços do setor automobilístico no Brasil).

Figura 5.1 – Função utilidade apresentando propensão ao risco de um investidor.

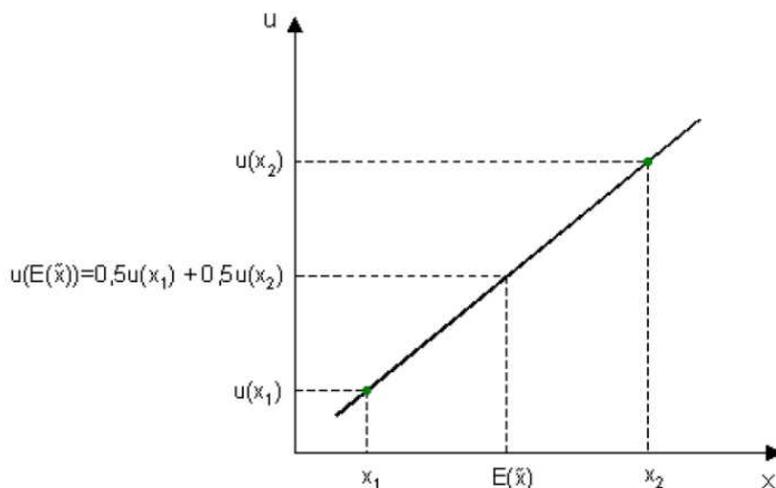


Fonte: Baseado em CUSINATO (2003).

Na Figura 5.1, podemos notar que a utilidade do valor esperado da aposta financeira feita por esse tipo de investidor, $u(E(\tilde{x}))$, é menor do que o valor esperado da utilidade, $0,5u(x_1) + 0,5u(x_2) = E(u(\tilde{x}))$. Em outras palavras, esse indivíduo hipotético preferiria ter 50% de chance de receber ao final do investimento o valor x_2 do que ter 100% de certeza de receber o valor $E(\tilde{x})$. Já na Figura 5.2, fica evidente que $u(E(\tilde{x})) = E(u(\tilde{x}))$.

Entendendo-se a essência dessas curvas típicas, propomos nesse trabalho ser possível alterá-las de forma a não mais associar o valor da utilidade de um certo investimento às diferentes possibilidades de retorno financeiro correspondente, mas sim à quantidade de tempo necessário para a obtenção de um nível mínimo aceitável de capacitação de uma instituição como o INPE, em uma dada tecnologia crítica.

Figura 5.2 – Função utilidade representando neutralidade ao risco de um investidor.



Fonte: Baseado em CUSINATO (2003).

A abordagem desse trabalho considera que a curva similar àquela criada por uma função utilidade típica de um investidor com propensão ao risco (Figura 5.1) seria a mais adequada para descrever seu comportamento característico na tomada de decisões sobre investimentos em projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito de uma organização como o INPE, uma vez que ela se adequa facilmente ao modelo geral de avaliação de OR propostos por Copeland e Antikarov (2001).

O máximo valor de utilidade seria obtido se tal capacitação ocorresse antes da tomada de decisão sobre a seleção da tecnologia (ou produtos decorrentes dela) em um ciclo de desenvolvimento de satélites. Seu valor mínimo levaria em consideração o quanto a tecnologia em questão ainda precisaria maturar (elevação de sua TRL) e qual o limite de tempo disponível para que isso acontecesse (tempo até a tomada de decisão sobre introdução da tecnologia no ciclo de desenvolvimento dos satélites). Além disso, dependendo do nível de aderência da evolução real da capacitação tecnológica ao longo do tempo frente ao que foi previamente planejado, a função utilidade seria afetada, uma vez que aumentaria o risco de não ser possível atender à primeira

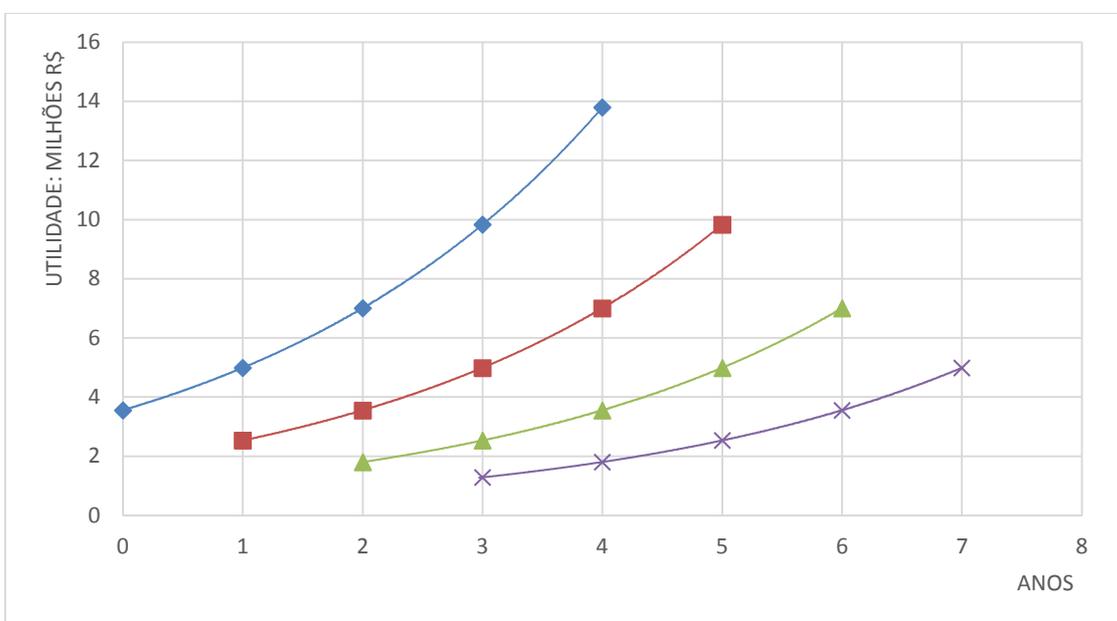
oportunidade de uso da tecnologia em questão no desenvolvimento de um satélite.

Para exemplificar essa consideração da abordagem proposta nesse trabalho, tomemos um projeto de P&D sobre uma dada tecnologia crítica “TC1”, atualmente apresentando um nível de prontidão correspondente a TRL4 e que, segundo critérios que serão apresentados posteriormente nessa dissertação, tenha sido avaliada atualmente em aproximadamente R\$ 3,6 milhões, podendo atingir o valor de R\$ 13,8 milhões caso atinja TRL6 em até quatro anos, para que seja aplicada 8 vezes em missões espaciais nos próximos 10 anos. A evolução ideal do valor ou utilidade da tecnologia “TC1” ao longo dos anos é indicada na Figura 5.3 pela curva com pontos em forma de losango. Cada ponto nessa primeira curva corresponde a uma avaliação formal anual do nível de capacitação da organização quanto à tecnologia crítica “TC1”, e todas as avaliações feitas ao longo dos quatro anos de projeto de desenvolvimento tecnológico indicaram que os objetivos graduais de capacitação foram sendo atingidos gradativamente, conforme planejado.

Imaginemos agora uma situação ligeiramente diferente da anterior, na qual, em uma das avaliações do avanço da prontidão tecnológica na organização, fosse constatado uma falha no atingimento do nível esperado. Isso faria com que houvesse uma mudança na expectativa da utilidade daquele projeto de P&D para a organização, uma vez que aumentaria a probabilidade de não se atingir TRL6 em 4 anos. Para esse caso, a nova função utilidade descreveria a curva com marcadores quadrangulares, ainda na Figura 5.3. Notemos então que no ano 4, quando ocorreria a tomada de decisão para o uso da tecnologia no ciclo de desenvolvimento de um satélite, a tecnologia não maturou o suficiente para ser selecionada, e portanto, seu valor para a organização naquele instante (por volta de R\$ 7 milhões) é inferior ao que era esperado originalmente (R\$ 13,8 milhões). Além disso, como estamos tratando de tecnologias críticas e de difícil acesso, os impactos desse atraso poderão ser inviabilidade da missão, atrasos

em seu lançamento, redução de seu escopo ou aumento de riscos e custos operacionais. Essa dinâmica se repete para mais falhas ao longo dos 4 anos originalmente propostos para o avançamento do nível de prontidão da tecnológica crítica “TC1”: se a TRL permanecer em duas avaliações com um mesmo valor, a nova função utilidade corresponderá à curva com marcadores triangulares na Figura 5.3; caso ocorram 3 falhas em 4 tentativas de avançamento da prontidão tecnológica, a curva da nova função utilidade passa a ser aquela indicada por marcadores em “x” na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Funções Utilidade para diferentes possibilidades de evolução de TRL.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Com um maior entendimento sobre como podemos utilizar funções utilidade para mapear o valor de uma dada tecnologia crítica sendo desenvolvida em um projeto de P&D ao longo do tempo, e sobre como essas funções são afetadas por avaliações recorrentes do sucesso do aumento da capacitação da organização naquela tecnologia, podemos agora propor critérios a serem levados em consideração para a definição de uma função utilidade para

descrever o comportamento de investimento de capacitação tecnológica de uma organização como o INPE.

O autor desse trabalho propõe critérios próprios para a obtenção de uma certa função utilidade representativa de um tomador de decisão propenso ao risco, não classificando tais critérios, ou mesmo a decisão da escolha do formato geral da função utilidade, como os únicos ou melhores, mas apenas como exemplos que nos parecem adequados o suficiente para mostrarem a robustez do método aqui proposto e permitir que, caso tal método de suporte a tomada de decisão quanto ao investimento de tecnologias seja adotado pelo INPE, os responsáveis por esse processo possam utilizar seus próprios critérios em substituição ou complementação daqueles aqui indicados.

Desta forma, os critérios utilizados aqui como exemplos são listados sucintamente a seguir, sendo que mais detalhes sobre os mesmos podem ser encontrados no Apêndice D desse trabalho:

1. Valor de mercado da tecnologia crítica (ou sistemas / componentes dela derivados ou dependentes) para 1 missão (V_m);
2. Número de missões que poderão (ou precisarão) utilizar a tecnologia crítica (n);
3. TRL atual da tecnologia crítica na organização. Dividindo-se esse valor por 9 (limite superior da escala TRL), definiríamos o fator TRL atual da tecnologia crítica (f_{trl});
4. Limite de tempo disponível para avançar a TRL da tecnologia crítica até o nível mínimo aceitável para que seja utilizada por todas as missões que a podem (precisam) utilizar (t_d);
5. Somatório dos investimentos ($\sum i$) previstos em cada etapa de elevação da TRL da tecnologia crítica;

6. Total esperado de receitas ($\sum r$) com licenciamento e transferência da tecnologia após atingir o TRL mínimo aceitável para que seja utilizada e venda de serviços baseados nela; e
7. Estimativa dos benefícios ($\sum b$) financeiros à sociedade, relacionados à variação no tempo das funcionalidades e variação no tempo de benefícios das missões proporcionadas pela capacitação na tecnologia crítica (sendo possível apresentar valores menores ou até mesmo negativos quando, por exemplo, surgirem tecnologias ou serviços alternativos mais competitivos e acessíveis ao longo do ciclo de desenvolvimento do projeto de capacitação tecnológico);

Esses critérios seriam utilizados para a determinação do valor atual da tecnologia crítica (V_a), o valor máximo da mesma para o conjunto de missões previstas (V_{max}), os fatores de aumento ou diminuição do valor da utilidade (respectivamente, f_{up} e f_{down}) e qualquer valor intermediário da tecnologia crítica (V_n), após “x” tentativas bem sucedidas de elevação de seu TRL e “y” tentativas frustradas nesse sentido, como indicado nas seguintes equações:

$$V_{max} = V_m \cdot n + \sum i + \sum r + \sum b \quad (5.1)$$

$$V_a = V_m \cdot n \cdot f_{trl} \quad (5.2)$$

$$f_{up} = \left(\frac{V_{max}}{V_a} \right)^{\frac{1}{\bar{t}_a}} \quad (5.3)$$

$$f_{down} = \left(\frac{1}{f_{up}} \right) \quad (5.4)$$

$$V_n = V_a \cdot (f_{up})^x \cdot (f_{down})^y \quad (5.5)$$

É importante ressaltar que as equações (5.3) a (5.5) são baseadas no procedimento prático proposto por Copeland e Antikarov (2001) para a

obtenção dos estados intermediários de uma árvore de eventos, enquanto que as demais equações e grandezas são propostas do autor desse trabalho.

É importante ressaltar que, sempre que garantida a condição de que os valores dos critérios utilizados, quaisquer que sejam esses critérios, foram gerados pelo mesmo grupo de pessoas de forma imparcial e, seguindo o mesmo procedimento, não haverá qualquer prejuízo para a utilização da abordagem proposta nessa dissertação. Quando essa condição é garantida, as sugestões de investimento para cada um dos projetos de desenvolvimento de tecnologias críticas e de acesso restrito refletirão as eventuais diferenças de entendimento do que é mais relevante para o atingimento dos objetivos estratégicos da organização. Exemplos do impacto da alteração dos critérios de avaliação de projetos de capacitação tecnológico são apresentados na seção 5.3.4.

Retornando ao exemplo do projeto de P&D para a tecnologia crítica “TC1”, assumindo $V_m = R\$ 1$ milhão, $\sum i = R\$ 5,8$ milhões (para elevar TRL do nível 4 até o nível 7) e desconsiderando quaisquer receitas relativas ao licenciamento ou transferência dessa tecnologia, ou ganhos financeiros à sociedade, podemos demonstrar a utilização das equações de (5.1) a (5.5) para obter os pontos da linha com marcadores em forma de losango da Figura 5.3.

$$V_{max} = R\$ 1.000.000 \cdot 8 + R\$ 5.800.000 + 0 + 0 = R\$ 13.800.000 \quad (5.6)$$

$$V_a = R\$ 1.000.000 \cdot 8 \cdot \frac{4}{9} \cong R\$ 3.600.000 \quad (5.7)$$

$$f_{up} = \left(\frac{R\$ 13.800.000}{R\$ 3.600.000} \right)^{\frac{1}{4}} \cong 1,4 \quad (5.8)$$

$$f_{down} = \left(\frac{1}{1,4} \right) \cong 0,7 \quad (5.9)$$

$$V_1 = R\$ 3.600.000 \cdot (1,4)^1 \cdot (0,7)^0 \cong R\$ 5.000.000 \quad (5.10)$$

$$V_2 = R\$ 3.600.000 \cdot (1,4)^2 \cdot (0,7)^0 \cong R\$ 7.000.000 \quad (5.11)$$

$$V_3 = R\$ 3.600.000 \cdot (1,4)^3 \cdot (0,7)^0 \cong R\$ 9.800.000 \quad (5.12)$$

Finalmente, tabulando esses valores em uma planilha eletrônica podemos determinar uma linha de tendência que melhor se adeque aos pontos encontrados, cuja expressão corresponderia à função utilidade para aquelas condições. Para os pontos encontrados através das equações (5.6) a (5.12), encontramos a equação (5.13), com coeficiente de determinação (R^2) igual a 1:

$$\text{Função Utilidade} \cong R\$ 3.600.000 \cdot e^{0,0034t} \quad (5.13)$$

5.3.2. Análises de OR

Com a abordagem baseada em Funções Utilidade, descrita na seção 5.3.1, pode-se quantificar o valor de um projeto de P&D de qualquer natureza, inclusive aqueles relacionados com a capacitação do INPE em tecnologias críticas e de acesso restrito. Também, tem-se que avaliar alterações desse valor de acordo com a evolução da sua TRL e atualizar os valores correspondentes a cada um dos parâmetros que compõem a utilidade do projeto, conforme se reduzem as incertezas sobre o mesmo. Desta forma, julgamos ter desenvolvido uma solução para os problemas de se aplicar a teoria de OR para ativos não negociados e sem preço de mercado (TRIGEORGIS *apud* SANTOS e PAMPLONA, 2002), e para estimativa da volatilidade do ativo subjacente não comercializado (SANTOS e PAMPLONA, 2002).

Para calcular de forma prática os valores das OR de um projeto, Copeland e Antikarov (2001) sugerem um método constituído de quatro etapas distintas:

1. Análise VPL padrão: servirá como a referência inicial;

2. Construção de uma “árvore de eventos”: visa entender como o VPL evolui com o tempo em uma árvore binomial, baseando-se em um conjunto de incertezas combinadas que geram a volatilidade do projeto;
3. Criação de “árvores de decisão”: identificação e incorporação da flexibilidade gerencial na árvore de eventos para avaliar respostas às novas informações sendo disponibilizadas ao longo da vida do projeto;
4. A análise de OR, propriamente dita, que consiste em: estimar o valor total do projeto usando uma metodologia algébrica simples, que calculará os ganhos ou perdas na árvore de decisão construída no passo 3.

A abordagem proposta nesta dissertação faz uma adaptação desse método, para permitir que possa ser aplicada mesmo em casos onde não haja geração de receitas durante a execução do projeto de desenvolvimento da tecnologia crítica. Assim, as etapas propostas neste trabalho, para a quantificação do valor das OR, relacionadas com o processo de capacitação em uma tecnologia crítica são:

1. Construção de uma “árvore de eventos”: visa entender como o valor da função utilidade do projeto de P&D evolui com o tempo em uma árvore binomial, baseando-se em um conjunto de incertezas combinadas, relacionadas com as avaliações de TLR, que geram a volatilidade do projeto. Toda vez que a função utilidade mudar (alteração do cenário tecnológico ou qualquer outro motivo), a árvore de eventos será refeita.
2. Criação de “árvores de decisão”: com os mesmos objetivos e procedimentos propostos por Copeland e Antikarov (2001).
3. A análise de OR, propriamente dita: estimar o valor total do projeto usando uma metodologia algébrica simples, que calculará os ganhos ou

perdas na árvore de decisão construída no passo 2, incluindo descontos baseados em uma taxa de juros considerada de “risco zero”.

Para demonstrar o uso desse método de cálculo do valor das OR em projetos de P&D do INPE, adotemos inicialmente as informações contidas no apêndice E sobre o planejamento de investimentos em 10 projetos de desenvolvimento de tecnologias críticas e de uso restrito, as características desses 10 projetos, e a programação de missões espaciais entre os anos de 2017 e 2026. Iremos então focar na tecnologia crítica 1 para explicarmos detalhadamente cada etapa do cálculo do valor das OR.

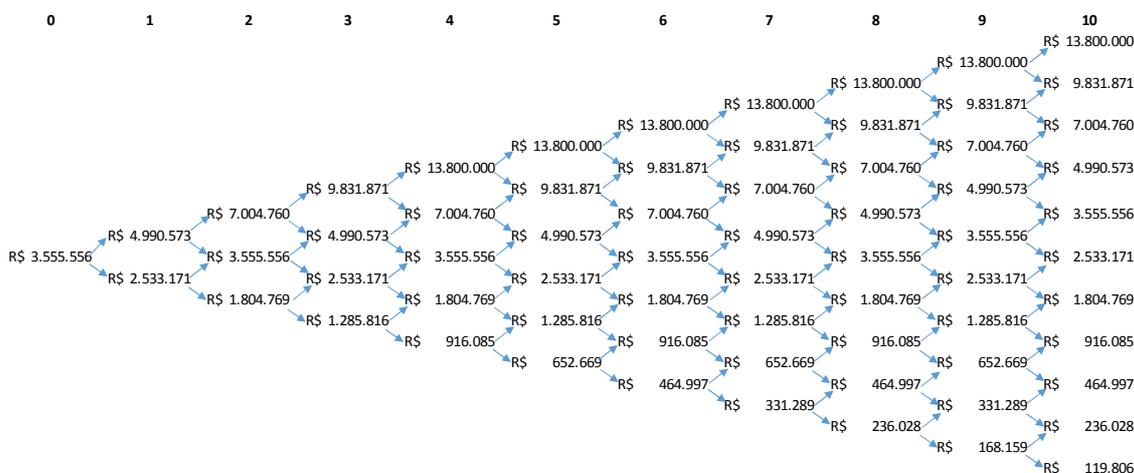
Iniciemos pela construção da “árvore de eventos” para descrever as possibilidades do processo de maturação da tecnologia crítica 1, lembrando novamente que todas as fórmulas utilizadas nessa seção são baseadas no procedimento sugerido por Copeland e Antikarov (2001)⁸. A estimativa inicial é que a evolução de TRL4 para TRL7 ocorra em 4 anos (um ano para atingir TRL5 – investimento previsto de R\$ 800.000 –, dois anos para atingir TRL6 – investimentos de R\$ 2.000.000 e R\$ 1.500.000 –, e mais um ano para atingir TRL7 – investimento de R\$1.500.000). Partindo então do valor atual da tecnologia crítica 1 para a organização, podemos utilizar a equação (5.14) para determinar os demais valores da “árvore de eventos”, onde “u” é o número de vezes que o avançamento da TRL ocorreu conforme o planejado, e “d” corresponde ao número de vezes onde isso não ocorreu.

$$\text{Valor Evento}_{u,d} = V_a \cdot (f_{up})^u \cdot (f_{down})^d \quad (5.14)$$

Efetando os cálculos e adotando a prática de manter o valor do evento correspondente ao atingimento da TRL7 para todos os anos posteriores, obteremos uma árvore de eventos como a indicada na Figura 5.4.

⁸ As equações utilizadas por Copeland e Antikarov (2001) em seu método de cálculo de OR são baseadas, por sua vez, naquelas propostas por Cox, Ross e Rubinstein (1979).

Figura 5.4 – Árvore de eventos do avançamento da TRL da Tecnologia Crítica 1.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Essa árvore de eventos pode ser calculada facilmente utilizando-se uma planilha eletrônica, como indicado na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Árvore de eventos em uma planilha eletrônica.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 7.004.760 | R\$ 9.831.871 | R\$ 13.800.000 |
| 1 | | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 7.004.760 | R\$ 9.831.871 |
| 2 | | | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 7.004.760 |
| 3 | | | | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 4.990.573 | R\$ 4.990.573 | R\$ 4.990.573 |
| 4 | | | | | R\$ 916.085 | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 3.555.556 | R\$ 3.555.556 |
| 5 | | | | | | R\$ 652.669 | R\$ 916.085 | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 2.533.171 |
| 6 | | | | | | | R\$ 464.997 | R\$ 652.669 | R\$ 916.085 | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 |
| 7 | | | | | | | | R\$ 331.289 | R\$ 464.997 | R\$ 652.669 | R\$ 916.085 |
| 8 | | | | | | | | | R\$ 236.028 | R\$ 331.289 | R\$ 464.997 |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ 168.159 | R\$ 236.028 |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ 119.806 |

Fonte: Elaborada pelo Autor

Note que o valor de “u” de cada nodo corresponde ao número da sua coluna (números de 0 a 10, na linha superior da planilha da Figura 5.5), enquanto que o valor de “d” de cada nodo corresponde ao número da sua linha (números de 0 a 10, na coluna à esquerda da planilha da Figura 5.5).

Em seguida, devemos construir as “árvores de decisão” correspondentes a cada opção de investimento nas etapas de elevação da TRL. Devemos começar pela última opção, ou seja, a opção cronologicamente mais próxima do atingimento da TRL7, e retroceder gradativamente, até a primeira opção disponível de investimento. Isso é necessário pois os valores de opções anteriores são afetadas pelos valores das opções que as sucedem, sendo

portanto dependentes. A única opção independente neste modelo é a relacionada à última etapa de elevação da capacitação da organização em uma determinada tecnologia crítica para TRL7 (pois assumimos que o valor do projeto permanecerá constante a partir do atingimento desse nível de prontidão; caso ampliássemos o modelo para acompanhar o desenvolvimento até o atingimento da TRL9, a opção relacionada a essa capacitação é que seria a única independente do modelo).

Para a tecnologia crítica 1, consideraram-se necessários dois anos de atividades para a evolução da TRL6 para TRL7. Assim, o primeiro valor a ser calculado nessa árvore de decisão está relacionado com a opção de investimento no segundo ano de investimento para o atingimento de TRL7 (3º ano do projeto de desenvolvimento da tecnologia crítica 1), para o caso ideal de todos os investimentos anteriores terem sido bem sucedidos em promover a elevação da TRL conforme planejado. De forma similar, devemos calcular o valor da opção de se investir nesse projeto em cenários onde os investimentos anteriores podem não ter sido suficientes para a elevação da TRL conforme esperado. Entendendo-se $Investimento_{u,d}$ como a quantia necessária para que a etapa correspondente de evolução da TRL seja cumprida⁹, podemos utilizar a fórmula (5.15) para obter todos os valores dos nodos finais na árvore de decisão da Figura 5.6.

$$Nodo (final)_{u,d} = \max(Valor\ Evento_{u,d} - Investimento_{u,d}; 0) \quad (5.15)$$

A escolha do valor máximo entre 0 e a diferença entre o valor do estágio (u,d) de capacitação na tecnologia crítica 1 e o investimento necessário para se concluir o processo de maturação até TRL7, explica-se pelo fato de que

⁹ Para simplificar os cálculos, os investimentos para a última etapa de evolução da TRL para o nível 7 foram considerados iguais aos valores planejados originalmente. Nada impede, entretanto, de se considerar valores diferentes, caso mais atividades sejam necessárias do que foram previstas.

assumimos que a melhor opção para um gestor de um portfólio de projetos de P&D é priorizar investimentos que ainda têm possibilidade de trazer resultados positivos, alinhados com os objetivos estratégicos da organização. Caso isso não seja possível e haja liberdade decisória (flexibilidade), opta-se pelo não investimento no projeto (valor igual a zero). Considerando-se “i” como uma taxa de investimento considerada como de risco zero (exemplo: juros da caderneta de poupança) e “P” a probabilidade de um investimento ser bem sucedido na elevação da TRL conforme planejado, a qual pode ser calculada como indicado na fórmula (5.16), é possível então calcular os demais nodos utilizando-se a fórmula (5.17).

Sendo
$$P = \frac{1 + i - f_{down}}{f_{up} - f_{down}} \quad , \text{ calcula-se:} \quad (5.16)$$

$$Nodo(Interm.)_{u,d} = \max \left(\begin{array}{l} Valor\ Evento_{u,d} - Investimento_{u,d}; \\ \frac{Nodo_{u+1,d} \cdot P + Nodo_{u,d+1} \cdot (1 - P)}{1 + i} \end{array} \right) \quad (5.17)$$

De forma similar, devemos calcular os valores de todos os nodos de árvores de decisão correspondentes às opções para todos os demais cenários de investimento. No presente exemplo, essas árvores adicionais corresponderiam aos cenários de investimento originalmente planejadas para o primeiro ano de atividade para atingimento da TRL7, para o atingimento das TRL6 e TRL5, totalizando 4 árvores de decisão para representar o valor de todas as opções de investimento no projeto de maturação da tecnologia crítica 1. Essas árvores de decisão e todas aquelas relacionadas aos demais projetos fictícios de desenvolvimento de tecnologias críticas e de acesso restrito podem ser encontradas no apêndice E.

Figura 5.6 – Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|
| 0 | R\$ 2.596.387 | R\$ 3.868.010 | R\$ 5.703.479 | R\$ 8.331.871 | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.595.698 | R\$ 2.444.177 | R\$ 3.692.655 | R\$ 5.504.760 | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 904.638 | R\$ 1.443.770 | R\$ 2.265.398 | R\$ 3.490.573 | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 446.859 | R\$ 757.248 | R\$ 1.260.911 | R\$ 2.055.556 | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 170.669 | R\$ 314.571 | R\$ 573.793 | R\$ 1.033.171 | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 36.385 | R\$ 73.894 | R\$ 150.069 | R\$ 304.769 | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor

A última etapa desse processo corresponde à análise comparativa entre os valores das opções em todas as árvores de decisão, para se listar quais entre elas são as mais vantajosas para a organização, criando-se o que podemos chamar de uma “árvore de análise das OR” para o projeto. Isso é facilmente obtido através da equação (5.18).

$$Nodo(Melhor Opção)_{u,d} = \max \begin{pmatrix} Nodo (Cenário 1)_{u,d}; \\ Nodo (Cenário 2)_{u,d}; \\ \vdots \\ Nodo (Cenário N)_{u,d}; \\ 0 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} (5.1 \\ 8) \end{matrix}$$

Devemos, entretanto, atentar-nos ao fato de que os nodos a serem considerados na equação (5.18) são aqueles correspondentes às OR efetivamente disponíveis para o tomador de decisão. Assim, no exemplo utilizado até o momento, o valor selecionado para o primeiro nodo da avaliação da tecnologia crítica 1 é o máximo valor entre R\$ 214.628 (obtido na árvore de decisão para a elevação da tecnologia para TRL5) e 0 (que corresponde à opção de não se fazer o investimento), o que pode ser visto na Figura 5.7. Todas as árvores de análise das OR, uma para cada projeto, estão no apêndice E.

Figura 5.7 – Árvore de análise das OR disponíveis em cada período.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|
| 0 | R\$ 214.628 | R\$ 1.868.010 | R\$ 4.203.479 | R\$ 8.331.871 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 218.713 | R\$ 1.243.053 | R\$ 3.692.655 | R\$ 5.504.760 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 185.577 | R\$ 1.443.770 | R\$ 2.265.398 | R\$ 3.490.573 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 446.859 | R\$ 757.248 | R\$ 1.260.911 | R\$ 2.055.556 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 170.669 | R\$ 314.571 | R\$ 573.793 | R\$ 1.033.171 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 36.385 | R\$ 73.894 | R\$ 150.069 | R\$ 304.769 | R\$ - | R\$ - |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor

5.3.3. Gestão do portfólio de P&D

Com os maiores valores das OR de cada projeto de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito, obtidos a partir do procedimento detalhado na seção anterior, devemos adotar uma sistemática para a priorização dos investimentos a serem feitos, visando aumentar as chances de atingirmos os níveis de capacitação tecnológica almejados pelo INPE. A abordagem proposta nessa dissertação é constituída das seguintes etapas:

1. Selecionar os valores das OR correspondentes ao nível de TRL comprovadamente alcançado no período, para cada projeto;
2. Calcular a proporção do valor da opção real selecionada na etapa 1, para cada projeto em um dado período, frente à soma do valor das opções de todos os projetos do portfólio de P&D, no mesmo período;
3. Calcular o valor de investimento para cada projeto em um período, aplicando-se a proporção calculada no passo 2 ao orçamento total disponível no período;
4. Limitar os investimentos obtidos na etapa 3, pelos valores originalmente planejados para a realização de cada um dos projetos;
5. Para todos os projetos que não foram contemplados com todo o investimento planejado, somar seus valores de opção real no período e

calcular as novas proporções dos valores de opção real individuais frente ao todo, no mesmo período;

6. Redistribuir as sobras obtidas após o passo 4, seguindo a proporção definida no passo 5, entre os projetos que ainda não foram contemplados com todo o investimento originalmente solicitado;
7. Se não há projetos com valor da opção real correspondente igual a zero, repetir os passos 3 a 6 até que não haja mais sobras para investimento. Caso contrário, repetir os passos 3 a 6 até que não haja alteração no valor das sobras para investimento após duas iterações;
8. Caso haja projetos com valor da opção real correspondente igual a zero e sobras orçamentárias para investimento, decidir se haverá distribuição desses recursos e qual a proporção para cada projeto;
9. Recomeçar esse processo do passo 1, para os valores das OR e TRL do período seguinte, até que todos os períodos de investimento sejam analisados.

Para exemplificar a aplicação dessa metodologia de priorização de investimentos em projetos de P&D baseado em OR, levemos em consideração o cenário orçamentário e de portfólio de projetos para o ano de 2017, tal como indicado no Apêndice F.

Pode-se notar inicialmente que o orçamento disponível para aquele ano (R\$ 4.000.000) será menor que a soma dos recursos financeiros solicitados pelos 10 projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito (R\$ 4.175.000). Cada projeto encontra-se em um TRL e possui um valor de opção real correspondente à sua importância para o INPE, como pode ser visto na segunda coluna da Tabela 5.1 o que corresponde ao primeiro passo da abordagem proposta.

Calcula-se a proporção dessas OR com relação à soma de todas elas, como indicado na terceira coluna da Tabela 5.1. Multiplicamos então o orçamento disponível por essas proporções, obtendo os primeiros valores a serem investidos por projeto. Esses valores são então truncados, de acordo com o que foi originalmente planejado como necessário para a realização das atividades de cada projeto naquele ano (quarta e quinta colunas da Tabela 5.1).

As sobras são então redistribuídas entre os projetos que ainda não receberam o total de investimentos originalmente planejado para a execução de suas atividades no ano, proporcionalmente ao valor de sua opção real frente ao somatório das OR deste subconjunto de projetos. Os novos valores propostos para investimento são então truncados como anteriormente (da sexta até a décima coluna da Tabela 5.1).

Esse processo de quantificação de sobras e sua redistribuição se repete mais uma vez nesse exemplo, definindo a proposta final de investimento nos 10 projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito, como indicado na última coluna da Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Aplicação da metodologia de priorização de investimento baseado em OR.

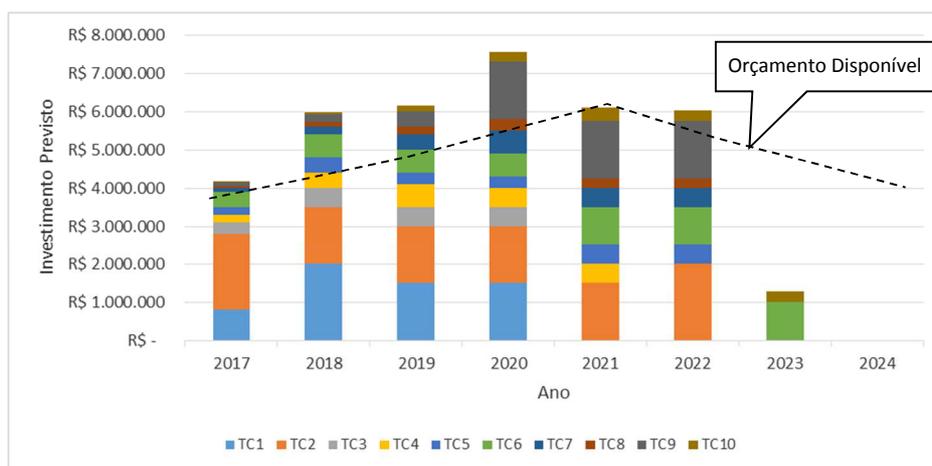
| Projetos P&D de Tecnologias Críticas | Valores das opções, de acordo com TRL | Proporção de cada opção com relação ao portfólio | 1a. Proposta de Investimento | 2a. Proposta de Investimento (truncada) | Sobras (1a. Rodada) | Opções que precisam da redistribuição das sobras (1a. Rodada) | Proporção de cada opção para redistribuição de sobras (1a. Rodada) | 3a. Proposta de Investimento | 4a. Proposta de Investimento (truncada) | Sobras (2a. Rodada) | Opções que precisam da redistribuição das sobras (2a. Rodada) | Proporção de cada opção para redistribuição de sobras (2a. Rodada) | 5a. Proposta de Investimento |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|---|----------------------|---|--|------------------------------|---|---------------------|---|--|------------------------------|
| TC1 | R\$ 214.628 | 1,8% | R\$ 71.542 | R\$ 71.542 | R\$ 0 | R\$ 214.628 | 7,0% | R\$ 196.934 | R\$ 196.934 | R\$ 0 | R\$ 214.628 | 100,0% | R\$ 625.000 |
| TC2 | R\$ 2.380.684 | 19,8% | R\$ 793.554 | R\$ 793.554 | R\$ 0 | R\$ 2.380.684 | 77,3% | R\$ 2.184.425 | R\$ 2.000.000 | R\$ 184.425 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 2.000.000 |
| TC3 | R\$ 1.588.293 | 13,2% | R\$ 529.426 | R\$ 300.000 | R\$ 229.426 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 300.000 |
| TC4 | R\$ 483.500 | 4,0% | R\$ 161.165 | R\$ 161.165 | R\$ 0 | R\$ 483.500 | 15,7% | R\$ 443.641 | R\$ 200.000 | R\$ 243.641 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 200.000 |
| TC5 | R\$ 2.289.838 | 19,1% | R\$ 763.272 | R\$ 200.000 | R\$ 563.272 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 200.000 | R\$ 200.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 200.000 |
| TC6 | R\$ 2.134.263 | 17,8% | R\$ 711.415 | R\$ 400.000 | R\$ 311.415 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 400.000 | R\$ 400.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 400.000 |
| TC7 | R\$ 475.540 | 4,0% | R\$ 158.512 | R\$ 100.000 | R\$ 58.512 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 100.000 | R\$ 100.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 100.000 |
| TC8 | R\$ 209.137 | 1,7% | R\$ 69.712 | R\$ 50.000 | R\$ 19.712 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 50.000 | R\$ 50.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 50.000 |
| TC9 | R\$ 2.114.031 | 17,6% | R\$ 704.671 | R\$ 100.000 | R\$ 604.671 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 100.000 | R\$ 100.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 100.000 |
| TC10 | R\$ 110.196 | 0,9% | R\$ 36.732 | R\$ 25.000 | R\$ 11.732 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 25.000 | R\$ 25.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | 0,0% | R\$ 25.000 |
| Total | R\$ 12.000.108 | 100% | R\$ 4.000.000 | R\$ 2.201.261 | R\$ 1.798.739 | R\$ 3.078.811 | 100% | R\$ 4.000.000 | R\$ 3.571.934 | R\$ 428.066 | R\$ 214.628 | 100% | R\$ 4.000.000 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Todas as etapas mostradas acima foram também executadas para os demais períodos considerados nessa análise de projetos fictícios de elevação da prontidão tecnológica (2018 a 2026) e os resultados correspondentes estão listados no Apêndice G. É importante ressaltar, entretanto, que para se obter alguns deles, foram necessárias mais do que duas rodadas de redistribuição de sobras de investimento até que os valores finais fossem obtidos.

O efeito da utilização dessa abordagem pode ser observado comparando-se os gráficos correspondentes aos investimentos previstos originalmente para os projetos de capacitação tecnológica (Figura 5.8) e aos investimentos efetivamente feitos de acordo com o avanço demonstrado da prontidão tecnológica e o valor correspondente da opção real daquele projeto ao longo do tempo (Figura 5.9). Quanto menor a relação entre recursos recebidos e recursos solicitados, mais devagar o projeto de capacitação evolui no tempo, menor sua utilidade face a atraso nos benefícios e queda do valor da função útil no tempo, e maior a chance desse projeto ser descartado futuramente (por apresentar valor de opção real negativo ou nulo), caso não sejam tomadas ações para adequá-lo aos interesses da organização. Os dados correspondentes a esses dois gráficos são apresentados, respectivamente, pelas tabelas Tabela 5.2 e Tabela 5.3.

Figura 5.8 – Gráfico dos investimentos previstos para capacitação tecnológica.



Fonte: Elaborada pelo Autor

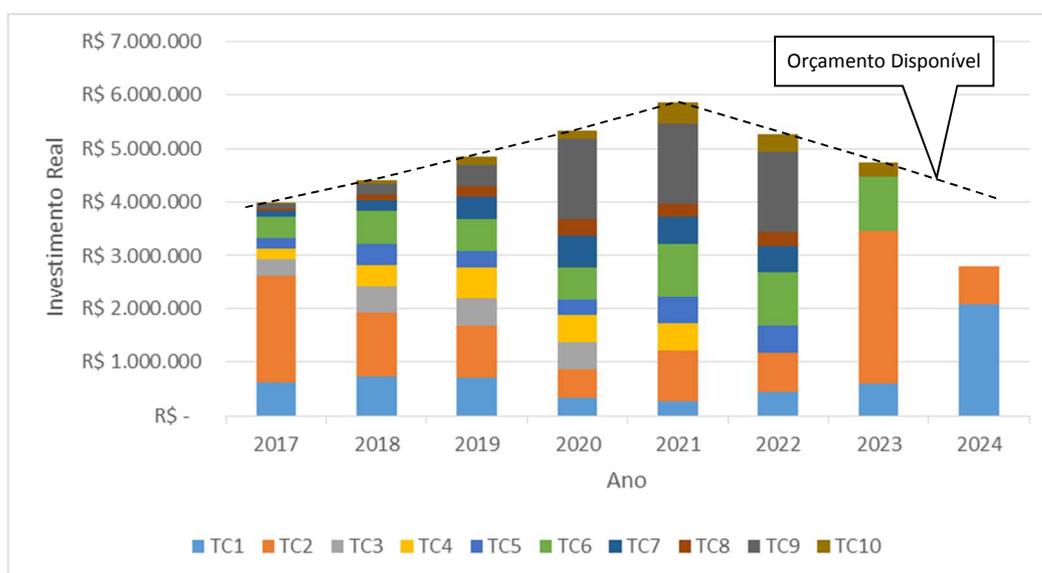
Tabela 5.2 – Dados do gráfico dos investimentos previstos para capacitação tecnológica.

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | TOTAL Projeto |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|-----------------------|
| TC1 | R\$ 800.000 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | | | | | R\$ 5.800.000 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 2.000.000 | | | R\$ 10.000.000 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | | | R\$ 1.800.000 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | | R\$ 2.200.000 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | R\$ 2.200.000 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | | R\$ 5.200.000 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | R\$ 2.300.000 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | | | R\$ 1.170.000 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | | | R\$ 5.200.000 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 250.000 | R\$ 350.000 | R\$ 275.000 | R\$ 275.000 | | R\$ 1.375.000 |
| TOTAL Ano | R\$ 4.175.000 | R\$ 5.970.000 | R\$ 6.150.000 | R\$ 7.550.000 | R\$ 6.100.000 | R\$ 6.025.000 | R\$ 1.275.000 | | R\$ 37.245.000 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Primeiramente, nota-se na Figura 5.8 que o somatório dos investimentos previstos para todos os projetos até o ano de 2022 seria superior ao somatório do orçamento disponível no mesmo período. Algum critério precisa então ser utilizado para escolher quais projetos não irão receber todos os recursos solicitados. A abordagem proposta faz exatamente isso, condicionando a distribuição dos recursos disponíveis de acordo com o valor do projeto para o INPE (segundo critérios do autor) e o valor da prontidão tecnológica efetivamente alcançado a cada ano, como indicado na Figura 5.9.

Figura 5.9 – Gráfico dos investimentos realizados para capacitação tecnológica.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Outro ponto a destacar é que o investimento inicial realizado nos projetos do portfólio fictício de capacitação tecnológico foi idêntico ao previsto, exceto para o projeto de desenvolvimento da tecnologia crítica 1 (TC1) – ao invés de receber R\$ 800.000,00 em 2017 (Tabela 5.2), a abordagem proposta indicou que, devido ao valor proporcional da opção real correspondente, esse projeto deveria ser “sacrificado” em benefício dos demais, recebendo apenas R\$ 625.000,00 (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Dados do gráfico de investimentos realizados na capacitação tecnológica.

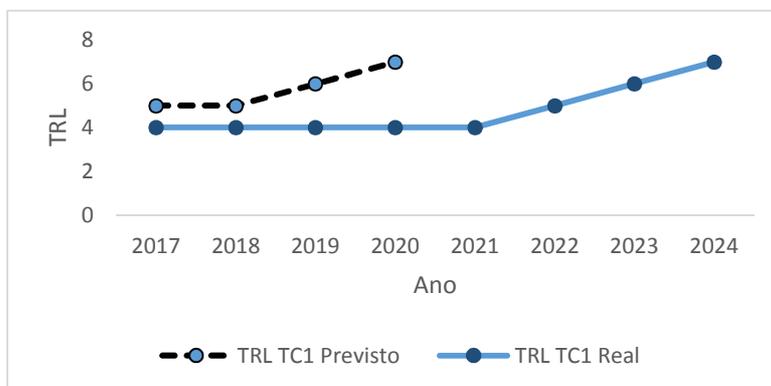
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | TOTAL Projeto |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| TC1 | R\$ 625.000 | R\$ 736.624 | R\$ 710.046 | R\$ 345.955 | R\$ 263.983 | R\$ 452.407 | R\$ 590.723 | R\$ 2.075.261 | R\$ 5.800.000 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.193.376 | R\$ 979.954 | R\$ 525.818 | R\$ 956.234 | R\$ 731.762 | R\$ 2.877.961 | R\$ 734.895 | R\$ 10.000.000 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | | | R\$ 1.800.000 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | | R\$ 2.200.000 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | R\$ 2.200.000 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | | R\$ 5.200.000 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | | | R\$ 2.300.000 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | | | R\$ 1.170.000 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | | | R\$ 5.200.000 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 152.227 | R\$ 386.183 | R\$ 336.591 | R\$ 275.000 | | R\$ 1.375.000 |
| TOTAL Ano | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.400.000 | R\$ 4.840.000 | R\$ 5.324.000 | R\$ 5.856.400 | R\$ 5.270.760 | R\$ 4.743.684 | R\$ 2.810.156 | R\$ 37.245.000 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Devido às falhas em elevar a sua TRL em alguns períodos subsequentes, o projeto TC1 continuou sendo preterido em comparação com outros projetos do portfólio. Similarmente, os projetos TC2 e TC10 também receberam em alguns períodos menos recursos do que o originalmente planejado. Entretanto, a medida que outros projetos foram completando seu ciclo de desenvolvimento até a TRL7, uma maior parcela dos recursos remanescentes pode ser redirecionada para esses projetos, para que, mesmo que tardiamente, pudessem continuar elevando seu nível de prontidão tecnológica. A evolução esperada e real dos projetos TC1, TC2 e TC10 são indicadas pelas figuras Figura 5.10, Figura 5.11 e Figura 5.12. É importante notar que novos projetos de desenvolvimento tecnológico poderiam aparecer nesse período. Isso obviamente afetaria a distribuição de sobras orçamentárias para todos os demais projetos do portfólio. Nesse caso, por exemplo, se tais novos projetos

fossem mais eficientes que TC1, TC2 e TC10, esses últimos continuariam sendo preteridos na redistribuição das sobras orçamentárias.

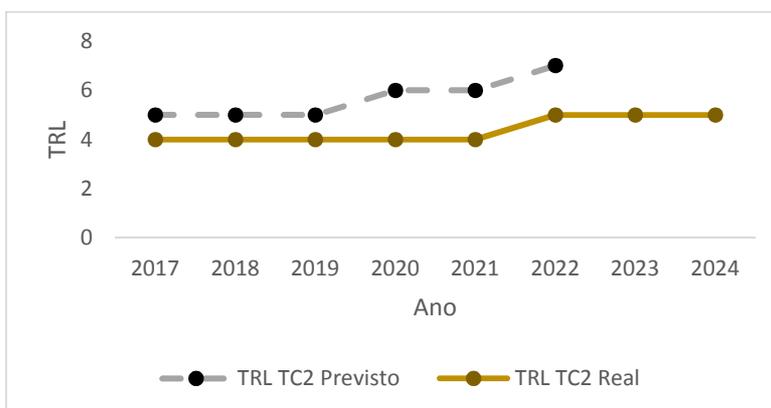
Figura 5.10 – Evolução prevista e real da TRL no projeto TC1.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Assim, embora os outros projetos do portfólio também tenham sofrido alguns atrasos esporádicos em suas metas de elevação da TRL, por terem se recuperado mais rapidamente, conseguiram manter o valor de suas OR correspondentes mais elevados do que os projetos TC1, TC2 e TC10, garantindo uma maior prioridade na distribuição dos recursos disponíveis. As informações sobre a evolução prevista e real da TRL para cada um dos projetos fictícios de capacitação tecnológica, usados como exemplo nesse trabalho encontram-se no Apêndice F.

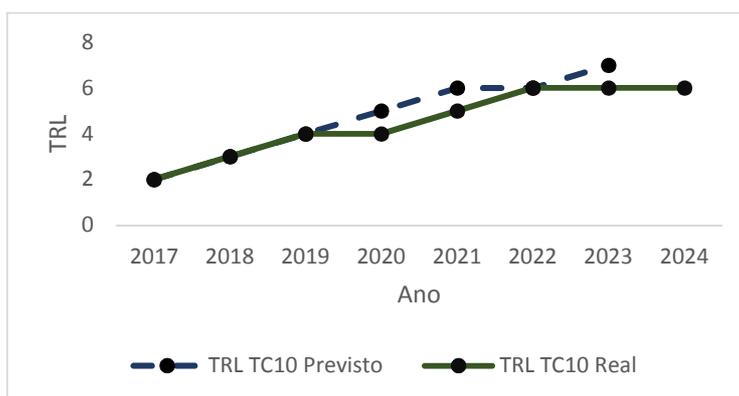
Figura 5.11 – Evolução prevista e real da TRL no projeto TC2.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Uma vez demonstrado o efeito da falha em alcançar os níveis de prontidão tecnológica originalmente planejados na priorização do investimento dos recursos disponíveis para cada projeto, julgamos ficar evidente a necessidade de se garantir que as avaliações da TRL de todos os projetos de um portfólio sejam feitas de forma sistemática e imparcial. Recomendações sobre como isso pode ser obtido encontram-se disponíveis, por exemplo, em DoD (2009).

Figura 5.12 – Evolução prevista e real da TRL no projeto TC10.



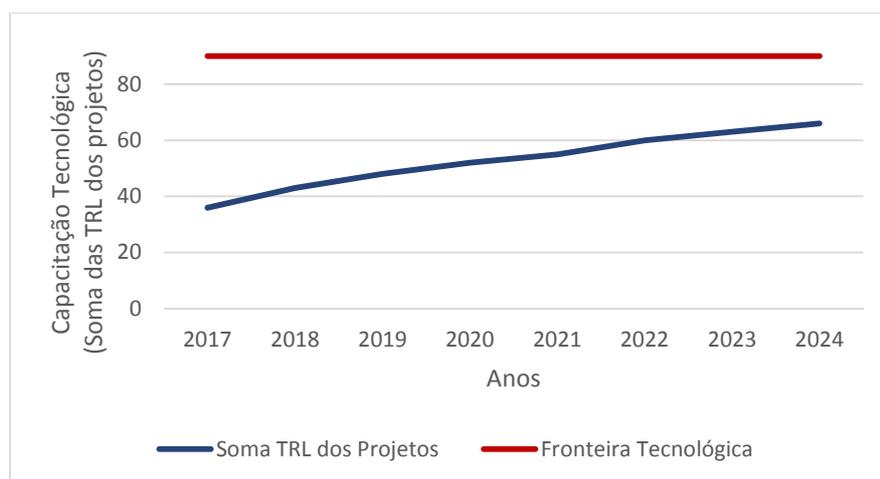
Fonte: Elaborada pelo Autor

Por fim, complementados os modelos de cálculo e figuras mostrados anteriormente para o gerenciamento de um portfólio de projetos de P&D, julgamos relevante sugerir algumas opções de acompanhamento visual do seu desempenho, distintas da métrica utilizada por Figueiredo (2009), mas ainda assim buscando identificar se a trajetória de alcance (*catching-up*) efetivamente sendo trilhada pela organização está condizente com seus objetivos estratégicos relacionados ao aumento de sua capacitação, para uma posição mais próxima da fronteira tecnológica.

A primeira delas é baseada nos valores de TRL atingidos por cada projeto. Para o portfólio utilizado como exemplo nesse trabalho, tem-se que a fronteira tecnológica corresponde ao nível de TRL alcançado por tecnologias já disponíveis no mercado, porém de domínio apenas de outras nações e não necessariamente acessíveis para organizações brasileiras. Assumindo que todas elas já foram aplicadas em sistemas utilizados de forma satisfatória em

ambientes operacionais reais, elas devem ser avaliadas como tendo atingido TRL9. Propomos então a construção de um gráfico onde o eixo das ordenadas corresponda às somas dos valores TRL das tecnologias sendo desenvolvidas pelos projetos do portfólio, e o eixo das abscissas indicando o tempo em anos.

Figura 5.13 – Trajetória de capacitação tecnológica (por soma das TRL).



Fonte: Elaborada pelo Autor

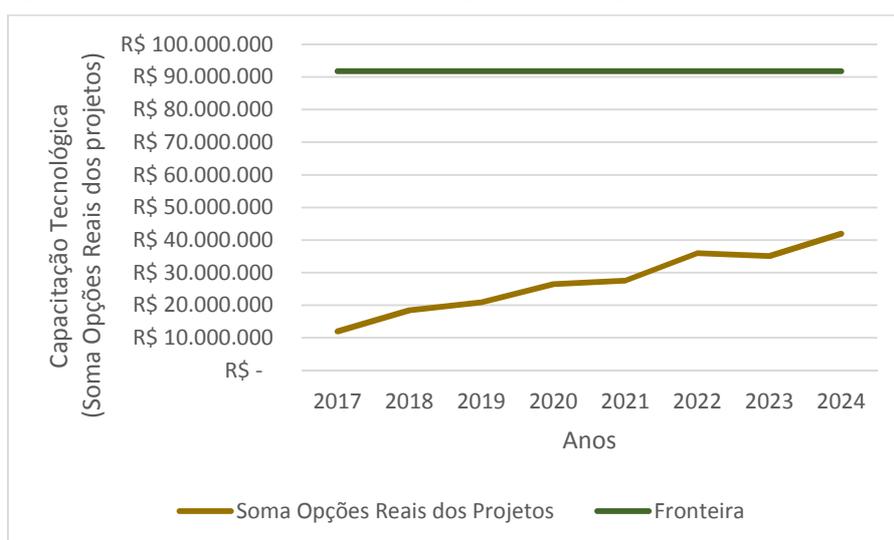
Desta forma, como indicado na Figura 5.13, a fronteira tecnológica será indicada por uma linha horizontal cruzando o eixo das ordenadas no valor 90 (10 tecnologias vezes valor de sua TRL, que é 9). A trajetória de alcance será calculada de forma similar, mas agora considerados os valores de TRL de cada projeto do portfólio. Caso haja melhorias na fronteira tecnológica (por exemplo, uma forma ainda mais eficiente de se aplicar a tecnologia), os responsáveis pelo gerenciamento do portfólio poderiam avaliar junto à diretoria da organização e com os responsáveis pelo projeto de P&D em questão se é conveniente revisarem as avaliações TRL real e de referência, para melhor refletir o novo cenário.

Outra maneira de se visualizar a trajetória de alcance correspondente à evolução da prontidão tecnológica de um portfólio seria ter no eixo das ordenadas a soma dos valores das OR das tecnologias correspondentes aos seus projetos. A linha da fronteira tecnológica cruzaria o eixo das ordenadas no

valor igual à soma dos valores das OR de cada tecnologia correspondentes ao nodo que representa 100% de sucesso no avançamento da TRL em todas as etapas de desenvolvimento, obtidos pela equação (5.5). A trajetória de alcance da capacitação tecnológico seria então obtida pela soma dos valores das OR de cada projeto, como indicado na Figura 5.14.

Novamente, caso houvesse modificações na fronteira tecnológica durante o período considerado, os gestores do portfólio de P&D poderiam decidir reavaliar os valores efetivos e de referência das OR do projeto em questão. Isso alteraria as informações indicadas na Figura 5.14, a partir do instante da modificação do cenário tecnológico de referência.

Figura 5.14 – Trajetória de capacitação tecnológica (por soma de OR).



Fonte: Elaborada pelo Autor

Concluimos essa seção destacando que o método ilustrado na Figura 5.14 é mais sensível aos atrasos na obtenção do avanço esperado da capacitação tecnológica, do que o método ilustrado pela Figura 5.13, uma vez que tais atrasos diminuem o número de missões no período considerado que poderão selecionar a tecnologia crítica e de acesso restrito para fazer parte de seu desenvolvimento. Isso pode ser claramente observado pela maior distância

relativa entre a linha de trajetória de capacitação e a linha representando a fronteira tecnológica.

5.3.4. Alguns impactos da alteração de critérios de avaliação dos projetos

Como brevemente indicado na seção 5.3.1, a abordagem proposta nesse trabalho é compatível com qualquer conjunto de critérios de avaliação do valor financeiro dos projetos de capacitação tecnológico de uma organização. Entretanto, a adoção de outros critérios pode, por exemplo, exigir ajustes na equação (5.1), alterando-se o valor máximo da tecnologia e seus derivados para o conjunto de missões previstas pela organização no período em questão (V_{max}).

Para exemplificar como alterações nos critérios de avaliação de projetos afetam as sugestões de investimentos obtidos com a metodologia proposta nessa dissertação, iremos propor duas alternativas àquelas utilizados na seção 5.3.1. Dessa forma, essas alternativas devem ser encaradas apenas como indícios de que o método de gerenciamento de portfólio de projetos de P&D aqui proposto pode ser utilizado como outros critérios de avaliação de projetos.

5.3.4.1. Primeiro exemplo de critério alternativo

O total dos investimentos previstos inicialmente para cada um dos projetos de capacitação ($\sum i$) será agora desconsiderado. Isso poderia ser utilizado para se evitar que a solicitação orçamentária dos projetos de P&D fosse “inflacionada” para se obter valores maiores de opções reais. Para este caso, todas as equações listadas na seção 5.3.1 permanecem inalteradas, exceto a equação (5.1), que calcula o valor de V_{max} .

A nova equação para obtê-lo é dada a seguir:

$$V_{max} = V_m \cdot n + \sum r + \sum b \quad (5.19)$$

Com esse ajuste, podemos seguir normalmente os passos da abordagem proposta nesse trabalho. Novamente utilizaremos o exemplo do projeto de desenvolvimento da tecnologia crítica “TC1”, a qual apresenta $V_m = R\$ 1$ milhão e encontra-se atualmente em TRL4. Desconsideraremos, como feito anteriormente, quaisquer receitas relativas ao licenciamento ou transferência dessa tecnologia ou ganhos financeiros à sociedade.

Calculamos então todos os parâmetros necessários para a obtenção da nova função utilidade de referência, que considera que a elevação da TRL ocorreu como previsto (sem atrasos), como indicado a seguir:

$$V_{max} = R\$ 1.000.000 \cdot 8 + 0 + 0 = R\$ 8.000.000 \quad (5.20)$$

$$V_a = R\$ 1.000.000 \cdot 8 \cdot \frac{4}{9} \cong R\$ 3.600.000 \quad (5.21)$$

$$f_{up} = \left(\frac{R\$ 8.000.000}{R\$ 3.600.000} \right)^{\frac{1}{4}} \cong 1,2 \quad (5.22)$$

$$f_{down} = \left(\frac{1}{1,2} \right) \cong 0,8 \quad (5.23)$$

$$V_1 = R\$ 3.600.000 \cdot (1,2)^1 \cdot (0,8)^0 \cong R\$ 4.320.000 \quad (5.24)$$

$$V_2 = R\$ 3.600.000 \cdot (1,2)^2 \cdot (0,8)^0 \cong R\$ 5.184.000 \quad (5.25)$$

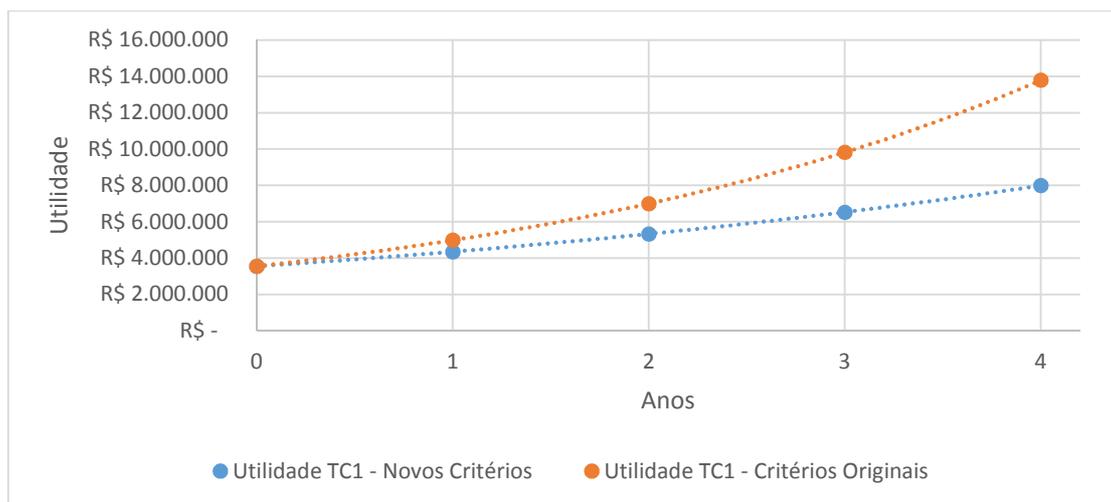
$$V_3 = R\$ 3.600.000 \cdot (1,2)^3 \cdot (0,8)^0 \cong R\$ 6.220.800 \quad (5.26)$$

Inserindo-se esses valores em uma planilha eletrônica, podemos determinar a linha de tendência que melhor se adeque aos pontos encontrados, cuja expressão corresponderia à nova função utilidade, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 1:

$$\text{Função Utilidade} \cong R\$ 3.600.000 \cdot e^{0,2027t} \quad (5.27)$$

O valor obtido pela equação (5.27) difere daquele obtido pela equação (5.13), refletindo como esperado a alteração nos critérios de avaliação dos projetos. Podemos observar mais facilmente essa diferença plotando ambas as funções utilidades, como indicado pela Figura 5.15.

Figura 5.15 – Comparação entre funções utilidade para um mesmo projeto.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Podemos então realizar os inúmeros cálculos relacionados à análise das OR, conforme o procedimento detalhado na seção 5.3.2. A nova árvore de eventos do avançamento da TRL do projeto de desenvolvimento da tecnologia crítica “TC1” é mostrada na Figura 5.16.

Figura 5.16 – Árvore de eventos em uma planilha eletrônica.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.354.648 | R\$ 5.333.333 | R\$ 6.531.973 | R\$ 8.000.000 |
| 1 | | R\$ 2.903.099 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.354.648 | R\$ 5.333.333 | R\$ 6.531.973 |
| 2 | | R\$ - | R\$ 2.370.370 | R\$ 2.903.099 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.354.648 | R\$ 5.333.333 |
| 3 | | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.935.399 | R\$ 2.370.370 | R\$ 2.903.099 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.354.648 | R\$ 4.354.648 | R\$ 4.354.648 | R\$ 4.354.648 |
| 4 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.580.247 | R\$ 1.935.399 | R\$ 2.370.370 | R\$ 2.903.099 | R\$ 3.555.556 | R\$ 3.555.556 | R\$ 3.555.556 |
| 5 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.290.266 | R\$ 1.580.247 | R\$ 1.935.399 | R\$ 2.370.370 | R\$ 2.903.099 | R\$ 2.903.099 |
| 6 | | R\$ - | R\$ 1.053.498 | R\$ 1.290.266 | R\$ 1.580.247 | R\$ 1.935.399 | R\$ 2.370.370 |
| 7 | | R\$ - | R\$ 860.177 | R\$ 1.053.498 | R\$ 1.290.266 | R\$ 1.580.247 |
| 8 | | R\$ - | R\$ 702.332 | R\$ 860.177 | R\$ 1.053.498 |
| 9 | | R\$ - | R\$ 573.452 | R\$ 702.332 |
| 10 | | R\$ - | R\$ 468.221 |

Fonte: Elaborada pelo Autor

Calculamos então o valor das OR relacionadas a cada ciclo de evolução da TRL do projeto e realizamos a análise comparativa entre eles, buscando

construir uma árvore de análise das OR para cada ano nesse novo contexto. O resultado final desse processo pode ser visto na Figura 5.17.

Figura 5.17 – Árvore de análise das OR disponíveis em cada período.

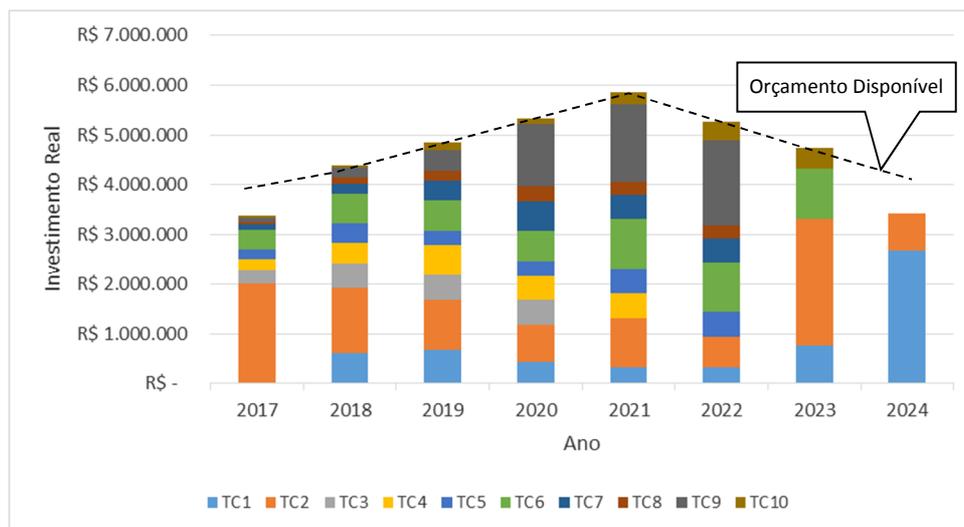
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|------------|
| 0 | R\$ - | R\$ 1.167.462 | R\$ 2.498.786 | R\$ 5.031.973 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 220.386 | R\$ 1.054.520 | R\$ 3.020.179 | R\$ 3.833.333 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 273.954 | R\$ 1.717.359 | R\$ 2.221.322 | R\$ 2.854.648 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 889.752 | R\$ 1.187.409 | R\$ 1.569.586 | R\$ 2.055.556 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 548.639 | R\$ 759.593 | R\$ 1.039.050 | R\$ 1.403.099 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 288.398 | R\$ 422.244 | R\$ 610.759 | R\$ 870.370 | R\$ - | R\$ - |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 109.810 | R\$ 174.331 | R\$ 275.955 | R\$ 435.399 | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 17.129 | R\$ 28.662 | R\$ 47.959 | R\$ 80.247 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor

Podemos destacar nesse momento um efeito interessante da modificação dos critérios para avaliação dos projetos. Como indicado na Figura 5.17, na célula (0,0), não é recomendado o investimento no primeiro ano no projeto de desenvolvimento da tecnologia crítica “TC1”. Isso ocorreu, pois o valor da opção real disponível para aquele momento, correspondente ao esforço de se elevar a TRL de 4 para 5, era inferior ao valor de investimento estimado para tal fim.

Quando calculamos as árvores de análise das OR para todos os projetos do portfólio, podemos então aplicar os passos finais da metodologia proposta, para se obter as sugestões de investimento, como mostrado detalhadamente na seção 5.3.3. O resultado dessa análise pode ser visto na Figura 5.18.

Figura 5.18 – Gráfico dos investimentos realizados para capacitação tecnológica.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Embora os sucessos e fracassos durante a elevação da TRL dos projetos tenham sido os mesmos utilizados no primeiro exemplo desta dissertação (seção 5.3.3), a alteração no critério de avaliação dos projetos afetou, como era de se esperar, as sugestões de investimentos obtidos através da metodologia proposta.

Para concluir esse exemplo, seria importante destacar que, como a soma dos recursos solicitados pelos demais projetos do portfólio no primeiro período considerado foi inferior ao total de recursos disponíveis, o gestor poderia decidir utilizar as sobras orçamentárias, R\$ 625.000, no desenvolvimento do projeto TC1 naquele período (o que seria equivalente à 78% do valor solicitado).

5.3.4.2. Segundo exemplo de critério alternativo

Iremos agora propor uma alteração dos critérios utilizados na seção 5.3.1 relacionada ao percentual de utilização dos investimentos concedidos em cada período. Essa alteração não afeta as equações (5.1) a (5.5), e sim, apenas o terceiro passo do procedimento de cálculo de priorização dos investimentos descrito na seção 5.3.3. O novo procedimento seria então:

1. Selecionar os valores das OR correspondentes ao nível de TRL comprovadamente alcançado no período, para cada projeto;
2. Calcular a proporção do valor da opção real selecionada na etapa 1, para cada projeto em um dado período, frente à soma do valor das opções de todos os projetos do portfólio de P&D, no mesmo período;
3. Calcular o valor de investimento para cada projeto em um período, aplicando-se a proporção calculada no passo 2, descontando-se desse valor o percentual dos recursos disponibilizados no período anterior que não foi utilizado (caso aplicável), ao orçamento total disponível no período;
4. Limitar os investimentos obtidos na etapa 3, pelos valores originalmente planejados para a realização de cada um dos projetos;
5. Para todos os projetos que não foram contemplados com todo o investimento planejado, somar seus valores de opção real no período e calcular as novas proporções dos valores de opção real individual frente ao todo, no mesmo período;
6. Redistribuir as sobras obtidas após o passo 4, seguindo a proporção definida no passo 5, entre os projetos que ainda não foram contemplados com todo o investimento originalmente solicitado;
7. Se não há projetos com valor da opção real correspondente igual a zero, repetir os passos 3 a 6 até que não haja mais sobras para investimento. Caso contrário, repetir os passos 3 a 6 até que não haja alteração no valor das sobras para investimento após duas iterações;
8. Caso haja projetos com valor da opção real correspondente igual a zero e sobras orçamentárias para investimento, decidir se haverá distribuição desses recursos e qual a proporção para cada projeto;

9. Recomeçar esse processo do passo 1, para os valores das OR e TRL do período seguinte, até que todos os períodos de investimento sejam analisados.

Retornamos mais uma vez ao exemplo do projeto de desenvolvimento da tecnologia crítica “TC1”. A função utilidade de referência permanece a mesma daquela obtida pela equação (5.13). Da mesma forma, os cálculos relativos ao valor das OR não se alterarão em relação àqueles obtidos na seção 5.3.2.

Adotando-se o percentual de uso dos recursos disponíveis anualmente por cada projeto como indicado na Tabela 5.4, devemos aplicar agora os passos descritos acima, em substituição àqueles sugeridos originalmente na seção 5.3.3, para se obter as sugestões de investimento.

Tabela 5.4 – Percentual de utilização dos recursos distribuídos anualmente por projeto.

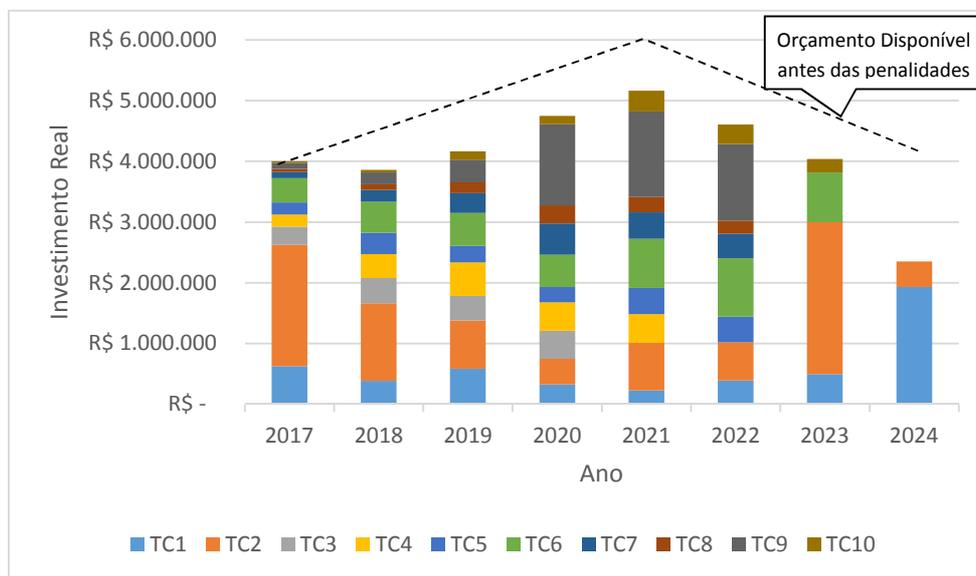
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TC1 | 90% | 82% | 95% | 85% | 86% | 84% | 81% | 88% |
| TC2 | 85% | 81% | 80% | 82% | 86% | 87% | 98% | 90% |
| TC3 | 83% | 81% | 92% | 99% | | | | |
| TC4 | 99% | 92% | 94% | 95% | 92% | | | |
| TC5 | 88% | 92% | 83% | 86% | 85% | 99% | | |
| TC6 | 85% | 90% | 89% | 81% | 96% | 82% | 83% | |
| TC7 | 96% | 82% | 86% | 88% | 81% | 99% | | |
| TC8 | 82% | 89% | 99% | 100% | 87% | 93% | | |
| TC9 | 96% | 94% | 89% | 94% | 84% | 87% | | |
| TC10 | 82% | 91% | 91% | 88% | 95% | 80% | 99% | |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Após um pequeno ajuste nos modelos de avaliação dos projetos, para levar em conta o fato que não mais será necessário redistribuir o orçamento disponível anualmente entre todos os projetos do portfólio até que não haja mais sobras, o resultado dessa análise pode ser visto na Figura 5.19, que é nitidamente diferente daquele obtido no exemplo da seção 5.3.3. Entretanto, é importante ressaltar aqui que, em um caso real de aplicação desse critério, também seria necessária uma avaliação da qualidade de uso dos recursos disponibilizados, capaz de se evitar, por exemplo, que equipamentos fossem comprados e não

fossem utilizados em ensaios para evolução da prontidão tecnológica, apenas como forma de se atingir percentuais maiores de uso orçamentário.

Figura 5.19 – Gráfico dos investimentos realizados para capacitação tecnológica.



Fonte: Elaborada pelo Autor

Finalizando esse exemplo, como a soma dos recursos distribuídos entre os projetos, à partir do ano de 2018, é inferior ao orçamento disponível, em virtude das penalidades aplicadas a todos os projetos que não conseguiram utilizar 100% dos recursos disponibilizados no ano anterior, há uma sobra orçamentária. Julgamos que, caso este fosse uma aplicação real, isso tenderia a não ocorrer da mesma forma, uma vez que as penalidades iniciais iriam gerar nas equipes dos projetos um maior incentivo para o uso total do orçamento solicitado, e consequentemente, alterando os valores da Tabela 5.4 (poderia haver diminuição das penalidades aplicadas por mau uso do orçamento).

6 DISCUSSÃO

6.1. Comparação com a revisão bibliográfica

Buscando atingir seus objetivos estratégicos através de sua capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2014), o INPE precisa gerir eficazmente os recursos disponíveis. Referências para auxiliar essa tarefa podem ser extraídas de organizações similares, como a NASA.

Independentemente das diferenças de ordem de grandeza entre os orçamentos anuais disponíveis para INPE e NASA, essa última também enfrenta o desafio de alocar recursos escassos para atender aos seus programas e missões espaciais, e um dos métodos utilizados por eles para esse fim baseia-se na teoria das OR (SHISHKO, 2003), evitando-se a todo custo o uso de análises baseadas em fluxos de caixa descontados, tais como o VPL, devido às grandes incertezas com relação aos custos de desenvolvimento de cada projeto de capacitação tecnológica e seus benefícios potenciais (HAWES e DUFFEY, 2008).

Muitos autores, entretanto, consideram ser difícil resolver as dificuldades inerentes à aplicação da teoria de OR para a avaliação de projetos que não necessariamente gerarão resultados ou produtos que serão comercializados, pois, faz-se necessário determinar a volatilidade do valor financeiro desses projetos ao longo do tempo (SANTOS e PAMPLONA, 2002), e sem um referencial de mercado, qual seria a fonte alternativa para tal informação?

Devido às dificuldades de se quantificar o valor de projetos de capacitação tecnológica efetuados por organizações como o INPE, que deveria ser baseado também em seus resultados sociais, ambientais e culturais, e não apenas nos aspectos econômicos (PIRIC e REEVE, 1997; POLCUCH, 2001; LACKNER;

1999), análises baseadas nos conceitos de utilidade multicritério podem ser utilizadas (DOWNEM, 2005; DCLG, 2009).

6.2. Contribuições desse trabalho

A proposta de relacionamento das metodologias de desenvolvimento de novos produtos, análises sistemáticas de prontidão tecnológica, funções utilidades e análises de opção reais (como indicado na Figura 4.1), para suportar quantitativamente o gerenciamento de portfólios de projetos de P&D, mesmo que não tenham fins lucrativos, é inédita. Com essa abordagem, apresentamos uma solução prática para alguns dos problemas identificados para o uso da teoria de OR para avaliação de projetos que não teriam seus resultados sendo avaliados financeiramente pelo mercado (SANTOS e PAMPLONA, 2002), adaptando a metodologia de cálculo de OR proposta por Copeland e Antikarov (2001), que por sua vez foi baseada em Cox, Ross e Rubinstein (1979).

Com esse acompanhamento da evolução do valor das OR de cada projeto ao longo do tempo, o método aqui proposto contribui para aumentar a eficiência do gerenciamento do portfólio de desenvolvimento de novos produtos, alinhando-se ao entendimento de Fridgeirsdottir e Akella (2005) e Eggert (2008), pois traria mais objetividade às tomadas de decisão sobre a priorização de uso dos recursos disponíveis nos projetos que efetivamente estão contribuindo com os objetivos estratégicos da organização e indicando quando se faz necessário readequar (por exemplo, reduzir ou aumentar investimentos, aguardar algum evento ou condição para novos investimentos) ou mesmo cancelar projetos menos eficientes (COOPER et al., 2001; EGGERT, 2008) na busca da capacitação da organização em tecnologias críticas.

Ao utilizar o método TRL, a proposta desta dissertação indica que tal método de aferição da prontidão tecnológica pode efetivamente ser utilizado para embasar decisões sobre investimento em projetos de desenvolvimento tecnológico (NASA, 2007; NRC, 2014). Além disso, sendo o método TRL o

padrão utilizado pelos principais ramos industriais mundiais (OLECHOWSKI et al., 2015), diminuimos as barreiras de adoção do procedimento proposto nesse trabalho, uma vez que seus princípios estão cada vez mais difundidos mundialmente.

Entretanto, devido à nossa proposta de se criar um fator específico para representar o percentual já alcançado de domínio tecnológico (f_{trl}), bastaria uma simples alteração em sua fórmula para que refletisse qualquer técnica de avaliação de maturidade tecnológica indicadas como alternativas melhores ao método TRL (como sugerido por AZIZIAN et al., 2009; PHILLIPS, 2010; SARFARAZ et al., 2012).

6.3. Limitações

A primeira limitação desse trabalho foi modelar a evolução do valor das OR de cada projeto levando-se em conta apenas o grau de sucesso de um dado projeto de capacitação em elevar a TRL de uma certa tecnologia para o nível 7 até o atingimento do ponto crítico de tomada de decisão equivalente ao KDP C da NASA (transição da Fase B – Projeto Preliminar e Finalização Tecnológica para a Fase C – Projeto Final e Fabricação). Como indicado por Sauser et al. (2005), poder-se-ia adotar também a TRL6 nesse KDP (como de fato é feito pela NASA). Poder-se-ia propor, alternativamente, uma valorização também afetada pelo atingimento de níveis específicos de prontidão tecnológica nos KDP A e B (por exemplo, TRL5 e TRL6, respectivamente).

Ao utilizar-se da abordagem de OR ao invés de um processo baseado em fluxo de caixa descontados, o método para suportar a gestão de um portfólio de investimentos em tecnologias proposto por essa dissertação alinhou-se com uma das estratégias adotadas pela NASA para solucionar o problema de como alocar recursos limitados para otimizar os resultados das suas missões espaciais (SHISHKO, 2003), permitindo que os tomadores de decisão sobre tais investimentos possam utilizar as novas informações decorrentes dos

projetos de capacitação tecnológica para reduzir o impacto das incertezas inerentes aos projetos de P&D na avaliação do valor de cada um deles para a organização (NEELY, 1998; DIAS, 2005). Mesmo assim, poder-se-ia entender como limitações adicionais desse trabalho não terem sido feitas considerações sobre como o portfólio de projetos de P&D utilizado como exemplo seria gerenciado caso utilizássemos um método de fluxo de caixa descontado, como o VPL, ou discorrer, mesmo que brevemente, sobre quais seriam os efeitos sobre a metodologia proposta caso houvéssemos adotado outros métodos de aplicação da teoria das OR. Entretanto, seria importante destacar que, para que tais análises comparativas fossem executadas, o autor dessa dissertação seria obrigado a propor adaptações que permitissem utilizá-las em projetos sem geração de receitas, o que por si só, justificaria a criação de outras propostas de dissertações específicas.

Na apresentação geral do ciclo de vida para o desenvolvimento de novos produtos espaciais, não foram abordados os inúmeros modelos que são utilizados por organizações como a NASA, como, por exemplo, o modelo em V (Verificação e Validação). Nos principais modelos de referência para o desenvolvimento de um produto, entretanto, existem momentos chave para a tomada de decisão quanto ao avançamento para a fase seguinte. Por esse motivo, mesmo sem ter sido avaliado as especificidades desses modelos de desenvolvimento de produtos, a metodologia proposta ainda poderia ser utilizada. Também não foram abordados como a metodologia proposta se comportaria em ciclos de P&D mais rápidos (e.x. *“Fail Fast”*, *“Agile”* etc), onde inúmeras linhas de desenvolvimento são continuamente criadas e destruídas, mediante os resultados concretos obtidos dos potenciais usuários.

Finalmente, esse trabalho limitou-se a indicar uma metodologia capaz de descrever qualquer conjunto de critérios de valorização de projetos de capacitação tecnológica como funções utilidade que, por sua vez, são utilizadas como referência para uma valorização temporal daqueles projetos

segundo o avanço de suas TRLs, não incluindo quaisquer tipos de salvaguardas quanto ao risco de diferentes critérios serem utilizados para diferentes projetos do portfólio sendo gerenciado. Assumiu-se então que o conjunto de critérios utilizado seja sempre o mesmo para todos os projetos, e o valor que cada um recebe variará apenas de acordo com as características objetivas de cada um deles. Assim, o método proposto seria adequado para os casos onde os critérios adotados (e os valores a eles atribuídos) não distorcessem a relevância relativa real dos projetos de P&D frente aos objetivos estratégicos da organização (não classificando erroneamente os projetos para obtenção de recursos, especialmente quanto não é possível ter uma previsão absoluta de seu retorno financeiro). Também não foram considerados efeitos nos valores das OR relacionados com eventuais alterações da função utilidade relacionados com alterações no cenário tecnológico e a duração do cronograma de desenvolvimento da tecnologia correspondente.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo geral dessa dissertação, como mostrado na Seção 1.1, de propor uma metodologia de gestão de portfólios de projetos de capacitação tecnológica que suporte a tomada de decisão quanto à alocação de recursos por instituições públicas do setor espacial brasileiro, de forma sistemática e quantitativa, foi atingido através do cumprimento dos objetivos específicos citados na Seção 1.2.

O objetivo específico de se encontrar metodologias de Desenvolvimento de Novos Produtos (NPD), avaliação do nível de prontidão tecnológico, avaliação de projetos baseados na TOR e teoria de utilidade, que tenham como características a praticidade do uso, foi atingido partindo-se da definição dos princípios direcionadores listados na Seção 4.1. Tais princípios propiciaram então a escolha das metodologias de referência para esse trabalho, indicadas na Seção 4.1.2, entre inúmeras opções identificadas na bibliografia consultada para a realização desse trabalho.

O segundo objetivo específico, que era propor uma abordagem que combine os aspectos das metodologias de referência (TRL, *Stage-Gate*, OR e Função Utilidade) que pudesse ser utilizada para se atingir de forma prática o objetivo principal dessa dissertação, foi atingido como descrito na Seção 4.1.3. Não foi identificado na pesquisa bibliográfica o uso combinado dessas metodologias para quaisquer fins. Também não foram encontrados estudos abordando como utilizar OR para avaliação de projetos cujos produtos resultantes não sejam comercializados, ou seja, quando não há expectativa de geração de fluxos de caixa futuros, após conclusão do projeto de desenvolvimento.

O último objetivo específico, aplicar a abordagem proposta em um portfólio fictício de projetos de capacitação tecnológicos, inspirado em exemplos reais do INPE ou outras instituições públicas do setor espacial brasileiro, foi alcançado como descrito ao longo do Capítulo 5.

Mais especificamente, a construção do portfólio de projetos e do cronograma das missões fictícias sobre os quais a abordagem seria aplicada é mostrada na Seção 5.2.3 e Apêndices C e E. No total, foram idealizados 10 projetos de desenvolvimento de tecnologias críticas não concorrentes (ou seja, todos poderiam ser aplicados em uma mesma missão caso atingissem o nível adequado de prontidão tecnológica até o KDP C), com diferentes custos, ciclos de desenvolvimento e referência de preços de tecnologias similares no mercado, e 9 missões espaciais para lançamento do mesmo número de satélites.

O procedimento para se utilizar funções utilidade para mapear o valor de uma dada tecnologia crítica sendo desenvolvida em um projeto de P&D e os múltiplos critérios para seu cálculo são detalhados na Seção 5.3.1 e Apêndice D, incluindo a proposição de um fator que leva em conta o nível da prontidão tecnológica de cada projeto ao longo do tempo, baseado na métrica TRL, e seu efeito na função utilidade correspondente. A partir destas informações, seria então possível descrever quantitativamente o comportamento de um gestor de portfólio de projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito de uma organização como o INPE, através de uma função utilidade correspondente ao comportamento de investidores propensos ao risco.

A aplicação dos aspectos da abordagem mais diretamente ligados à teoria das OR é feita na Seção 5.3.2 (para um dos projetos do portfólio utilizado como exemplo) e no Apêndice E (com os resultados dessa aplicação para todos os projetos do portfólio). O uso de uma planilha eletrônica (Microsoft Excel) para essa aplicação, utilizando-se apenas de seus recursos básicos para automatização de cálculos, demonstra em parte a simplicidade de ser aplicada e compreendida, visando diminuir a resistência quanto à sua adoção. O mesmo ocorrendo na demonstração da aplicação da abordagem com os procedimentos relativos à gestão propriamente dita do portfólio de projetos de P&D, detalhado na Seção 5.3.3.

Diversos aspectos relacionados ao processo decisório do INPE para investimentos em projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito podem não ter sido abordados por esse trabalho. Entretanto, mesmo com suas limitações de escopo, esperamos ter apresentado uma abordagem que sirva, pelo menos, para auxiliar o INPE e organizações similares a desenvolver suas próprias metodologias quantitativas para esse fim, e que possam ajuda-las a realizar seus objetivos estratégicos de forma eficiente e sistemática.

Sugestões para trabalhos futuros

A primeira sugestão para o desenvolvimento de trabalhos futuros, relacionados ao tema abordado por essa dissertação, é de se simular a aplicação da abordagem proposta em um portfólio de projetos de desenvolvimento de tecnologias do INPE, de forma a testar uma grande quantidade de cenários probabilísticos relacionados ao sucesso ou fracasso do avançamento do nível de capacitação tecnológica de cada um deles. Outras simulações com os mesmos cenários poderiam ser feitas utilizando-se, por exemplo, um método de avaliação de projetos baseados na metodologia VPL e um método que representasse o processo atual de decisão sobre investimento do INPE. Os resultados dessas simulações poderiam então ser comparados para verificar-se qual delas conseguiu assegurar o atingimento da capacitação total esperada pela organização no menor tempo possível, ou com o menor investimento total (ou quaisquer outros critérios identificados como relevantes).

Outro trabalho poderia abordar maneiras de se implantar ou alterar estruturas e processos organizacionais que suportem à avaliação sistemática da evolução da capacitação tecnológica em organizações como o INPE, avaliando-se qual das metodologias existentes melhor atenderia às suas necessidades específicas, e como a metodologia escolhida poderia ser difundida adequadamente pela organização. Além disso, poderiam ser avaliadas as melhores práticas para que as avaliações dos projetos fossem realizadas de

forma independente e uniforme, garantindo que os méritos intrínsecos de cada projeto fossem julgados equitativamente.

Uma terceira sugestão de trabalho seria identificar quais os melhores critérios para a avaliação sistemática dos valores relativos ou absolutos dos projetos de capacitação tecnológica do INPE, como esses critérios poderiam ser quantificados de forma a reduzir as fontes de variabilidade decorrentes da diferença de opiniões dos avaliadores sobre cada projeto ao longo do tempo, ou como poder-se-iam encontrar quais valores atribuídos aos critérios poderiam ser considerados como referência (talvez utilizando-se metodologia baseada no coeficiente de correlação de Kendall).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Programa Nacional de Atividades Espaciais: PNAE: 2012-2021**. Brasília: Agência Espacial Brasileira, 2012. 36 p. Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/wpcontent/uploads/2013/01/PNAE-Portugues.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.
- ALCHIAN, A. A. The meaning of utility measurement. **The American Economic Review**, v. 43, n. 1, p. 26-50, 1953. Disponível em: http://www3.uah.es/econ/MicroDoct/Alchian-Utility%20Measurement_1953.pdf. Acesso em: 01/05/2016.
- AZIZIAN, N; SARKANI, S; MAZZUCHI, T. A comprehensive review and analysis of maturity assessment approaches for improved decision support to achieve efficient defense acquisition. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE (WCECS 2009), 2009, San Francisco. **Proceedings...** [S.l.]: International Association of Engineers/Newswood Limited, 2009. p. 20-22. Disponível em: http://www.iaeng.org/publication/WCECS2009/WCECS2009_pp1150-1157.pdf. Acesso em: 7/06/2015.
- BHUIYAN, N. A framework for successful new product development. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 4, n. 4, p.746-770, 2011. Disponível em: <http://jiem.org/index.php/jiem/article/view/334/241>. Acesso em: 29/04/2016.
- BILBRO, J. W. **Systematic assessment of the program/project impacts of technological advancement and insertion**. JB Consulting International, 2007. Disponível em: <http://jbconsultinginternational.com/Documents/White%20Paper%20on%20Technological%20Assessment-Rev%20A.doc>. Acesso em: 25/04/2016.
- BOOZ, A; HAMILTON. **New products management for the 1980s**. Indiana: Booz Allen & Hamilton, 1982.
- COOPER, R. G. Managing technology development projects. **Research-Technology Management**, v. 49, n. 6, p. 23-31, 2006. Disponível em: http://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp_25.pdf. Acesso em: 29/04/2016.
- COOPER, R.G. The stage-gate idea-to-launch process—update, what's new and NexGen systems. **Journal of Product Innovation Management**, v. 25, n. 3, May 2008, pp 213-232. Disponível em: http://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp_30.pdf. Acesso em: 29/04/2016.

COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. **R&D Management** (Industrial Research Institute, Inc.) v. 31, n. 4, 2001. Disponível em: http://www.stage-gate.net/downloads/wp/wp_13.pdf. Acesso em: 09/06/2015.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Real options** – a practitioner's guide. New York: Texere LLC, 2001.

COX, J.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. **Options pricing** – a simplified approach, journal of financial economics. março 1979. Disponível em: <http://fisher.osu.edu/~fellingham.1/seminar/CRR79.pdf>. Acesso em: 15/05/2016.

CROWFORD, C. M. **New product management**. 5. ed. Burr Ridge: Ill, Irwin, 1997.

CUSINATO, R. T. **Teoria da decisão sob incerteza e a hipótese da utilidade esperada**: conceitos analíticos e paradoxos. 2003. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1961/000362539.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30/04/2016.

DATAR, V. T.; MATHEWS, S. H. European real options: an intuitive algorithm for the black-scholes formula. **Journal of Applied Finance**, v. 14, n. 1, 2004. Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=560982>. Acesso em: 12/10/2016

DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT (DCLG). **Multi-criteria analysis**: a manual. Londres: UK Department for Communities and Local Government, 2009. Disponível em: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/7612/1132618.pdf. Acesso em: 07/09/2015.

DIAS, M. A. G. **Opções Reais híbridas com aplicações em petróleo**. 2005. 490f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2005. Disponível em: http://marcoagd.usuarios.rdc.puc-rio.br/pdf/tese_doutor_marco_dias.pdf. Acesso em: 08/06/2015.

DoD. TECHNOLOGY READINESS ASSESSMENT (TRA) **Deskbook**. U.S. Department of Defense, Washington, D.C., 2009. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj41Jm5iqfMAhUMIJAkhVOTC7kQFggiMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgi-bin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA524200%26Location%3DU2%26doc%3DGetTRDoc.pdf&usq=AFQjCNH->

[IUQ99M1wIA7y0HNHUeoNmNxV4A&sig2=6_u0Xf67usEfNwdQ_crE4w&cad=rja](#). Acesso em: 22/08/2015.

DoE. **Technology readiness assessment guide. U.S.** Washington: Department of Energy, D.C., 2011. Disponível em: www.directives.doe.gov. Acesso em: 22/08/2015.

DOWNEN, T. D. A Multi-attribute value assessment method for the early product development phase with application to the business airplane industry. 2005. Dissertation (Doctor in Philosophy in Engineering Systems) - Massachusetts Institute of Technology, 2005. Disponível em: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/28839>. Acesso em: 21/09/2015.

EGGERT, M. **Vorentwicklungssteuerung mit Eisenhower-Portfolios** : eine Methode zur zielgerichteten Priorisierung von Innovationsvorhaben unter Ressourcenknappheit . Tese de Doutorado. Universidade de Paderborn. Alemanha, 2008. Disponível em: <http://digital.ub.uni-paderborn.de/hs/content/titleinfo/5157>. Acesso em: 19/08/2015.

EUROPEAN COMMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE. **European Union Industrial R&D Investment Scoreboard Report**. EU 2013. Disponível em: <http://iri.jrc.ec.europa.eu/scoreboard13.html>. Acesso em: abril de 2014.

FIGUEIREDO, P. N. **Gestão da inovação**: conceitos, métricas e experiências de empresas no Brasil. Livros técnicos e científicos Editora S.A. – LTC, 2009

FRIDGEIRSDOTTIR, K.; AKELLA, R. **Product portfolio and capacity management**. London Business School Working Paper. 2005. Disponível em: <http://facultyresearch.london.edu/docs/productportf.pdf>. Acesso em: 27/07/2015.

GAUDIN, S. **NASA's Apollo technology has changed history**: Apollo lunar program made a staggering contribution to high tech development. Computerworld, 20/07/2009. Disponível em: <http://www.computerworld.com/article/2525898/app-development/nasa-s-apollo-technology-has-changed-history.html>. Acesso em: 08/01/2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GLOBAL INNOVATION INDEX 2015 REPORT (GII 2015). Disponível em: <http://www.globalinnovationindex.org/content.aspx?page=GII-Home>. Acesso em: julho de 2016. Cornell University, INSEAD, and WIPO (2015): The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development, Fontainebleau, Ithaca, and Geneva.

HAWES, W. M.; DUFFEY, M. R. Formulation of financial valuation methodologies for NASA's human space flight projects. **Project Manage J**, v.39, n. 1, p. 85-94, 2008. Disponível em:

<http://www.pmi.org/learning/financial-valuation-methodologies-nasas-projects-5588>. Acesso em: 30/07/2015.

HULL, J. C. **Options, futures, and other derivatives**. Pearson Education India, 2006. Disponível em:

<http://raudys.com/kursas/Options,%20Futures%20and%20Other%20Derivatives%207th%20John%20Hull.pdf>. Acesso em: 30/04/2016.

KRISHNAN, V.; ULRICH, K. T. Product development decisions: a review of the literature. **Management Science**, v. 47, n. 1, p. 1 – 21, 2001.

Disponível em:

<http://www.ktulrich.com/uploads/6/1/7/1/6171812/pdreview.pdf>. Acessado em: 27/07/2015.

LACKNER, D. I. **Strategic technology investment decisions in research & development**. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology, 1999. Disponível em:

<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/82677>. Acesso em 25/06/2014.

LOCH, C. H.; KAVADIAS, S. **Managing new product development**: an evolutionary framework. Handbook of New Product Development Management, Elsevier Ltd., 2008. Cap.1.

MALAS, J.; NOLTE, W; JACKSON, J. **Limitations of readiness levels**. Presentation for the USA Air Force research laboratory. 26/10/2011.

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

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Systems engineering handbook**. Washington D.C., 2007. 360 p. ISBN 978-0-16-079747-7. Disponível em: <<http://www.acq.osd.mil/se/docs/NASA-SP-2007-6105-Rev-1-Final-31Dec2007.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), INSTITUTE OF MEDICE (IOM). **Technologies to enable autonomous detection for BioWatch**: ensuring timely and accurate information for public health officials: Workshop Summary. Washington, DC: The National Academies Press. 2014.

Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=OhmfAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 07/06/2015.

NEELY III, J. E. **Improving the valuation of research and development: a composite framework of real options, decision analysis and benefit valuation framework.** PhD Thesis in Technology, Management and Policy at Massachusetts Institute of Technology. June 1998. Disponível em: <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/9647#files-area>. Acesso em: 25/05/2015.

NEUFVILLE, R. Real options: dealing with uncertainty in systems planning and design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGY POLICY AND INNOVATION, 5., 2001, Delft. **Proceedings...** Delft, Netherlands: Technical University of Delft, 2001. Disponível em: http://ardent.mit.edu/real_options/Real_opts_papers/delftpaperpublication.pdf. Acesso em: 02/08/2015.

NOLTE, W. L. **Did I ever tell you about the whale?** or measuring technology maturity, Charlotte, N.C.: Information Age Pub., 2008.

NORSTAD, J. **An introduction to utility theory.** Manuscript, 2011. Disponível em: <http://www.norstad.org/finance/util.pdf>. Acesso em: 01/05/2016.

OLECHOWSKI, A. L.; EPPINGER, S. D.; JOGLEKAR, N. **Technology readiness levels at 40: a study of state-of-the-art use, challenges, and opportunities.** (April 1, 2015). MIT Sloan Research Paper No. 5127-15. Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=2588524>. Acesso em: 15/06/2015.

PERONDI, L. F. **Discurso de posse do diretor do Inpe.** São José dos Campos, Brasil. 01 junho 2012. Disponível em: <
http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/Discurso_posse_Perondi.pdf>. Acesso em: 07 mai 2015.

PHILLIPS, E. L. **The development and initial evaluation of the human readiness level framework.** Naval Postgraduate School Monterey CA, 2010. Disponível em: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a525365.pdf>. Acesso em: 07/06/2015.

PIRIC, A.; REEVE, N. Evaluation of public investment in R&D – towards a contingency analysis, in policy evaluation in innovation and technology: towards best practices. In: OECD CONFERENCE, June 1997. **Proceedings...** OECD, 1997, Chapter 5. p. 49-58. Disponível em: <http://www.oecd.org/sti/inno/1822593.pdf>. Acesso em: 8/06/2015.

POLCUCH, E. F. La medición del impacto social de la 113oncept y 113oncepto f. ALBORNOZ, M.(compilador). **Temas Actuales de indicadores de ciencia y tecnología en America Latina y el Caribe.**

Buenos Aires: Ricyt, 2001. Disponível em:

<http://www.oei.es/ctsiima/polcuch.pdf>. Acesso em: 18/07/2015.

RAIFFA, H. **The art and science of negotiation**. Harvard University Press, 1982. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=y-4T88h3ntAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Raiffa&ots=4j5G6lVA4o&sig=XmZph5QrUFFwAj3E7AYKLF523MM#v=onepage&q=Raiffa&f=false>. Acessado em 08/01/2017.

SANTOS, E M.; PAMPLONA, E. O. Teoria das opções reais: aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE FINANÇAS, 2., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: Ibemec julho de 2002. Disponível em: www.iepg.unifei.edu.br/edson/download/Artelieber2oEBF02.pdf. Acesso em: 08/06/2015.

SARFARAZ, M.; SAUSER, B. J.; BAUER, E. W. Using system architecture maturity artifacts to improve Technology Maturity Assessment. **Procedia Computer Science**, v. 8, p. 165-170, 2012. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091200035X>.

Acesso em: 07/06/2015.

SAUSER, B.; VERMA, D.; RAMIREZ-MARQUES, J.; GOVE, R. From TRL to SRL: the concept of systems readiness levels. In: CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING RESEARCH, 2005, Los Angeles, CA.

Proceedings... Los Angeles: University of Southern, 2005. Disponível em:

<http://www.boardmansauser.com/downloads/2005SauserRamirezVermaGoveCSER.pdf>. Acesso em: 07/06/2015.

SHISHKO, R. Optimizing technology investments: a broad mission model approach. In: AIAA SPACE 2003 CONFERENCE & EXPOSITION, 2003, Long Beach, California. **Proceedings...** AIAA, 2003. p. 6211. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/267700368_Optimizing_Technology_Investments_A_Broad_Mission_Model_Approach . Acesso em: 06/06/2015.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª. Edição revisada e atualizada. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – USFC, 2005. Disponível em:

https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf. Acesso em: 15/11/2014.

TEIXEIRA, J. **Matemática para empreendedores**. São Paulo: DVS Editora, 2004.

TRIGEORGIS, L. **Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation**. London: The MIT Press, 1996. Disponível em; <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Z8o20TmBiLcC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Real+Options:+Managerial+Flexibility+and+Strategy+in+Resource+Allocation&ots=1WR-fbpFtj&sig=IADlOjtAvx2HoTXgpWtz8qtX8Y#v=onepage&q=Real%20Options%3A%20Managerial%20Flexibility%20and%20Strategy%20in%20Resource%20Allocation&f=false>. Acesso em: 05/08/2015.

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DOS NÍVEIS DA ESCALA TRL

Os níveis da escala TRL são detalhados abaixo, de acordo com as definições propostas por MANKINS (2009):

- TRL 1: No primeiro nível da escala TRL, os princípios básicos da tecnologia em questão são observados e reportados, podendo então ser transferidos para pesquisas e desenvolvimentos mais aplicados. Um exemplo seria o estudo das propriedades básicas de um material, tais como sua resistência à tração em função da temperatura. Os custos para se atingir esse nível de prontidão tecnológica podem variar enormemente, dependendo da disciplina sendo pesquisada.
- TRL 2: Formula-se um conceito e / ou aplicação prática dos princípios físicos básicos da tecnologia em questão. Nessa fase, as aplicações propostas são ainda muito especulativas, não havendo provas experimentais específicas ou análises detalhadas para suportá-las. Como exemplo, por volta dos anos 1990, após a descoberta dos nanotubos de carbono e *Buckminster Fullerenes*, um conjunto de novas aplicações para esses materiais foram concebidas, desde sensores mais precisos até “elevadores espaciais”. Os custos associados ao atingimento da TRL 2 são relativamente baixos, em comparação com os custos de aplicação final dessa tecnologia.
- TRL 3: Provas de conceito analíticas e experimentais de funções e / ou características críticas. Nessa fase, os estudos e experimentos precisam validar os conceitos e aplicações formulados na etapa anterior (TRL 2). Por exemplo, a comprovação de um conceito de propulsão baseada em matéria com alta densidade de energia (do termo em inglês *High Energy Density Matter*) poderia depender da obtenção em laboratório de uma combinação adequada de fase, temperatura e pressão de hidrogênio super-resfriado que permitisse geração de empuxo mínimo esperado.

Os custos para o atingimento da TRL 3 costumam variar de baixos a moderados, em comparação com os custos totais de uma eventual aplicação final envolvendo as características ou funções críticas sendo provadas.

- TRL 4: Validação em laboratório de componente ou artefato de ensaio, visando confirmar se a integração dos elementos tecnológicos básicos investigados nas etapas anteriores, na forma de um componente ou placa de ensaio, pode ser feita de forma bem-sucedida. Embora as validações nesse nível de maturação da prontidão tecnológica precisem suportar os conceitos formulados anteriormente e ser consistentes com os requisitos de aplicações potenciais, elas possuem uma baixa fidelidade à esses aspectos quando comparada ao eventual sistema ou componentes definitivo. Como exemplo, uma demonstração de uma nova abordagem de controle em aviônicos pode consistir em testes computacionais e com equipamentos de bancada (e.x.: giroscópios de fibra ótica), utilizando-se dados simulados do veículo ao qual o futuro sistema poderá ser embarcado. Os custos para atingimento da TRL 4 são tipicamente moderados.
- TRL 5: Validação em ambiente relevante de componente ou artefato de ensaio. A fidelidade do componente ou artefato de ensaio aumentou significativamente com relação àquela exigida na etapa anterior, sendo necessário demonstrar que os elementos tecnológicos básicos sendo estudados foram devidamente integrados em uma aplicação que possa ser testada em um ambiente simulado ou real, com características próximas ao ambiente operacional final. Por exemplo, um novo tipo de material fotovoltaico com potencial de ser mais eficiente poderia ser utilizado na fabricação de painéis solares completos, os quais seriam testados em câmaras de termo vácuo com capacidade de simulação de radiação solar. Os custos associados ao atingimento desse nível de TRL

ficam entre moderados e altos, sendo normalmente duas ou mais vezes superior aos investimentos exigidos para o atingimento da TRL4 dessa mesma tecnologia.

- TRL 6: Demonstração de protótipo ou modelo do sistema ou subsistema em um ambiente relevante, sendo que, devido a necessidade de alta fidelidade da demonstração, caso não seja possível simular o ambiente operacional à contento, deve-se avaliar o desempenho do protótipo no ambiente real para o qual foi projetado. Entretanto, a escala do protótipo e sua demonstração operacional não precisam ser as mesmas do eventual produto final. Por exemplo, um novo tipo de radiador de pouca massa e que possa atingir altas temperaturas que utiliza gotículas de líquido e materiais compostos poderia ser demonstrado, para validar o atingimento de TRL 6, em uma plataforma em orbita, uma vez que o ambiente relevante para essa tecnologia é o de micro gravidade com vácuo e com variações termais extremas (e tal combinação só pode ser obtida no espaço). Os custos para o atingimento da TRL 6 são normalmente altos.
- For TRL 7: Demonstração do protótipo do sistema no ambiente operacional esperado, sendo que sua escala deve ser próxima ao do produto final. A confirmação do atingimento desse nível de maturidade tem normalmente o propósito de assegurar aos responsáveis pelo desenvolvimento e engenharia de sistema que a solução é confiável e poderá ser utilizada nos programas da organização. Por exemplo, os famosos “veículos X” (tais como os protótipos do programa de caças *Joint Strike Fighter*) são demonstradores de atingimento de TRL 7. Os custos para o atingimento dessa fase são tipicamente muito altos, podendo ser uma fração significativa dos custos de desenvolvimento da aplicação final.

- TRL 8: Sistema ou produto final completo e qualificado por teste e demonstração. Na maioria dos casos, essa etapa marca o final do desenvolvimento dos elementos tecnológicos. No caso da NASA, por exemplo, TRL 8 pode ser demonstrado pelo projeto, desenvolvimento, teste e avaliação de uma primeira unidade de um novo tipo de veículo lançador. É importante notar que TRL 8 também pode envolver casos nos quais uma nova tecnologia é aplicada a um sistema existente, como por exemplo, o desenvolvimento, carregamento e teste bem sucedido de um novo algoritmo de controle no computador embarcado no telescópio espacial Hubble, estando esse já em órbita. Os custos de demonstração de atingimento de TRL 8 são normalmente muito altos, podendo em muitos casos ser superior à soma dos custos de todas as TRLs anteriores.
- TRL 9: “Batismo” operacional bem sucedido do sistema real. Esse nível de maturidade só será atingido, por definição, quando as tecnologias em questão forem aplicadas em sistemas que sejam bem sucedidos em uma operação real. A diferença fundamental entre TRL 8 e 9 é relacionado à operação do sistema. Por exemplo, construir uma nova aeronave é TRL 8, mas voá-la em sua primeira missão real é TRL 9. Embora os custos de atingimento da TRL 9 sejam novamente altos, são normalmente inferiores aos custos para maturação até TRL 8.

APÊNDICE B – DETALHAMENTO DOS NÍVEIS DA ESCALA AD2

Baseado em Bilbro (2007), os nove níveis da escala AD2 de avaliação do grau de dificuldade para o avançamento da prontidão de uma dada tecnológica podem ser definidos como indicado abaixo:

- Grau de Dificuldade 1: 0% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação, pois as tecnologias e / ou processos para sua obtenção já são dominados pela organização, eventualmente com necessidade de se desenvolver apenas pequenas modificações.
- Grau de Dificuldade 2: 10% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação, pois as tecnologias e / ou processos para sua obtenção já são dominados pela organização, mas neste caso, há necessidade de se desenvolver grandes modificações.
- Grau de Dificuldade 3: 20% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação. Nesse caso, há necessidade de se dominar tecnologias e / ou processos muito similares àqueles empregados atualmente pela organização.
- Grau de Dificuldade 4: 30% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação. Há necessidade de se dominar tecnologias e / ou processos um pouco menos similares àqueles empregados atualmente pela organização.
- Grau de Dificuldade 5: 40% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação. Nesse caso, há necessidade de se dominar tecnologias e / ou processos novos à organização para alguns casos não críticos da aplicação sendo desenvolvida. Assim, recomenda-se empregar pelo menos duas abordagens diferentes de desenvolvimento (por exemplo, aposta em dois processos de manufatura distintos) para se garantir um alto grau de sucesso.

- Grau de Dificuldade 6: 50% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação. É fundamental dominar tecnologias e / ou processos novos à organização para alguns casos críticos da aplicação sendo desenvolvida. Novamente recomenda-se empregar pelo menos duas abordagens diferentes de desenvolvimento.
- Grau de Dificuldade 7: 60% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação. É necessário dominar tecnologias e / ou processos novos à organização para muitos casos críticos da aplicação sendo desenvolvida. Recomenda-se empregar múltiplas abordagens distintas de desenvolvimento.
- Grau de Dificuldade 8: 80% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação. A organização precisa dominar novas tecnologias e / ou processos para todos os casos críticos da aplicação sendo desenvolvida, mas de alguma forma, há ainda relativa proximidade entre essas novas tecnologias e processos e as atualmente empregadas. Novamente recomenda-se empregar pelo menos duas abordagens diferentes de desenvolvimento.
- Grau de Dificuldade 9: >90% de risco de desenvolvimento de uma nova aplicação. É necessário dominar tecnologias e / ou processos muito distantes da base de conhecimento atual da organização. Pesquisa básica é necessária para esclarecer quais abordagens de desenvolvimento podem ser adotadas.

APÊNDICE C – PROJETOS DE CAPACITAÇÃO EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO DO INPE DE 2008 A 2015

Algumas das referências utilizadas para a criação de um cenário fictício de gestão de um portfólio de projetos de P&D foi obtida através do portal de acesso à informação do INPE (<http://www.inpe.br/acessoainformacao/>), buscando-se valores orçados para o desenvolvimento de projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito, como indicado na Tabela C.1.

O detalhamento desses dados disponíveis através desse portal da transparência variava grandemente para cada ano, o que dificultou a realização de um levantamento mais preciso dos valores aplicados a cada um dos 14 projetos listados na Tabela C.1. Assim, outra fonte de informações utilizada foi o relatório do PNAE: 2012-2021 (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2012), que indicou que o total disponível para o desenvolvimento de tecnologias críticas poderia ser maior que o indicado no portal de acesso à informação (Tabela C.2).

Tabela C.1 – Principais projetos do Programa de Capacitação em Tecnologias Críticas e de Acesso Restrito (de 2008 a 2015).

| Orçamento Anual | ANO | | | | | | | |
|--|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| | Não Informado | R\$ 1.600.000,00 | R\$ 1.800.000,00 | R\$ 2.000.000,00 | R\$ 4.648.377,00 | R\$ 5.161.000,00 | R\$ 4.963.853,00 | Não Informado |
| Principais Projetos | | | | | | | | |
| Desenvolver o Attitude Control and Data Handling (ACDH) para o satélite Lattes1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | | |
| Qualificar tecnol. implantação iônica para tratamento superficial (metal) para uso espacial | 1 | 2 | 2 | | | | | |
| Qualificar tecnol. implantação iônica para tratamento superficial (polímero) para uso espacial | | | | 2 | 2 | | | |
| Montar até 2011 um sistema de implantação iônica dedicado para aplicação espacial. | | | 1 | 1 | | | | |
| Qualificar tecnologia de lubrificação sólida para tratamento superficial para uso espacial | 1 | | | | | | | |
| Desenvolver o protótipo de detector infravermelho (IR) | 1 | | | | | | | |
| Desenvolver o sistema de propulsão para satélites baseados na PMM | 1 | | | | | | | |
| Implantar processos e metodologias para qualificar componentes eletrônicos para uso espacial | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | | |
| Teste preliminar dos catalisadores | 1 | | | | | | | |
| Desenvolver e qualificar um propulsor iônico para voar como experimento, até 2012 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| Desenvolver sistema de compactação de dados para Câmera RALCAM3, até 2010 | | 1 | 1 | 2 | | | | |
| Qualificar processo de deposição de diamante DLC para aplicação espacial, até 2012 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| Desenvolver até 2013 o computador e o software de Data Handling (DH) do satélite Lattes. | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| Realizar até 2013 atividades do programa de desenvolvimento de CI nacional. | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

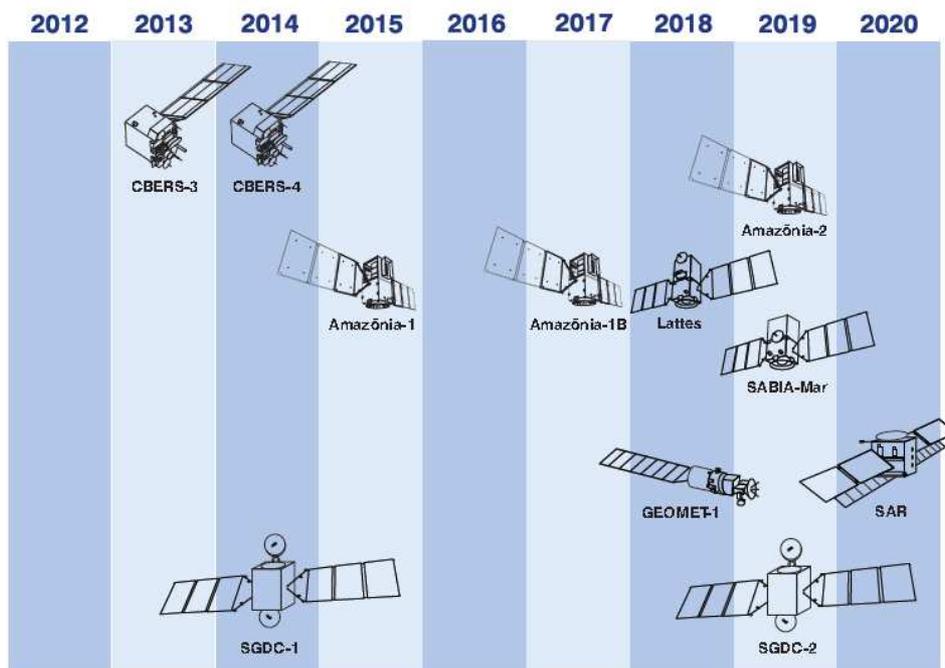
Tabela C.2 – Programação de Investimentos em Tecnologias Críticas e Desenvolvimento de Competências (de 2012 a 2021).

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | TOTAL |
|---|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Tecnologias Críticas | R\$ 22.500.000 | R\$ 47.500.000 | R\$ 52.500.000 | R\$ 57.500.000 | R\$ 62.500.000 | R\$ 67.500.000 | R\$ 72.500.000 | R\$ 77.500.000 | R\$ 82.500.000 | R\$ 87.500.000 | R\$ 630.000.000 |
| Satélites de Pequeno Porte | R\$ 5.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 95.000.000 |
| Missões Científicas e Tecnológicas | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 9.600.000 | R\$ 50.400.000 | R\$ 53.600.000 | R\$ 54.500.000 | R\$ 44.700.000 | R\$ 28.500.000 | R\$ 5.900.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 248.800.000 |
| Pesquisa em Ciência e Clima Espacial | R\$ 5.200.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 10.000.000 | R\$ 95.200.000 |
| Desenvolvimento de Competências | R\$ 3.000.000 | R\$ 3.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 5.000.000 | R\$ 46.000.000 |
| Total | R\$ 36.000.000 | R\$ 70.800.000 | R\$ 87.100.000 | R\$ 132.900.000 | R\$ 141.100.000 | R\$ 147.000.000 | R\$ 142.200.000 | R\$ 131.000.000 | R\$ 113.400.000 | R\$ 113.500.000 | R\$ 1.115.000.000 |

Fonte: adaptado da AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2012.

Também do relatório PNAE 2012-2021 extraímos uma referência para o número de missões (satélites) previstos para um período de 10 anos, como indicado na Figura C.1 – Programação das Missões Espaciais entre os anos 2012 e 2020. Figura C.1.

Figura C.1 – Programação das Missões Espaciais entre os anos 2012 e 2020.



Fonte: AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2012.

APÊNDICE D – CRITÉRIOS PARA QUANTIFICAÇÃO DO VALOR DE PROJETOS DE CAPACITAÇÃO EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO DO INPE

Podem-se utilizar diferentes critérios quantitativos e qualitativos para se avaliar o investimento feito por organizações como o INPE em projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito. Idealmente, tais critérios precisam abranger aspectos econômicos, sociais, ambientais e culturais relacionados com cada projeto sendo avaliado (PIRIC e REEVE, 1997).

Como buscamos nesse trabalho desenvolver uma metodologia quantitativa para suportar tomadores de decisão a gerenciarem suas carteiras de projetos de P&D, haverá sempre o desafio de se utilizar critérios quantitativos, que possam ser calculados segundo procedimentos claros e que diminuiriam as subjetividades entre diferentes avaliadores dos projetos em questão. Infelizmente, por causa dessa expectativa de se quantificar os resultados de projetos de P&D, há uma tendência de nos concentrarmos unicamente nos critérios econômicos (POLCUCH, 2001).

E, para complicar um pouco mais esse quadro, quando no contexto de uma organização como o INPE, mesmo a quantificação econômica de seus projetos apresenta desafios consideráveis, uma vez que não há orientação ao lucro e nem existência de um mercado consumidor para seus produtos nos moldes comumente encontrados em empresas de manufatura, tecnologia ou mesmo prestação de serviços (por exemplo, não há necessariamente expectativa de se vender satélites, sistemas ou componentes para outras organizações).

Embora reconhecendo as dificuldades intrínsecas para se atribuir valores aos possíveis critérios que podemos adotar para avaliar projetos de P&D, entendemos que os responsáveis pelos investimentos em uma dada organização já possuem seus próprios métodos para suportar suas decisões, quer sejam baseados em métodos quantitativos, qualitativos ou mistos.

Partindo-se então da premissa que o processo proposto nesse trabalho para avaliação de carteiras de projetos de capacitação em tecnologias críticas e de acesso restrito deveria ser capaz de se adequar a quaisquer métodos de avaliação multicritério sendo utilizada pelos tomadores de decisão do INPE, adotamos o entendimento de Downem (2005) de que poderíamos combinar quaisquer conjunto de critérios que expressassem ou descrevessem os julgamentos preferenciais desses indivíduos em uma função utilidade correspondente. Não haveria então necessidade de se propor ou encontrar a função utilidade mais adequada a ser utilizada pelo INPE, e sim, propor um processo simples de obtenção de funções utilidades dessa natureza e demonstrar sua aplicação.

Desta forma, definimos um conjunto de critérios quantitativos relacionados aos aspectos econômicos e sociais dos projetos sendo avaliados, como também critérios complementares mais diretamente ligados ao desempenho dos projetos quanto à capacitação da organização em tecnologias críticas e de acesso restrito.

Os critérios econômicos aqui adotados são:

- V_m - Valor de mercado da tecnologia crítica (ou sistemas / componentes dela derivados ou dependentes) para 1 missão;
- $\sum i$ - Somatório dos investimentos previstos em cada etapa de elevação da TRL da tecnologia crítica;
- $\sum r$ - Total esperado de receitas com licenciamento e transferência da tecnologia após atingir o TRL mínimo aceitável para que seja utilizada e venda de serviços baseados nela;

Propusemos um critério social abrangente, que pudesse ser expresso em termos financeiros, como indicado abaixo:

- $\sum b$ - Estimativa dos benefícios financeiros à sociedade, relacionados às funcionalidades e missões proporcionadas pela capacitação na tecnologia crítica, tais como ganhos da agroindústria com melhor planejamento de plantio e colheita, prevenção ou redução dos impactos de catástrofes naturais (danos humanos e materiais) etc. Além disso, é importante ressaltar que, caso haja alteração no cenário tecnológico ou de mercado, tornando acessíveis soluções equivalentes ou mais competitivas àquelas sendo desenvolvidas, esse somatório pode apresentar valores negativos, indicando que, pode haver mais vantagem financeira para a sociedade se os objetivos relacionados à obtenção da capacitação tecnológico em questão, sejam alcançados por outros meios;

Finalmente, os critérios relacionados ao aumento da capacitação tecnológica e seu uso pela organização, seriam:

- n - Número de missões que poderão (ou precisarão) utilizar a tecnologia crítica;
- f_{trl} – fator obtido dividindo-se a TRL atual da tecnologia crítica na organização por 9, que corresponde ao valor limite superior da escala TRL. Esse fator exprimiria o percentual de atingimento da capacitação plena da organização em uma dada tecnologia crítica;
- t_d – Limite de tempo disponível para avançar a TRL da tecnologia crítica até o nível mínimo aceitável para que seja utilizada por todas as missões que a podem (precisam) utilizar;

Reforçando nosso entendimento de que os critérios citados acima não são apresentados como os únicos ou melhores a serem adotados pelo INPE (ou organização similar), é importante também destacar que também haveria diferentes formas ou abordagens para se calcular cada um deles. Uma investigação de quais entre eles seriam os mais indicados para as

necessidades do INPE estão além do escopo desse trabalho, pois desejamos apenas mostrar que, uma vez obtidos os valores para esses ou quaisquer grupos de critérios usados para se avaliar projetos de P&D, poderemos utilizá-los para definir uma função utilidade correspondente.

APÊNDICE E – ÁRVORES DE DECISÃO DO PORTFÓLIO FICTÍCIO DE PROJETOS DE CAPACITAÇÃO DO INPE EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO

E.1 Tecnologia Crítica 1

Figura E.1 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC1.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 7.004.760 | R\$ 9.831.871 | R\$ 13.800.000 |
| 1 | | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 7.004.760 | R\$ 9.831.871 |
| 2 | | | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 7.004.760 |
| 3 | | | | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 4.990.573 | R\$ 4.990.573 | R\$ 4.990.573 | R\$ 4.990.573 |
| 4 | | | | | R\$ 916.085 | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 3.555.556 | R\$ 3.555.556 | R\$ 3.555.556 |
| 5 | | | | | | R\$ 652.669 | R\$ 916.085 | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 | R\$ 2.533.171 | R\$ 2.533.171 |
| 6 | | | | | | | R\$ 464.997 | R\$ 652.669 | R\$ 916.085 | R\$ 1.285.816 | R\$ 1.804.769 |
| 7 | | | | | | | | R\$ 331.289 | R\$ 464.997 | R\$ 652.669 | R\$ 916.085 |
| 8 | | | | | | | | | R\$ 236.028 | R\$ 331.289 | R\$ 464.997 |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ 168.159 | R\$ 236.028 |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ 119.806 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.596.387 | R\$ 3.868.010 | R\$ 5.703.479 | R\$ 8.331.871 | | | | | | | |
| 1 | | R\$ 1.595.698 | R\$ 2.444.177 | R\$ 3.692.655 | R\$ 5.504.760 | | | | | | |
| 2 | | | R\$ 904.638 | R\$ 1.443.770 | R\$ 2.265.398 | R\$ 3.490.573 | | | | | |
| 3 | | | | R\$ 446.859 | R\$ 757.248 | R\$ 1.260.911 | R\$ 2.055.556 | | | | |
| 4 | | | | | R\$ 170.669 | R\$ 314.571 | R\$ 573.793 | R\$ 1.033.171 | | | |
| 5 | | | | | | R\$ 36.385 | R\$ 73.894 | R\$ 150.069 | R\$ 304.769 | | |
| 6 | | | | | | | | | | R\$ - | |
| 7 | | | | | | | | | | | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---|---|---|---|---|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.584.753 | R\$ 2.608.692 | R\$ 4.203.479 | | | | | | | | |
| 1 | | R\$ 692.533 | R\$ 1.243.053 | R\$ 2.192.655 | | | | | | | |
| 2 | | | R\$ 185.577 | R\$ 376.882 | R\$ 765.398 | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.014.628 | R\$ 1.868.010 | | | | | | | | | |
| 1 | | R\$ 218.713 | R\$ 444.177 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 214.628 | | | | | | | | | | |
| 1 | | R\$ - | | | | | | | | | |
| 2 | | | R\$ - | | | | | | | | |
| 3 | | | | R\$ - | | | | | | | |
| 4 | | | | | R\$ - | | | | | | |
| 5 | | | | | | R\$ - | | | | | |
| 6 | | | | | | | R\$ - | | | | |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | | | |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | | |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.2 – Planilha com Análise das OR do Projeto TC1.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 214.628 | R\$ 1.868.010 | R\$ 4.203.479 | R\$ 8.331.871 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 218.713 | R\$ 1.243.053 | R\$ 3.692.655 | R\$ 5.504.760 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 185.577 | R\$ 1.443.770 | R\$ 2.265.398 | R\$ 3.490.573 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 446.859 | R\$ 757.248 | R\$ 1.260.911 | R\$ 2.055.556 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 170.669 | R\$ 314.571 | R\$ 573.793 | R\$ 1.033.171 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 36.385 | R\$ 73.894 | R\$ 150.069 | R\$ 304.769 | R\$ - | R\$ - |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.2 Tecnologia Crítica 2

Figura E.3 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC2.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 6.666.667 | R\$ 8.309.610 | R\$ 10.357.442 | R\$ 12.909.944 | R\$ 16.091.490 | R\$ 20.057.100 | R\$ 25.000.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 5.348.560 | R\$ 6.666.667 | R\$ 8.309.610 | R\$ 10.357.442 | R\$ 12.909.944 | R\$ 16.091.490 | R\$ 20.057.100 | R\$ 20.057.100 | R\$ 20.057.100 | R\$ 20.057.100 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 4.291.064 | R\$ 5.348.560 | R\$ 6.666.667 | R\$ 8.309.610 | R\$ 10.357.442 | R\$ 12.909.944 | R\$ 16.091.490 | R\$ 16.091.490 | R\$ 16.091.490 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 3.442.652 | R\$ 4.291.064 | R\$ 5.348.560 | R\$ 6.666.667 | R\$ 8.309.610 | R\$ 10.357.442 | R\$ 12.909.944 | R\$ 12.909.944 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 2.761.984 | R\$ 3.442.652 | R\$ 4.291.064 | R\$ 5.348.560 | R\$ 6.666.667 | R\$ 8.309.610 | R\$ 10.357.442 |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 2.215.896 | R\$ 2.761.984 | R\$ 3.442.652 | R\$ 4.291.064 | R\$ 5.348.560 | R\$ 6.666.667 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.777.778 | R\$ 2.215.896 | R\$ 2.761.984 | R\$ 3.442.652 | R\$ 4.291.064 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.426.283 | R\$ 1.777.778 | R\$ 2.215.896 | R\$ 2.761.984 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.144.284 | R\$ 1.426.283 | R\$ 1.777.778 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 918.040 | R\$ 1.144.284 |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 736.529 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 3o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 5.594.682 | R\$ 7.064.038 | R\$ 8.958.798 | R\$ 11.336.077 | R\$ 14.317.959 | R\$ 18.057.100 | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 4.222.114 | R\$ 5.410.609 | R\$ 6.904.632 | R\$ 8.780.728 | R\$ 11.135.669 | R\$ 14.091.490 | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 3.140.413 | R\$ 4.072.817 | R\$ 5.248.299 | R\$ 6.725.935 | R\$ 8.581.019 | R\$ 10.909.944 | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 2.255.079 | R\$ 2.980.945 | R\$ 3.903.218 | R\$ 5.066.513 | R\$ 6.526.998 | R\$ 8.357.442 | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.525.358 | R\$ 2.078.469 | R\$ 2.795.477 | R\$ 3.711.239 | R\$ 4.866.219 | R\$ 6.309.610 | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 928.103 | R\$ 1.325.826 | R\$ 1.864.270 | R\$ 2.576.386 | R\$ 3.496.708 | R\$ 4.666.667 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 462.617 | R\$ 710.445 | R\$ 1.074.061 | R\$ 1.590.800 | R\$ 2.291.064 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 147.865 | R\$ 255.403 | R\$ 441.150 | R\$ 761.984 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 4.640.191 | R\$ 6.024.268 | R\$ 7.781.596 | R\$ 10.006.570 | R\$ 12.817.959 | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 3.321.394 | R\$ 4.378.164 | R\$ 5.730.359 | R\$ 7.451.868 | R\$ 9.635.669 | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 2.267.185 | R\$ 3.056.624 | R\$ 4.081.275 | R\$ 5.398.939 | R\$ 7.081.019 | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.433.974 | R\$ 1.999.484 | R\$ 2.753.971 | R\$ 3.744.893 | R\$ 5.026.998 | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 796.523 | R\$ 1.167.440 | R\$ 1.688.498 | R\$ 2.405.110 | R\$ 3.366.219 | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 347.672 | R\$ 547.259 | R\$ 853.262 | R\$ 1.314.902 | R\$ 1.996.708 | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 88.874 | R\$ 153.508 | R\$ 265.150 | R\$ 457.986 | R\$ 791.064 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.619.682 | R\$ 4.855.381 | R\$ 6.454.141 | R\$ 8.506.570 | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 2.330.599 | R\$ 3.224.315 | R\$ 4.407.416 | R\$ 5.951.868 | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.336.935 | R\$ 1.938.591 | R\$ 2.771.333 | R\$ 3.898.939 | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 618.457 | R\$ 962.976 | R\$ 1.481.498 | R\$ 2.244.893 | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 175.639 | R\$ 303.376 | R\$ 524.012 | R\$ 905.110 | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 4.380.684 | R\$ 5.735.248 | R\$ 7.458.798 | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 3.055.731 | R\$ 4.083.867 | R\$ 5.404.632 | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.992.585 | R\$ 2.751.943 | R\$ 3.748.299 | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.150.943 | R\$ 1.676.968 | R\$ 2.403.218 | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 518.950 | R\$ 823.190 | R\$ 1.295.477 | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 122.097 | R\$ 210.894 | R\$ 364.270 | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.318.070 | R\$ 4.524.268 | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 2.013.822 | R\$ 2.878.164 | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.001.543 | R\$ 1.556.624 | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 289.175 | R\$ 499.484 | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.380.684 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.055.731 | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.4 – Planilha com Análise das OR do Projeto TC2.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.380.684 | R\$ 4.524.268 | R\$ 7.458.758 | R\$ 8.506.570 | R\$ 12.817.959 | R\$ 18.057.100 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 2.013.822 | R\$ 4.083.867 | R\$ 5.404.632 | R\$ 7.451.868 | R\$ 11.135.669 | R\$ 14.091.490 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.992.585 | R\$ 2.751.943 | R\$ 4.081.275 | R\$ 6.725.935 | R\$ 8.581.019 | R\$ 10.909.944 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.150.943 | R\$ 1.999.484 | R\$ 3.903.218 | R\$ 5.066.513 | R\$ 6.526.998 | R\$ 8.357.442 | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 796.523 | R\$ 2.078.469 | R\$ 2.795.477 | R\$ 3.711.239 | R\$ 4.866.219 | R\$ 6.309.610 | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ 928.103 | R\$ 1.325.826 | R\$ 1.864.270 | R\$ 2.576.386 | R\$ 3.496.708 | R\$ 4.666.667 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ 462.617 | R\$ 710.445 | R\$ 1.074.061 | R\$ 1.590.800 | R\$ 2.291.064 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 147.865 | R\$ 255.403 | R\$ 441.150 | R\$ 761.984 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.3 Tecnologia Crítica 3

Figura E.5 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC3.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.666.667 | R\$ 3.487.387 | R\$ 4.560.702 | R\$ 5.964.350 | R\$ 7.800.000 |
| 1 | | R\$ 2.039.094 | R\$ 2.666.667 | R\$ 3.487.387 | R\$ 4.560.702 | R\$ 5.964.350 |
| 2 | | R\$ - | R\$ 1.559.214 | R\$ 2.039.094 | R\$ 2.666.667 | R\$ 3.487.387 | R\$ 4.560.702 |
| 3 | | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.192.269 | R\$ 1.559.214 | R\$ 2.039.094 | R\$ 2.666.667 | R\$ 3.487.387 | R\$ 3.487.387 | R\$ 3.487.387 | R\$ 3.487.387 |
| 4 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 911.681 | R\$ 1.192.269 | R\$ 1.559.214 | R\$ 2.039.094 | R\$ 2.666.667 | R\$ 2.666.667 | R\$ 2.666.667 |
| 5 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 697.126 | R\$ 911.681 | R\$ 1.192.269 | R\$ 1.559.214 | R\$ 2.039.094 | R\$ 2.039.094 |
| 6 | | R\$ - | R\$ 533.065 | R\$ 697.126 | R\$ 911.681 | R\$ 1.192.269 | R\$ 1.559.214 |
| 7 | | R\$ - | R\$ 407.613 | R\$ 533.065 | R\$ 697.126 | R\$ 911.681 |
| 8 | | R\$ - | R\$ 311.686 | R\$ 407.613 | R\$ 533.065 |
| 9 | | R\$ - | R\$ 238.334 | R\$ 311.686 |
| 10 | | R\$ - | R\$ 182.244 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.326.891 | R\$ 3.101.017 | R\$ 4.121.220 | R\$ 5.464.350 | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.699.012 | R\$ 2.280.125 | R\$ 3.047.856 | R\$ 4.060.702 | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.218.581 | R\$ 1.652.178 | R\$ 2.227.008 | R\$ 2.987.387 | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 850.734 | R\$ 1.171.512 | R\$ 1.599.109 | R\$ 2.166.667 | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 568.913 | R\$ 802.993 | R\$ 1.118.387 | R\$ 1.539.094 | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 353.362 | R\$ 519.518 | R\$ 749.273 | R\$ 1.059.214 | | |
| 6 | R\$ - | R\$ 190.732 | R\$ 300.532 | R\$ 463.100 | R\$ 692.269 | |
| 7 | R\$ - | R\$ 75.101 | R\$ 132.791 | R\$ 234.163 | R\$ 411.681 |
| 8 | R\$ - | R\$ 9.556 | R\$ 17.776 | R\$ 33.065 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.942.864 | R\$ 2.662.043 | R\$ 3.621.220 | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.317.801 | R\$ 1.841.901 | R\$ 2.547.856 | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 843.585 | R\$ 1.215.886 | R\$ 1.727.008 | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 489.067 | R\$ 740.195 | R\$ 1.099.109 | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 234.682 | R\$ 384.490 | R\$ 618.387 | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 72.046 | R\$ 134.012 | R\$ 249.273 | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.888.293 | R\$ 2.601.017 | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.261.757 | R\$ 1.780.125 | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 784.786 | R\$ 1.152.178 | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 425.847 | R\$ 671.512 | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 166.967 | R\$ 302.993 | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 10.493 | R\$ 19.518 | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Valor - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.588.293 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 961.757 | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 484.786 | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 125.847 | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.6 – Planilha com Análise das OR do Projeto TC3.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.588.293 | R\$ 2.601.017 | R\$ 3.621.220 | R\$ 5.464.350 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.261.757 | R\$ 1.841.901 | R\$ 3.047.856 | R\$ 4.060.702 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 843.585 | R\$ 1.652.178 | R\$ 2.227.008 | R\$ 2.987.387 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 850.734 | R\$ 1.171.512 | R\$ 1.599.109 | R\$ 2.166.667 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 568.913 | R\$ 802.993 | R\$ 1.118.387 | R\$ 1.539.094 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ 353.362 | R\$ 519.518 | R\$ 749.273 | R\$ 1.059.214 | R\$ - | R\$ - |
| 6 | R\$ - | R\$ 190.732 | R\$ 300.532 | R\$ 463.100 | R\$ 692.269 | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ 75.101 | R\$ 132.791 | R\$ 234.163 | R\$ 411.681 |
| 8 | R\$ - | R\$ 9.556 | R\$ 17.776 | R\$ 33.065 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.4 Tecnologia Crítica 4

Figura E.7 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC4.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.760.000 | R\$ 2.350.663 | R\$ 3.139.556 | R\$ 4.193.204 | R\$ 5.600.461 | R\$ 7.480.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.317.756 | R\$ 1.760.000 | R\$ 2.350.663 | R\$ 3.139.556 | R\$ 4.193.204 | R\$ 5.600.461 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 986.636 | R\$ 1.317.756 | R\$ 1.760.000 | R\$ 2.350.663 | R\$ 3.139.556 | R\$ 4.193.204 | R\$ 4.193.204 | R\$ 4.193.204 | R\$ 4.193.204 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 738.719 | R\$ 986.636 | R\$ 1.317.756 | R\$ 1.760.000 | R\$ 2.350.663 | R\$ 3.139.556 | R\$ 3.139.556 | R\$ 3.139.556 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 553.097 | R\$ 738.719 | R\$ 986.636 | R\$ 1.317.756 | R\$ 1.760.000 | R\$ 2.350.663 | R\$ 2.350.663 |
| 5 | R\$ - | R\$ 414.118 | R\$ 553.097 | R\$ 738.719 | R\$ 986.636 | R\$ 1.317.756 | R\$ 1.760.000 |
| 6 | R\$ - | R\$ 310.060 | R\$ 414.118 | R\$ 553.097 | R\$ 738.719 | R\$ 986.636 |
| 7 | R\$ - | R\$ 232.150 | R\$ 310.060 | R\$ 414.118 | R\$ 553.097 |
| 8 | R\$ - | R\$ 173.816 | R\$ 232.150 | R\$ 310.060 |
| 9 | R\$ - | R\$ 130.141 | R\$ 173.816 |
| 10 | R\$ - | R\$ 97.439 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.464.795 | R\$ 2.013.935 | R\$ 2.755.586 | R\$ 3.755.163 | R\$ 5.100.461 | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.022.143 | R\$ 1.422.647 | R\$ 1.966.243 | R\$ 2.701.356 | R\$ 3.693.204 | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 690.822 | R\$ 979.439 | R\$ 1.374.669 | R\$ 1.912.068 | R\$ 2.639.556 | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 443.653 | R\$ 647.109 | R\$ 930.679 | R\$ 1.320.425 | R\$ 1.850.663 | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 261.456 | R\$ 398.452 | R\$ 596.499 | R\$ 875.752 | R\$ 1.260.000 | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 131.928 | R\$ 214.963 | R\$ 344.142 | R\$ 538.609 | R\$ 817.756 | |
| 6 | R\$ - | R\$ 48.542 | R\$ 87.027 | R\$ 155.317 | R\$ 275.756 | R\$ 486.636 |
| 7 | R\$ - | R\$ 7.581 | R\$ 14.505 | R\$ 27.752 | R\$ 53.097 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|------------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.141.047 | R\$ 1.635.451 | R\$ 2.318.868 | R\$ 3.255.163 | R\$ 4.400.461 | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 709.867 | R\$ 1.050.116 | R\$ 1.531.324 | R\$ 2.201.356 | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 399.280 | R\$ 619.337 | R\$ 944.210 | R\$ 1.412.068 | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 187.417 | R\$ 312.047 | R\$ 511.280 | R\$ 820.425 | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 60.316 | R\$ 111.150 | R\$ 204.527 | R\$ 375.752 | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 5.512 | R\$ 10.547 | R\$ 20.179 | R\$ 38.609 | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.016.794 | R\$ 1.491.776 | R\$ 2.155.586 | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 587.964 | R\$ 905.461 | R\$ 1.366.243 | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 284.472 | R\$ 474.583 | R\$ 774.669 | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 90.331 | R\$ 172.831 | R\$ 330.679 | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 683.500 | R\$ 1.091.776 | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 279.902 | R\$ 505.461 | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 38.981 | R\$ 74.583 | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL4 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 483.500 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.8 – Planilha com Árvore de Decisão para projeto TC4.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 0 | R\$ 483.500 | R\$ 1.091.776 | R\$ 2.155.586 | R\$ 3.255.163 | R\$ 5.100.461 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 1 | R\$ - | R\$ 279.902 | R\$ 905.461 | R\$ 1.531.324 | R\$ 2.701.356 | R\$ 3.693.204 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 284.472 | R\$ 619.337 | R\$ 1.374.669 | R\$ 1.912.068 | R\$ 2.639.556 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 187.417 | R\$ 647.109 | R\$ 930.679 | R\$ 1.320.425 | R\$ 1.850.663 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 261.456 | R\$ 398.452 | R\$ 596.499 | R\$ 875.752 | R\$ 1.260.000 | R\$ - | R\$ - | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 131.928 | R\$ 214.963 | R\$ 344.142 | R\$ 538.609 | R\$ 817.756 | R\$ - | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 48.542 | R\$ 87.027 | R\$ 155.317 | R\$ 275.756 | R\$ 486.636 | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 7.581 | R\$ 14.505 | R\$ 27.752 | R\$ 53.097 | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.5 Tecnologia Crítica 5

Figura E.9 – Planilha com Árvore de Decisão para projeto TC5.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.333.333 | R\$ 4.138.017 | R\$ 5.136.955 | R\$ 6.377.042 | R\$ 7.916.492 | R\$ 9.827.574 | R\$ 12.200.000 | R\$ 12.200.000 | R\$ 12.200.000 | R\$ 12.200.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 2.685.129 | R\$ 3.333.333 | R\$ 4.138.017 | R\$ 5.136.955 | R\$ 6.377.042 | R\$ 7.916.492 | R\$ 9.827.574 | R\$ 9.827.574 | R\$ 9.827.574 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 2.162.976 | R\$ 2.685.129 | R\$ 3.333.333 | R\$ 4.138.017 | R\$ 5.136.955 | R\$ 6.377.042 | R\$ 7.916.492 | R\$ 7.916.492 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.742.361 | R\$ 2.162.976 | R\$ 2.685.129 | R\$ 3.333.333 | R\$ 4.138.017 | R\$ 5.136.955 | R\$ 6.377.042 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.403.540 | R\$ 1.742.361 | R\$ 2.162.976 | R\$ 2.685.129 | R\$ 3.333.333 | R\$ 4.138.017 |
| 5 | R\$ - | R\$ 1.130.606 | R\$ 1.403.540 | R\$ 1.742.361 | R\$ 2.162.976 | R\$ 2.685.129 |
| 6 | R\$ - | R\$ 910.747 | R\$ 1.130.606 | R\$ 1.403.540 | R\$ 1.742.361 |
| 7 | R\$ - | R\$ 733.642 | R\$ 910.747 | R\$ 1.130.606 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ 590.977 | R\$ 733.642 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 476.055 |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.054.231 | R\$ 3.825.717 | R\$ 4.786.522 | R\$ 5.962.981 | R\$ 7.472.763 | R\$ 9.327.574 | R\$ 11.533.138 | R\$ 14.192.539 | R\$ 17.317.042 | R\$ 21.000.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 2.402.182 | R\$ 3.018.409 | R\$ 3.786.064 | R\$ 4.742.219 | R\$ 5.933.138 | R\$ 7.416.492 | R\$ 9.287.574 | R\$ 11.533.138 | R\$ 14.192.539 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.673.278 | R\$ 2.265.134 | R\$ 2.978.096 | R\$ 3.741.613 | R\$ 4.692.539 | R\$ 5.877.042 | R\$ 7.416.492 | R\$ 9.287.574 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.441.597 | R\$ 1.833.778 | R\$ 2.323.149 | R\$ 2.932.936 | R\$ 3.692.107 | R\$ 4.636.955 | R\$ 5.877.042 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.086.149 | R\$ 1.397.790 | R\$ 1.788.120 | R\$ 2.275.623 | R\$ 2.883.070 | R\$ 3.638.017 |
| 5 | R\$ - | R\$ 790.866 | R\$ 1.036.025 | R\$ 1.345.445 | R\$ 1.734.307 | R\$ 2.222.167 |
| 6 | R\$ - | R\$ 544.842 | R\$ 733.690 | R\$ 974.870 | R\$ 1.279.398 |
| 7 | R\$ - | R\$ 341.423 | R\$ 482.077 | R\$ 667.643 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ 176.006 | R\$ 270.679 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 53.044 |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.743.653 | R\$ 3.476.075 | R\$ 4.392.743 | R\$ 5.539.312 | R\$ 6.972.763 | R\$ 8.827.574 | R\$ 11.033.138 | R\$ 13.692.539 | R\$ 16.817.042 | R\$ 20.500.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 2.090.933 | R\$ 2.668.285 | R\$ 3.392.052 | R\$ 4.298.490 | R\$ 5.433.138 | R\$ 6.916.492 | R\$ 8.787.574 | R\$ 11.033.138 | R\$ 13.692.539 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.560.892 | R\$ 2.014.001 | R\$ 2.583.505 | R\$ 3.297.709 | R\$ 4.192.539 | R\$ 5.277.042 | R\$ 6.636.955 | R\$ 8.287.574 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.127.612 | R\$ 1.480.685 | R\$ 1.927.168 | R\$ 2.488.519 | R\$ 3.192.107 | R\$ 4.036.955 | R\$ 5.027.042 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 770.835 | R\$ 1.041.344 | R\$ 1.388.957 | R\$ 1.829.713 | R\$ 2.383.070 | R\$ 3.038.017 |
| 5 | R\$ - | R\$ 477.376 | R\$ 675.213 | R\$ 939.536 | R\$ 1.284.043 | R\$ 1.722.167 |
| 6 | R\$ - | R\$ 244.094 | R\$ 371.615 | R\$ 556.694 | R\$ 816.435 |
| 7 | R\$ - | R\$ 79.983 | R\$ 137.181 | R\$ 235.283 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 53.044 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 - 2o ano | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.844.638 | R\$ 3.589.515 | R\$ 4.520.333 | R\$ 5.682.981 | R\$ 7.192.763 | R\$ 9.147.574 | R\$ 11.453.138 | R\$ 14.212.539 | R\$ 17.537.042 | R\$ 21.500.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 2.192.557 | R\$ 2.782.171 | R\$ 3.519.863 | R\$ 4.442.219 | R\$ 5.567.138 | R\$ 6.992.490 | R\$ 8.823.574 | R\$ 11.073.138 | R\$ 13.732.539 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.663.618 | R\$ 2.128.814 | R\$ 2.711.858 | R\$ 3.441.613 | R\$ 4.336.539 | R\$ 5.421.042 | R\$ 6.780.955 | R\$ 8.431.574 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.231.978 | R\$ 1.597.276 | R\$ 2.056.806 | R\$ 2.632.936 | R\$ 3.337.042 | R\$ 4.177.042 | R\$ 5.167.042 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 876.959 | R\$ 1.160.938 | R\$ 1.521.470 | R\$ 1.975.623 | R\$ 2.539.070 | R\$ 3.208.017 |
| 5 | R\$ - | R\$ 583.522 | R\$ 798.675 | R\$ 1.077.899 | R\$ 1.434.307 | R\$ 1.888.017 |
| 6 | R\$ - | R\$ 343.726 | R\$ 496.411 | R\$ 704.712 | R\$ 979.398 |
| 7 | R\$ - | R\$ 158.350 | R\$ 249.450 | R\$ 389.865 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ 37.648 | R\$ 64.571 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 11.747 |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 - 1o ano | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.507.856 | R\$ 3.209.965 | R\$ 4.092.743 | R\$ 5.282.981 | R\$ 6.812.763 | R\$ 8.667.574 | R\$ 10.873.138 | R\$ 13.532.539 | R\$ 16.757.042 | R\$ 20.600.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.855.743 | R\$ 2.402.312 | R\$ 3.092.052 | R\$ 3.947.490 | R\$ 5.082.138 | R\$ 6.507.490 | R\$ 8.218.574 | R\$ 10.213.138 | R\$ 12.592.539 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.327.238 | R\$ 1.748.430 | R\$ 2.283.505 | R\$ 2.938.017 | R\$ 3.712.539 | R\$ 4.617.042 | R\$ 5.662.042 | R\$ 6.857.042 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 897.752 | R\$ 1.216.285 | R\$ 1.627.168 | R\$ 2.131.613 | R\$ 2.766.042 | R\$ 3.530.955 | R\$ 4.435.042 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 550.050 | R\$ 780.361 | R\$ 1.088.957 | R\$ 1.483.017 | R\$ 1.977.042 | R\$ 2.572.042 |
| 5 | R\$ - | R\$ 277.247 | R\$ 424.197 | R\$ 599.536 | R\$ 820.955 | R\$ 1.105.042 |
| 6 | R\$ - | R\$ 87.262 | R\$ 149.665 | R\$ 256.694 | R\$ 389.865 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 11.747 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.489.838 | R\$ 3.189.515 | R\$ 4.092.743 | R\$ 5.282.981 | R\$ 6.812.763 | R\$ 8.667.574 | R\$ 10.873.138 | R\$ 13.532.539 | R\$ 16.757.042 | R\$ 20.600.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.837.966 | R\$ 2.382.171 | R\$ 3.092.052 | R\$ 3.947.490 | R\$ 5.082.138 | R\$ 6.507.490 | R\$ 8.218.574 | R\$ 10.213.138 | R\$ 12.592.539 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.309.640 | R\$ 1.728.814 | R\$ 2.283.505 | R\$ 2.938.017 | R\$ 3.712.539 | R\$ 4.617.042 | R\$ 5.662.042 | R\$ 6.857.042 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 879.785 | R\$ 1.197.276 | R\$ 1.627.168 | R\$ 2.131.613 | R\$ 2.766.042 | R\$ 3.530.955 | R\$ 4.435.042 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 529.973 | R\$ 760.938 | R\$ 1.088.957 | R\$ 1.483.017 | R\$ 1.977.042 | R\$ 2.572.042 |
| 5 | R\$ - | R\$ 251.721 | R\$ 398.675 | R\$ 562.017 | R\$ 820.955 | R\$ 1.105.042 |
| 6 | R\$ - | R\$ 56.212 | R\$ 96.411 | R\$ 149.665 | R\$ 256.694 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 11.747 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL4 | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.289.838 | R\$ 3.089.515 | R\$ 4.092.743 | R\$ 5.282.981 | R\$ 6.812.763 | R\$ 8.667.574 | R\$ 10.873.138 | R\$ 13.532.539 | R\$ 16.757.042 | R\$ 20.600.000 |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.437.966 | R\$ 1.982.171 | R\$ 2.672.052 | R\$ 3.427.490 | R\$ 4.462.138 | R\$ 5.687.490 | R\$ 7.202.574 | R\$ 8.913.138 | R\$ 10.912.539 |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 909.640 | R\$ 1.228.814 | R\$ 1.643.505 | R\$ 2.158.017 | R\$ 2.812.539 | R\$ 3.507.042 | R\$ 4.352.042 | R\$ 5.297.042 |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 479.785 | R\$ 647.276 | R\$ 897.168 | R\$ 1.216.613 | R\$ 1.631.042 | R\$ 2.146.042 | R\$ 2.771.042 |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 129.973 | R\$ 191.938 | R\$ 277.247 | R\$ 424.197 | R\$ 599.536 | R\$ 820.955 |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 11.747 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.10 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC5.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.289.838 | R\$ 3.189.515 | R\$ 4.092.743 | R\$ 5.682.981 | R\$ 6.972.763 | R\$ 9.327.574 | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.837.966 | R\$ 2.402.312 | R\$ 3.519.863 | R\$ 4.442.219 | R\$ 5.933.138 | R\$ 7.416.492 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.327.238 | R\$ 2.128.814 | R\$ 2.711.858 | R\$ 3.741.613 | R\$ 4.692.539 | R\$ 5.877.042 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.231.978 | R\$ 1.597.276 | R\$ 2.323.149 | R\$ 2.932.936 | R\$ 3.692.107 | R\$ 4.636.955 | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 876.959 | R\$ 1.397.790 | R\$ 1.788.120 | R\$ 2.275.623 | R\$ 2.883.070 | R\$ 3.638.017 | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ 790.866 | R\$ 1.036.025 | R\$ 1.345.445 | R\$ 1.734.307 | R\$ 2.222.167 | R\$ 2.833.333 |
| 6 | R\$ - | R\$ 544.842 | R\$ 733.690 | R\$ 974.870 | R\$ 1.279.398 | R\$ 1.662.976 |
| 7 | R\$ - | R\$ 341.423 | R\$ 482.077 | R\$ 667.643 | R\$ 903.540 |
| 8 | R\$ - | R\$ 176.006 | R\$ 270.679 | R\$ 410.747 |
| 9 | R\$ - | R\$ 53.044 | R\$ 90.977 |
| 10 | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.6 Tecnologia Crítica 6

Figura E.11 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC6.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.926.693 | R\$ 6.068.076 | R\$ 7.473.886 | R\$ 9.205.385 | R\$ 11.338.026 | R\$ 13.964.743 | R\$ 17.200.000 | R\$ 17.200.000 | R\$ 17.200.000 | R\$ 17.200.000 |
| 1 | | R\$ 3.247.615 | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.926.693 | R\$ 6.068.076 | R\$ 7.473.886 | R\$ 9.205.385 | R\$ 11.338.026 | R\$ 13.964.743 | R\$ 13.964.743 | R\$ 13.964.743 |
| 2 | | | R\$ 2.636.750 | R\$ 3.247.615 | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.926.693 | R\$ 6.068.076 | R\$ 7.473.886 | R\$ 9.205.385 | R\$ 11.338.026 | R\$ 11.338.026 |
| 3 | | | | R\$ 2.140.787 | R\$ 2.636.750 | R\$ 3.247.615 | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.926.693 | R\$ 6.068.076 | R\$ 7.473.886 | R\$ 9.205.385 |
| 4 | | | | | R\$ 1.738.113 | R\$ 2.140.787 | R\$ 2.636.750 | R\$ 3.247.615 | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.926.693 | R\$ 6.068.076 |
| 5 | | | | | | R\$ 1.411.180 | R\$ 1.738.113 | R\$ 2.140.787 | R\$ 2.636.750 | R\$ 3.247.615 | R\$ 4.000.000 |
| 6 | | | | | | | R\$ 1.145.743 | R\$ 1.411.180 | R\$ 1.738.113 | R\$ 2.140.787 | R\$ 2.636.750 |
| 7 | | | | | | | | R\$ 930.233 | R\$ 1.145.743 | R\$ 1.411.180 | R\$ 1.738.113 |
| 8 | | | | | | | | | R\$ 755.259 | R\$ 930.233 | R\$ 1.145.743 |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ 613.198 | R\$ 755.259 |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ 497.858 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 3o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.486.872 | R\$ 4.358.005 | R\$ 5.435.344 | R\$ 6.767.253 | R\$ 8.413.676 | R\$ 10.448.876 | R\$ 12.964.743 | | | | |
| 1 | | R\$ 2.719.084 | R\$ 3.418.604 | R\$ 4.284.499 | R\$ 5.355.368 | R\$ 6.679.122 | R\$ 8.315.307 | R\$ 10.338.026 | | | |
| 2 | | | R\$ 2.084.642 | R\$ 2.644.960 | R\$ 3.340.260 | R\$ 4.201.231 | R\$ 5.265.822 | R\$ 6.581.034 | R\$ 8.205.385 | | |
| 3 | | | | R\$ 1.555.785 | R\$ 2.001.567 | R\$ 2.557.972 | R\$ 3.249.651 | R\$ 4.106.956 | R\$ 5.166.932 | R\$ 6.473.886 | |
| 4 | | | | | R\$ 1.112.287 | R\$ 1.461.230 | R\$ 1.901.720 | R\$ 2.453.782 | R\$ 3.142.661 | R\$ 4.000.767 | R\$ 5.068.076 |
| 5 | | | | | | R\$ 741.768 | R\$ 1.006.149 | R\$ 1.346.955 | R\$ 1.779.411 | R\$ 2.321.689 | R\$ 3.000.000 |
| 6 | | | | | | | R\$ 438.683 | R\$ 626.513 | R\$ 880.774 | R\$ 1.214.861 | R\$ 1.636.750 |
| 7 | | | | | | | | R\$ 203.804 | R\$ 315.798 | R\$ 485.254 | R\$ 738.113 |
| 8 | | | | | | | | | R\$ 50.968 | R\$ 86.187 | R\$ 145.743 |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.930.752 | R\$ 3.732.376 | R\$ 4.732.171 | R\$ 5.976.871 | R\$ 7.524.835 | R\$ 9.448.876 | | | | | |
| 1 | | R\$ 2.162.697 | R\$ 2.791.522 | R\$ 3.579.787 | R\$ 4.564.026 | R\$ 5.789.971 | R\$ 7.315.307 | | | | |
| 2 | | | R\$ 1.530.028 | R\$ 2.016.256 | R\$ 2.632.645 | R\$ 3.407.564 | R\$ 4.375.743 | R\$ 5.581.034 | | | |
| 3 | | | | R\$ 1.009.334 | R\$ 1.373.145 | R\$ 1.845.792 | R\$ 2.450.678 | R\$ 3.214.103 | R\$ 4.166.932 | | |
| 4 | | | | | R\$ 589.741 | R\$ 841.721 | R\$ 1.185.272 | R\$ 1.643.853 | R\$ 2.241.517 | R\$ 3.000.767 | |
| 5 | | | | | | R\$ 274.916 | R\$ 420.826 | R\$ 637.117 | R\$ 951.386 | R\$ 1.395.763 | R\$ 2.000.000 |
| 6 | | | | | | | R\$ 77.874 | R\$ 131.685 | R\$ 222.680 | R\$ 376.552 | R\$ 636.750 |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.324.792 | R\$ 3.039.425 | R\$ 3.945.755 | R\$ 5.088.905 | R\$ 6.524.835 | | | | | | |
| 1 | | R\$ 1.576.338 | R\$ 2.110.354 | R\$ 2.798.752 | R\$ 3.677.489 | R\$ 4.789.971 | | | | | |
| 2 | | | R\$ 981.428 | R\$ 1.360.797 | R\$ 1.865.168 | R\$ 2.525.296 | R\$ 3.375.743 | | | | |
| 3 | | | | R\$ 528.154 | R\$ 770.564 | R\$ 1.111.292 | R\$ 1.581.172 | R\$ 2.214.103 | | | |
| 4 | | | | | R\$ 216.610 | R\$ 338.905 | R\$ 526.784 | R\$ 812.492 | R\$ 1.241.517 | | |
| 5 | | | | | | R\$ 48.402 | R\$ 81.847 | R\$ 138.404 | R\$ 234.041 | R\$ 395.763 | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.066.876 | R\$ 3.884.498 | R\$ 4.902.195 | R\$ 6.167.253 | | | | | | | |
| 1 | | R\$ 2.300.683 | R\$ 2.945.683 | R\$ 3.751.471 | R\$ 4.755.368 | | | | | | |
| 2 | | | R\$ 1.669.973 | R\$ 2.173.576 | R\$ 2.807.592 | R\$ 3.601.231 | | | | | |
| 3 | | | | R\$ 1.149.553 | R\$ 1.534.138 | R\$ 2.026.386 | R\$ 2.649.651 | | | | |
| 4 | | | | | R\$ 724.282 | R\$ 1.003.714 | R\$ 1.373.364 | R\$ 1.853.782 | | | |
| 5 | | | | | | R\$ 390.721 | R\$ 572.553 | R\$ 828.254 | R\$ 1.179.411 | | |
| 6 | | | | | | | R\$ 155.827 | R\$ 247.344 | R\$ 390.933 | R\$ 614.861 | |
| 7 | | | | | | | | R\$ 28.563 | R\$ 48.300 | R\$ 81.675 | R\$ 138.113 |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.12 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC6.

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.459.449 | R\$ 3.199.729 | R\$ 4.132.171 | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.695.478 | R\$ 2.259.995 | R\$ 2.979.787 | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.073.033 | R\$ 1.488.076 | R\$ 2.032.645 | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 576.983 | R\$ 854.970 | R\$ 1.245.792 | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 213.363 | R\$ 353.453 | R\$ 585.272 | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 12.980 | R\$ 21.950 | R\$ 37.117 | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.534.263 | R\$ 3.284.498 | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.769.257 | R\$ 2.345.683 | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.142.098 | R\$ 1.573.576 | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 632.291 | R\$ 934.138 | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 238.743 | R\$ 403.714 | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL4 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.134.263 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.169.257 | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 542.098 | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 32.291 | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.13 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC6.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.134.263 | R\$ 3.284.498 | R\$ 4.132.171 | R\$ 6.167.253 | R\$ 6.524.835 | R\$ 9.448.876 | R\$ 12.964.743 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.769.257 | R\$ 2.345.683 | R\$ 3.751.471 | R\$ 4.755.368 | R\$ 5.789.971 | R\$ 8.315.307 | R\$ 10.338.026 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.142.098 | R\$ 2.173.576 | R\$ 2.807.592 | R\$ 3.601.231 | R\$ 5.265.822 | R\$ 6.581.034 | R\$ 8.205.385 | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.149.553 | R\$ 1.534.138 | R\$ 2.026.386 | R\$ 3.249.651 | R\$ 4.106.956 | R\$ 5.166.932 | R\$ 6.473.886 | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 724.282 | R\$ 1.003.714 | R\$ 1.901.720 | R\$ 2.453.782 | R\$ 3.142.661 | R\$ 4.000.767 | R\$ 5.068.076 |
| 5 | R\$ - | R\$ 390.721 | R\$ 1.006.149 | R\$ 1.346.955 | R\$ 1.779.411 | R\$ 2.321.689 | R\$ 3.000.000 |
| 6 | R\$ - | R\$ 438.683 | R\$ 626.513 | R\$ 880.774 | R\$ 1.214.861 | R\$ 1.636.750 |
| 7 | R\$ - | R\$ 203.804 | R\$ 315.798 | R\$ 485.254 | R\$ 738.113 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ 50.968 | R\$ 86.187 | R\$ 145.743 |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.7 Tecnologia Crítica 7

Figura E.14 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC7.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.666.667 | R\$ 2.239.125 | R\$ 3.008.208 | R\$ 4.041.452 | R\$ 5.429.589 | R\$ 7.294.517 | R\$ 9.800.000 |
| 1 | | R\$ 1.240.564 | R\$ 1.666.667 | R\$ 2.239.125 | R\$ 3.008.208 | R\$ 4.041.452 | R\$ 5.429.589 | R\$ 7.294.517 | R\$ 7.294.517 | R\$ 7.294.517 | R\$ 7.294.517 |
| 2 | | R\$ - | R\$ 923.400 | R\$ 1.240.564 | R\$ 1.666.667 | R\$ 2.239.125 | R\$ 3.008.208 | R\$ 4.041.452 | R\$ 5.429.589 | R\$ 5.429.589 | R\$ 5.429.589 |
| 3 | | R\$ - | R\$ - | R\$ 687.322 | R\$ 923.400 | R\$ 1.240.564 | R\$ 1.666.667 | R\$ 2.239.125 | R\$ 3.008.208 | R\$ 4.041.452 | R\$ 4.041.452 |
| 4 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 511.600 | R\$ 687.322 | R\$ 923.400 | R\$ 1.240.564 | R\$ 1.666.667 | R\$ 2.239.125 | R\$ 3.008.208 |
| 5 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 380.804 | R\$ 511.600 | R\$ 687.322 | R\$ 923.400 | R\$ 1.240.564 | R\$ 1.666.667 |
| 6 | | R\$ - | R\$ 283.447 | R\$ 380.804 | R\$ 511.600 | R\$ 687.322 | R\$ 923.400 |
| 7 | | R\$ - | R\$ 210.980 | R\$ 283.447 | R\$ 380.804 | R\$ 511.600 |
| 8 | | R\$ - | R\$ 157.041 | R\$ 210.980 | R\$ 283.447 |
| 9 | | R\$ - | R\$ 116.891 | R\$ 157.041 |
| 10 | | R\$ - | R\$ 87.007 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.402.866 | R\$ 1.940.750 | R\$ 2.670.184 | R\$ 3.657.347 | R\$ 4.991.781 | R\$ 6.794.517 | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 972.859 | R\$ 1.364.523 | R\$ 1.898.315 | R\$ 2.622.644 | R\$ 3.603.229 | R\$ 4.929.589 | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 650.868 | R\$ 932.715 | R\$ 1.320.873 | R\$ 1.850.505 | R\$ 2.568.967 | R\$ 3.541.452 | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 410.204 | R\$ 607.889 | R\$ 886.424 | R\$ 1.271.841 | R\$ 1.797.383 | R\$ 2.508.208 | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 232.982 | R\$ 363.627 | R\$ 556.667 | R\$ 833.681 | R\$ 1.218.785 | R\$ 1.739.125 | |
| 5 | R\$ - | R\$ 108.927 | R\$ 183.848 | R\$ 305.025 | R\$ 494.730 | R\$ 777.601 | R\$ 1.166.667 |
| 6 | R\$ - | R\$ 33.296 | R\$ 62.916 | R\$ 118.835 | R\$ 224.359 | R\$ 423.400 |
| 7 | R\$ - | R\$ 1.619 | R\$ 3.121 | R\$ 6.017 | R\$ 11.600 |
| 8 | R\$ - |
| 9 | R\$ - |
| 10 | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.129.166 | R\$ 1.616.210 | R\$ 2.291.557 | R\$ 3.220.795 | R\$ 4.491.781 | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 714.098 | R\$ 1.049.849 | R\$ 1.524.605 | R\$ 2.187.506 | R\$ 3.103.229 | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 416.266 | R\$ 636.007 | R\$ 957.436 | R\$ 1.418.841 | R\$ 2.068.967 | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 212.047 | R\$ 342.216 | R\$ 543.789 | R\$ 848.708 | R\$ 1.297.383 | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 84.788 | R\$ 147.671 | R\$ 254.255 | R\$ 431.500 | R\$ 718.785 | | |
| 5 | R\$ - | R\$ 20.102 | R\$ 38.751 | R\$ 74.701 | R\$ 144.004 | R\$ 277.601 | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 1.022.084 | R\$ 1.490.797 | R\$ 2.147.618 | R\$ 3.057.347 | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 610.890 | R\$ 925.223 | R\$ 1.379.334 | R\$ 2.022.644 | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 321.569 | R\$ 515.009 | R\$ 810.697 | R\$ 1.250.505 | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 133.629 | R\$ 231.998 | R\$ 397.872 | R\$ 671.841 | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 32.620 | R\$ 62.882 | R\$ 121.221 | R\$ 233.681 | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 739.856 | R\$ 1.148.745 | R\$ 1.747.618 | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 353.534 | R\$ 594.771 | R\$ 979.334 | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 110.516 | R\$ 213.046 | R\$ 410.697 | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.15 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC7.

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL4 | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 0 | R\$ 575.540 | R\$ 948.745 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 204.785 | R\$ 394.771 | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL3 | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 0 | R\$ 475.540 | | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 104.785 | | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.16 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC7.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 0 | R\$ 475.540 | R\$ 948.745 | R\$ 1.747.618 | R\$ 3.057.347 | R\$ 4.491.781 | R\$ 6.794.517 | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 204.785 | R\$ 594.771 | R\$ 1.379.334 | R\$ 2.187.506 | R\$ 3.603.229 | R\$ 4.929.589 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 110.516 | R\$ 515.009 | R\$ 957.436 | R\$ 1.850.505 | R\$ 2.568.967 | R\$ 3.541.452 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 133.629 | R\$ 342.216 | R\$ 886.424 | R\$ 1.271.841 | R\$ 1.797.383 | R\$ 2.508.208 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 84.788 | R\$ 363.627 | R\$ 556.667 | R\$ 833.681 | R\$ 1.218.785 | R\$ 1.739.125 | R\$ - | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 108.927 | R\$ 183.848 | R\$ 305.025 | R\$ 494.730 | R\$ 777.601 | R\$ 1.166.667 | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 33.296 | R\$ 62.916 | R\$ 118.835 | R\$ 224.359 | R\$ 423.400 | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.619 | R\$ 3.121 | R\$ 6.017 | R\$ 11.600 | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.8 Tecnologia Crítica 8

Figura E.17 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC8.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 833.333 | R\$ 1.120.323 | R\$ 1.506.148 | R\$ 2.024.846 | R\$ 2.722.177 | R\$ 3.659.660 | R\$ 4.920.000 |
| 1 | | R\$ 619.861 | R\$ 833.333 | R\$ 1.120.323 | R\$ 1.506.148 | R\$ 2.024.846 | R\$ 2.722.177 | R\$ 3.659.660 | R\$ 3.659.660 | R\$ 3.659.660 | R\$ 3.659.660 |
| 2 | | R\$ - | R\$ 461.073 | R\$ 619.861 | R\$ 833.333 | R\$ 1.120.323 | R\$ 1.506.148 | R\$ 2.024.846 | R\$ 2.722.177 | R\$ 2.722.177 | R\$ 2.722.177 |
| 3 | | R\$ - | R\$ - | R\$ 342.962 | R\$ 461.073 | R\$ 619.861 | R\$ 833.333 | R\$ 1.120.323 | R\$ 1.506.148 | R\$ 2.024.846 | R\$ 2.024.846 |
| 4 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 255.106 | R\$ 342.962 | R\$ 461.073 | R\$ 619.861 | R\$ 833.333 | R\$ 1.120.323 | R\$ 1.506.148 |
| 5 | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 189.757 | R\$ 255.106 | R\$ 342.962 | R\$ 461.073 | R\$ 619.861 | R\$ 833.333 |
| 6 | | R\$ - | R\$ 141.147 | R\$ 189.757 | R\$ 255.106 | R\$ 342.962 | R\$ 461.073 |
| 7 | | R\$ - | R\$ 104.990 | R\$ 141.147 | R\$ 189.757 | R\$ 255.106 |
| 8 | | R\$ - | R\$ 78.095 | R\$ 104.990 | R\$ 141.147 |
| 9 | | R\$ - | R\$ 58.090 | R\$ 78.095 |
| 10 | | R\$ - | R\$ 43.209 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 701.499 | R\$ 971.186 | R\$ 1.337.181 | R\$ 1.832.830 | R\$ 2.503.295 | R\$ 3.409.660 | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 486.070 | R\$ 682.310 | R\$ 949.958 | R\$ 1.313.399 | R\$ 1.805.756 | R\$ 2.472.177 | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 324.880 | R\$ 465.985 | R\$ 660.471 | R\$ 926.040 | R\$ 1.286.546 | R\$ 1.774.846 | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 204.502 | R\$ 303.377 | R\$ 442.822 | R\$ 635.939 | R\$ 899.467 | R\$ 1.256.148 | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 115.947 | R\$ 181.203 | R\$ 277.743 | R\$ 416.428 | R\$ 609.401 | R\$ 870.323 | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 54.044 | R\$ 91.380 | R\$ 151.876 | R\$ 246.739 | R\$ 388.380 | R\$ 583.333 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 16.391 | R\$ 31.065 | R\$ 58.859 | R\$ 111.480 | R\$ 211.073 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 711 | R\$ 1.372 | R\$ 2.647 | R\$ 5.106 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 564.794 | R\$ 809.025 | R\$ 1.147.933 | R\$ 1.614.584 | R\$ 2.253.295 | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 356.890 | R\$ 525.120 | R\$ 763.192 | R\$ 1.095.868 | R\$ 1.555.756 | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 207.841 | R\$ 317.838 | R\$ 478.884 | R\$ 710.263 | R\$ 1.036.546 | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 105.748 | R\$ 170.827 | R\$ 271.708 | R\$ 424.466 | R\$ 649.467 | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 42.218 | R\$ 73.601 | R\$ 126.852 | R\$ 215.512 | R\$ 359.401 | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 9.986 | R\$ 19.267 | R\$ 37.173 | R\$ 71.722 | R\$ 138.380 | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 511.257 | R\$ 746.305 | R\$ 1.075.940 | R\$ 1.532.830 | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 305.300 | R\$ 462.796 | R\$ 690.526 | R\$ 1.013.399 | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 160.524 | R\$ 257.337 | R\$ 405.477 | R\$ 626.040 | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 66.597 | R\$ 115.742 | R\$ 198.715 | R\$ 335.939 | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 16.210 | R\$ 31.276 | R\$ 60.344 | R\$ 116.428 | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 370.248 | R\$ 575.328 | R\$ 875.940 | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 176.771 | R\$ 297.650 | R\$ 490.526 | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 55.198 | R\$ 106.498 | R\$ 205.477 | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.18 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC8.

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL4 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 259.137 | R\$ 455.328 | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 56.771 | R\$ 177.650 | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL3 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 209.137 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 6.771 | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.19 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC8.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 209.137 | R\$ 455.328 | R\$ 875.940 | R\$ 1.532.830 | R\$ 2.253.295 | R\$ 3.409.660 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 56.771 | R\$ 297.650 | R\$ 690.526 | R\$ 1.095.868 | R\$ 1.805.756 | R\$ 2.472.177 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 55.198 | R\$ 257.337 | R\$ 478.884 | R\$ 926.040 | R\$ 1.286.546 | R\$ 1.774.846 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 66.597 | R\$ 170.827 | R\$ 442.822 | R\$ 635.939 | R\$ 899.467 | R\$ 1.256.148 | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 42.218 | R\$ 181.203 | R\$ 277.743 | R\$ 416.428 | R\$ 609.401 | R\$ 870.323 | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 54.044 | R\$ 91.380 | R\$ 151.876 | R\$ 246.739 | R\$ 388.380 | R\$ 583.333 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 16.391 | R\$ 31.065 | R\$ 58.859 | R\$ 111.480 | R\$ 211.073 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 711 | R\$ 1.372 | R\$ 2.647 | R\$ 5.106 |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.9 Tecnologia Crítica 9

Figura E.20 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC9.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 4.444.444 | R\$ 5.934.917 | R\$ 7.925.229 | R\$ 10.583.005 | R\$ 14.132.083 | R\$ 18.871.367 | R\$ 25.200.000 |
| 1 | | R\$ 3.328.283 | R\$ 4.444.444 | R\$ 5.934.917 | R\$ 7.925.229 | R\$ 10.583.005 | R\$ 14.132.083 | R\$ 18.871.367 | R\$ 18.871.367 | R\$ 18.871.367 | R\$ 18.871.367 |
| 2 | | | R\$ 2.492.431 | R\$ 3.328.283 | R\$ 4.444.444 | R\$ 5.934.917 | R\$ 7.925.229 | R\$ 10.583.005 | R\$ 14.132.083 | R\$ 14.132.083 | R\$ 14.132.083 |
| 3 | | | | R\$ 1.866.491 | R\$ 2.492.431 | R\$ 3.328.283 | R\$ 4.444.444 | R\$ 5.934.917 | R\$ 7.925.229 | R\$ 10.583.005 | R\$ 10.583.005 |
| 4 | | | | | R\$ 1.397.748 | R\$ 1.866.491 | R\$ 2.492.431 | R\$ 3.328.283 | R\$ 4.444.444 | R\$ 5.934.917 | R\$ 7.925.229 |
| 5 | | | | | | R\$ 1.046.723 | R\$ 1.397.748 | R\$ 1.866.491 | R\$ 2.492.431 | R\$ 3.328.283 | R\$ 4.444.444 |
| 6 | | | | | | | R\$ 783.853 | R\$ 1.046.723 | R\$ 1.397.748 | R\$ 1.866.491 | R\$ 2.492.431 |
| 7 | | | | | | | | R\$ 586.999 | R\$ 783.853 | R\$ 1.046.723 | R\$ 1.397.748 |
| 8 | | | | | | | | | R\$ 439.582 | R\$ 586.999 | R\$ 783.853 |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ 329.187 | R\$ 439.582 |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ 246.516 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 3.640.073 | R\$ 5.012.630 | R\$ 6.858.861 | R\$ 9.331.967 | R\$ 12.632.083 | R\$ 17.371.367 | | | | | |
| 1 | | R\$ 2.529.025 | R\$ 3.539.534 | R\$ 4.912.085 | R\$ 6.767.168 | R\$ 9.267.184 | R\$ 12.632.083 | | | | |
| 2 | | | R\$ 1.683.320 | R\$ 2.410.021 | R\$ 3.409.037 | R\$ 4.768.651 | R\$ 6.606.473 | R\$ 9.083.005 | | | |
| 3 | | | | R\$ 1.050.258 | R\$ 1.557.355 | R\$ 2.272.320 | R\$ 3.261.632 | R\$ 4.608.880 | R\$ 6.425.229 | | |
| 4 | | | | | R\$ 585.649 | R\$ 916.366 | R\$ 1.406.937 | R\$ 2.113.868 | R\$ 3.100.349 | R\$ 4.434.917 | |
| 5 | | | | | | R\$ 264.397 | R\$ 448.586 | R\$ 748.729 | R\$ 1.223.041 | R\$ 1.939.395 | R\$ 2.944.444 |
| 6 | | | | | | | R\$ 74.128 | R\$ 141.795 | R\$ 271.232 | R\$ 518.825 | R\$ 992.431 |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.821.321 | R\$ 4.039.819 | R\$ 5.722.560 | R\$ 8.021.541 | R\$ 11.132.083 | | | | | | |
| 1 | | R\$ 1.759.612 | R\$ 2.599.985 | R\$ 3.792.798 | R\$ 5.461.795 | R\$ 7.767.184 | | | | | |
| 2 | | | R\$ 993.163 | R\$ 1.530.914 | R\$ 2.325.400 | R\$ 3.475.812 | R\$ 5.106.473 | | | | |
| 3 | | | | R\$ 478.313 | R\$ 781.945 | R\$ 1.260.863 | R\$ 1.999.883 | R\$ 3.108.880 | | | |
| 4 | | | | | R\$ 172.460 | R\$ 304.580 | R\$ 534.201 | R\$ 929.239 | R\$ 1.600.349 | | |
| 5 | | | | | | R\$ 32.820 | R\$ 62.779 | R\$ 120.087 | R\$ 229.707 | R\$ 439.395 | |
| 6 | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.684.245 | R\$ 3.885.055 | R\$ 5.551.039 | R\$ 7.831.967 | | | | | | | |
| 1 | | R\$ 1.620.286 | R\$ 2.438.515 | R\$ 3.613.173 | R\$ 5.267.168 | | | | | | |
| 2 | | | R\$ 856.951 | R\$ 1.363.318 | R\$ 2.132.224 | R\$ 3.268.651 | | | | | |
| 3 | | | | R\$ 357.772 | R\$ 616.727 | R\$ 1.050.326 | R\$ 1.761.632 | | | | |
| 4 | | | | | R\$ 87.707 | R\$ 167.771 | R\$ 320.919 | R\$ 613.868 | | | |
| 5 | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 6 | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.393.244 | R\$ 3.539.521 | R\$ 5.151.039 | | | | | | | | |
| 1 | | R\$ 1.346.533 | R\$ 2.100.121 | R\$ 3.213.173 | | | | | | | |
| 2 | | | R\$ 616.723 | R\$ 1.042.635 | R\$ 1.732.224 | | | | | | |
| 3 | | | | R\$ 177.735 | R\$ 339.978 | R\$ 650.326 | | | | | |
| 4 | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 5 | | | | | | | R\$ - | R\$ - | | | |
| 6 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | | |
| 7 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | |
| 8 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.21 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC9.

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL4 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.214.031 | R\$ 3.339.521 | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.161.348 | R\$ 1.900.121 | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 416.723 | R\$ 642.635 | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL3 | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.214.031 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.061.348 | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 316.723 | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.22 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC9.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 2.214.031 | R\$ 3.339.521 | R\$ 5.151.039 | R\$ 7.831.967 | R\$ 11.132.083 | R\$ 17.371.367 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 1.161.348 | R\$ 2.100.121 | R\$ 3.613.173 | R\$ 5.461.795 | R\$ 9.267.184 | R\$ 12.632.083 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ 616.723 | R\$ 1.363.318 | R\$ 2.325.400 | R\$ 4.768.651 | R\$ 6.606.473 | R\$ 9.083.005 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 357.772 | R\$ 781.945 | R\$ 2.272.320 | R\$ 3.261.632 | R\$ 4.608.880 | R\$ 6.425.229 | R\$ - | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 172.460 | R\$ 916.366 | R\$ 1.406.937 | R\$ 2.113.868 | R\$ 3.100.349 | R\$ 4.434.917 | R\$ - |
| 5 | R\$ - | R\$ 264.397 | R\$ 448.586 | R\$ 748.729 | R\$ 1.223.041 | R\$ 1.939.395 | R\$ 2.944.444 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ 74.128 | R\$ 141.795 | R\$ 271.232 | R\$ 518.825 | R\$ 992.431 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

E.10 Tecnologia Crítica 10

Figura E.23 – Planilha com Árvores de Decisão para projeto TC10.

| Árvore de Eventos - Valor do Projeto de Avanço da Prontidão Tecnológica | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 666.667 | R\$ 939.790 | R\$ 1.324.807 | R\$ 1.867.559 | R\$ 2.632.669 | R\$ 3.711.233 | R\$ 5.231.667 | R\$ 7.375.000 | R\$ 7.375.000 | R\$ 7.375.000 | R\$ 7.375.000 |
| 1 | | R\$ 472.919 | R\$ 666.667 | R\$ 939.790 | R\$ 1.324.807 | R\$ 1.867.559 | R\$ 2.632.669 | R\$ 3.711.233 | R\$ 5.231.667 | R\$ 5.231.667 | R\$ 5.231.667 |
| 2 | | | R\$ 335.479 | R\$ 472.919 | R\$ 666.667 | R\$ 939.790 | R\$ 1.324.807 | R\$ 1.867.559 | R\$ 2.632.669 | R\$ 3.711.233 | R\$ 3.711.233 |
| 3 | | | | R\$ 237.981 | R\$ 335.479 | R\$ 472.919 | R\$ 666.667 | R\$ 939.790 | R\$ 1.324.807 | R\$ 1.867.559 | R\$ 2.632.669 |
| 4 | | | | | R\$ 168.819 | R\$ 237.981 | R\$ 335.479 | R\$ 472.919 | R\$ 666.667 | R\$ 939.790 | R\$ 1.324.807 |
| 5 | | | | | | R\$ 119.757 | R\$ 168.819 | R\$ 237.981 | R\$ 335.479 | R\$ 472.919 | R\$ 666.667 |
| 6 | | | | | | | R\$ 84.953 | R\$ 119.757 | R\$ 168.819 | R\$ 237.981 | R\$ 335.479 |
| 7 | | | | | | | | R\$ 60.264 | R\$ 84.953 | R\$ 119.757 | R\$ 168.819 |
| 8 | | | | | | | | | R\$ 42.750 | R\$ 60.264 | R\$ 84.953 |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ 30.326 | R\$ 42.750 |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ 21.512 |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 2o ano | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 540.620 | R\$ 795.812 | R\$ 1.161.580 | R\$ 1.682.871 | R\$ 2.423.016 | R\$ 3.471.776 | R\$ 4.956.667 | | | | |
| 1 | | R\$ 345.611 | R\$ 519.862 | R\$ 772.951 | R\$ 1.136.798 | R\$ 1.655.784 | R\$ 2.392.477 | R\$ 3.436.233 | | | |
| 2 | | | R\$ 208.453 | R\$ 323.689 | R\$ 495.277 | R\$ 746.549 | R\$ 1.108.989 | R\$ 1.625.680 | R\$ 2.357.669 | | |
| 3 | | | | R\$ 114.332 | R\$ 185.801 | R\$ 296.968 | R\$ 465.970 | R\$ 716.594 | R\$ 1.079.057 | R\$ 1.592.559 | |
| 4 | | | | | R\$ 53.418 | R\$ 92.405 | R\$ 157.445 | R\$ 263.410 | R\$ 430.898 | R\$ 685.160 | R\$ 1.049.807 |
| 5 | | | | | | R\$ 18.667 | R\$ 34.992 | R\$ 65.078 | R\$ 119.886 | R\$ 218.289 | R\$ 391.667 |
| 6 | | | | | | | R\$ 3.487 | R\$ 7.116 | R\$ 14.522 | R\$ 29.636 | R\$ 60.479 |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL7 - 1o ano | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 431.177 | R\$ 657.801 | R\$ 992.207 | R\$ 1.480.170 | R\$ 2.185.351 | R\$ 3.196.776 | | | | | |
| 1 | | R\$ 249.684 | R\$ 393.655 | R\$ 612.263 | R\$ 938.957 | R\$ 1.419.703 | R\$ 2.117.477 | | | | |
| 2 | | | R\$ 130.265 | R\$ 214.798 | R\$ 349.047 | R\$ 558.078 | R\$ 876.541 | R\$ 1.350.680 | | | |
| 3 | | | | R\$ 57.372 | R\$ 100.380 | R\$ 173.375 | R\$ 294.907 | R\$ 492.482 | R\$ 804.057 | | |
| 4 | | | | | R\$ 18.774 | R\$ 35.379 | R\$ 66.215 | R\$ 122.913 | R\$ 225.909 | R\$ 410.160 | |
| 5 | | | | | | R\$ 3.296 | R\$ 6.727 | R\$ 13.728 | R\$ 28.015 | R\$ 57.170 | R\$ 116.667 |
| 6 | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL6 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|------------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 374.873 | R\$ 587.552 | R\$ 907.697 | R\$ 1.381.729 | R\$ 2.073.016 | | | | | | |
| 1 | | R\$ 199.488 | R\$ 327.499 | R\$ 529.054 | R\$ 839.406 | R\$ 1.305.784 | | | | | |
| 2 | | | R\$ 89.483 | R\$ 156.570 | R\$ 270.069 | R\$ 457.762 | R\$ 758.989 | | | | |
| 3 | | | | R\$ 29.271 | R\$ 55.584 | R\$ 104.964 | R\$ 196.921 | R\$ 366.594 | | | |
| 4 | | | | | R\$ 4.665 | R\$ 9.519 | R\$ 19.426 | R\$ 39.642 | R\$ 80.898 | | |
| 5 | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 6 | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL5 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 251.733 | R\$ 423.582 | R\$ 699.819 | R\$ 1.131.729 | | | | | | | |
| 1 | | R\$ 101.323 | R\$ 185.024 | R\$ 333.203 | R\$ 589.406 | | | | | | |
| 2 | | | R\$ 24.447 | R\$ 49.889 | R\$ 101.809 | R\$ 207.762 | | | | | |
| 3 | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 4 | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 5 | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 6 | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 7 | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | | | | | | | | | | R\$ - | R\$ - |
| 10 | | | | | | | | | | | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.24 – Planilha com Árvore de Decisão para projeto TC10.

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL4 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 170.377 | R\$ 308.558 | R\$ 549.819 | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 43.992 | R\$ 89.774 | R\$ 183.203 | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Decisão - Opção de investimento para TRL3 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 135.196 | R\$ 258.558 | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ 19.490 | R\$ 39.774 | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

| Árvore de Valor - Opção de investimento para TRL2 | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 110.196 | | | | | | | | | | |
| 1 | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | | |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | | |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | | |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | | |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | | |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | | |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | | |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | | |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura E.25 – Planilha com Árvore de Decisão para projeto TC10.

| Análise das opções reais | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | R\$ 110.196 | R\$ 258.558 | R\$ 549.819 | R\$ 1.131.729 | R\$ 2.073.016 | R\$ 3.196.776 | R\$ 4.956.667 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 1 | R\$ - | R\$ 19.490 | R\$ 89.774 | R\$ 333.203 | R\$ 839.406 | R\$ 1.419.703 | R\$ 2.392.477 | R\$ 3.436.233 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 2 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 49.889 | R\$ 270.069 | R\$ 558.078 | R\$ 1.108.989 | R\$ 1.625.680 | R\$ 2.357.669 | R\$ - | R\$ - |
| 3 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 55.584 | R\$ 173.375 | R\$ 465.970 | R\$ 716.594 | R\$ 1.079.057 | R\$ 1.592.559 | R\$ - |
| 4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 4.665 | R\$ 35.379 | R\$ 157.445 | R\$ 263.410 | R\$ 430.898 | R\$ 685.160 | R\$ 1.049.807 |
| 5 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 3.296 | R\$ 34.992 | R\$ 65.078 | R\$ 119.886 | R\$ 218.289 | R\$ 391.667 |
| 6 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 3.487 | R\$ 7.116 | R\$ 14.522 | R\$ 29.636 | R\$ 60.479 |
| 7 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 8 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 9 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| 10 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

APÊNDICE F – CENÁRIO FICTÍCIO PARA DEMONSTRAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TEORIA DE OR NA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE P&D

Figura F.1 – Planilha com programação das missões espaciais fictícias entre os anos de 2017 e 2026.

| 8% Taxa de juros "risco-zero" | | | | | | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 Número de avaliações TRL por ano | | | | | | | | | | |
| Programação de Investimentos - Tecnologias Críticas e Desenvolvimento de Competências | | | | | | | | | | |
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
| | R\$ 4.000.000,00 | R\$ 4.400.000,00 | R\$ 4.840.000,00 | R\$ 5.324.000,00 | R\$ 5.856.400,00 | R\$ 5.270.760,00 | R\$ 4.743.684,00 | R\$ 4.269.315,60 | R\$ 3.842.384,04 | R\$ 3.458.145,64 |
| Programação das Missões Espaciais | | | | | | | | | | |
| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
| SAT1 | | PD_A | PD_C | | | L | | | | |
| SAT2 | | | PD_A | PD_C | | | L | | | |
| SAT3 | | | PD_A | PD_C | | | L | | | |
| SAT4 | | | | PD_A | PD_C | | | L | | |
| SAT5 | | | | | PD_A | PD_C | | | L | |
| SAT6 | | | | | PD_A | PD_C | | | L | |
| SAT7 | | | | | | PD_A | PD_C | | | L |
| SAT8 | | | | | | | PD_A | PD_C | | |
| SAT9 | | | | | | | PD_A | PD_C | | |

Legenda: L – Lançamento, PD_A - Ponto de Decisão para Fase A (mínimo TRL6) e PD_C - Ponto de Decisão para Fase C (mínimo TRL7).

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura F.2 – Planilha com detalhes de cada projeto fictício de capacitação em tecnologias críticas.

| | Tecnologia Crítica 1 | Tecnologia Crítica 2 | Tecnologia Crítica 3 | Tecnologia Crítica 4 | Tecnologia Crítica 5 | Tecnologia Crítica 6 | Tecnologia Crítica 7 | Tecnologia Crítica 8 | Tecnologia Crítica 9 | Tecnologia Crítica 10 |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Valor de mercado para 1 missão | R\$ 1.000.000 | R\$ 3.000.000 | R\$ 750.000 | R\$ 880.000 | R\$ 2.000.000 | R\$ 4.000.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 750.000 | R\$ 4.000.000 | R\$ 2.000.000 |
| Em quantas missões poderá ser usada | 8 | 5 | 8 | 6 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| TRL atual | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Tempo de vida das opções (anos) | 4 | 6 | 4 | 5 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| Valor de mercado para n missões + previsão investimentos em aumento TRL | R\$ 13.800.000 | R\$ 25.000.000 | R\$ 7.800.000 | R\$ 7.480.000 | R\$ 12.200.000 | R\$ 17.200.000 | R\$ 9.800.000 | R\$ 4.920.000 | R\$ 25.200.000 | R\$ 7.375.000 |
| Fator TRL | 44% | 44% | 44% | 33% | 33% | 33% | 22% | 22% | 22% | 11% |
| Valor de mercado baseado na TRL atual | R\$ 3.555.556 | R\$ 6.666.667 | R\$ 2.666.667 | R\$ 1.760.000 | R\$ 3.333.333 | R\$ 4.000.000 | R\$ 1.666.667 | R\$ 833.333 | R\$ 4.444.444 | R\$ 666.667 |
| Fator Up | 1,4036 | 1,2464 | 1,3078 | 1,3356 | 1,2414 | 1,2317 | 1,3435 | 1,3444 | 1,3354 | 1,4097 |
| Fator Down | 0,7125 | 0,8023 | 0,7647 | 0,7487 | 0,8055 | 0,8119 | 0,7443 | 0,7438 | 0,7489 | 0,7094 |
| Probabilidade Up | 53,2% | 62,5% | 58,1% | 56,4% | 63,0% | 63,9% | 56,0% | 56,0% | 56,5% | 52,9% |
| Probabilidade Down | 46,8% | 37,5% | 41,9% | 43,6% | 37,0% | 36,1% | 44,0% | 44,0% | 43,5% | 47,1% |
| Desvio padrão por ano | 33,9% | 22,0% | 26,8% | 28,9% | 21,6% | 20,8% | 29,5% | 29,6% | 28,9% | 34,3% |
| Investimento previsto para atingir TRL2 | R\$ - | R\$ 25.000 |
| Investimento previsto para atingir TRL3 | R\$ - | R\$ 100.000 | R\$ 50.000 | R\$ 100.000 | R\$ 50.000 |
| Investimento previsto para atingir TRL4 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 200.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 200.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 150.000 |
| Investimento previsto para atingir TRL5 | R\$ 800.000 | R\$ 2.000.000 | R\$ 300.000 | R\$ 400.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 400.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 250.000,00 |
| Investimento previsto para atingir TRL6 | R\$ 3.500.000 | R\$ 4.500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.200.000 | R\$ 600.000 | R\$ 300.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 350.000,00 |
| Investimento previsto para atingir TRL7 | R\$ 1.500.000 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 3.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 500.000 | R\$ 3.000.000 | R\$ 550.000,00 |
| Tempo (anos) previsto para atingir TRL2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Tempo (anos) previsto para atingir TRL3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tempo (anos) previsto para atingir TRL4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tempo (anos) previsto para atingir TRL5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tempo (anos) previsto para atingir TRL6 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tempo (anos) previsto para atingir TRL7 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

A evolução prevista e real da TRL de cada projeto de capacitação tecnológica considerado nesse trabalho está registrada na tabela abaixo.

Tabela F.1 – Evolução prevista e real do nível de prontidão tecnológica (TRL) dos projetos do portfólio fictício.

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TRL TC1 Previsto | 5 | 5 | 6 | 7 | | | | |
| TRL TC1 Real | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| TRL TC2 Previsto | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | | |
| TRL TC2 Real | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| TRL TC3 Previsto | 5 | 6 | 6 | 7 | | | | |
| TRL TC3 Real | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | | |
| TRL TC4 Previsto | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | | | |
| TRL TC4 Real | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | | |
| TRL TC5 Previsto | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | | |
| TRL TC5 Real | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| TRL TC6 Previsto | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | |
| TRL TC6 Real | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| TRL TC7 Previsto | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | | |
| TRL TC7 Real | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | |
| TRL TC8 Previsto | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | | |
| TRL TC8 Real | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | |
| TRL TC9 Previsto | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | | |
| TRL TC9 Real | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| TRL TC10 Previsto | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | |
| TRL TC10 Real | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

APÊNDICE G – GESTÃO DO PORTFÓLIO FICTÍCIO DE PROJETOS DE CAPACITAÇÃO DO INPE EM TECNOLOGIAS CRÍTICAS E DE ACESSO RESTRITO

G.1 Memorial de cálculo da gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos)

Figura G.1 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos).

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | R\$ 4.175.000 | R\$ 6.145.000 | R\$ 7.588.376 | R\$ 9.778.330 | R\$ 9.482.374 | R\$ 9.143.391 | R\$ 3.940.984 | R\$ 2.075.261 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.400.000 | R\$ 4.840.000 | R\$ 5.324.000 | R\$ 5.856.400 | R\$ 5.270.760 | R\$ 4.743.684 | R\$ 4.269.316 | R\$ 3.842.384 | R\$ 3.458.146 |
| | -R\$ 175.000 | -R\$ 1.745.000 | -R\$ 2.748.376 | -R\$ 4.454.330 | -R\$ 3.625.974 | -R\$ 3.872.631 | R\$ 802.700 | R\$ 2.194.055 | R\$ 3.842.384 | R\$ 3.458.146 |
| Proposta Final de Investimentos em elevação da prontidão tecnológica (TRL) | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 625.000 | R\$ 736.624 | R\$ 710.046 | R\$ 345.955 | R\$ 263.983 | R\$ 452.407 | R\$ 590.723 | R\$ 2.075.261 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.193.376 | R\$ 979.954 | R\$ 525.818 | R\$ 956.234 | R\$ 731.762 | R\$ 2.877.961 | R\$ 734.895 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 200.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 152.227 | R\$ 386.183 | R\$ 336.591 | R\$ 275.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 4.000.000 | R\$ 4.400.000 | R\$ 4.840.000 | R\$ 5.324.000 | R\$ 5.856.400 | R\$ 5.270.760 | R\$ 4.743.684 | R\$ 2.810.156 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| | R\$ 0 | | | | | | | | | |
| Valores das opções de investimento em elevação da prontidão tecnológica (TRL) | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 214.628 | R\$ 1.243.053 | R\$ 1.443.770 | R\$ 757.248 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 1.033.171 | R\$ 304.769 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.380.684 | R\$ 2.013.822 | R\$ 1.992.585 | R\$ 1.150.943 | R\$ 2.078.469 | R\$ 928.103 | R\$ 2.795.477 | R\$ 3.711.239 | R\$ 4.866.219 | R\$ 6.309.610 |
| TC3 | R\$ 1.588.293 | R\$ 2.601.017 | R\$ 1.841.901 | R\$ 3.047.856 | R\$ 2.227.008 | R\$ 2.987.387 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 483.500 | R\$ 1.091.776 | R\$ 2.155.586 | R\$ 3.255.163 | R\$ 2.701.356 | R\$ 3.693.204 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 2.289.838 | R\$ 3.189.515 | R\$ 4.092.743 | R\$ 3.519.863 | R\$ 4.442.219 | R\$ 5.933.138 | R\$ 4.692.539 | R\$ 5.877.042 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 2.134.263 | R\$ 3.284.498 | R\$ 4.132.171 | R\$ 6.167.253 | R\$ 4.755.368 | R\$ 5.789.971 | R\$ 5.265.822 | R\$ 6.581.034 | R\$ 5.166.932 | R\$ 6.473.886 |
| TC7 | R\$ 475.540 | R\$ 948.745 | R\$ 1.747.618 | R\$ 3.057.347 | R\$ 2.187.506 | R\$ 3.603.229 | R\$ 4.929.589 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 209.137 | R\$ 455.328 | R\$ 875.940 | R\$ 1.532.830 | R\$ 2.253.295 | R\$ 1.805.756 | R\$ 2.472.177 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 2.114.031 | R\$ 3.339.521 | R\$ 2.100.121 | R\$ 3.613.173 | R\$ 5.461.795 | R\$ 9.267.184 | R\$ 6.606.473 | R\$ 9.083.005 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 110.196 | R\$ 258.558 | R\$ 549.819 | R\$ 333.203 | R\$ 839.406 | R\$ 1.419.703 | R\$ 1.108.989 | R\$ 1.625.680 | R\$ 2.357.669 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 12.000.108 | R\$ 18.425.834 | R\$ 20.932.254 | R\$ 26.434.878 | R\$ 27.520.216 | R\$ 36.001.467 | R\$ 28.444.857 | R\$ 27.911.171 | R\$ 12.695.589 | R\$ 12.783.496 |
| | | | | | | | | | | |
| Proporção de cada opção com relação ao portfólio | | | | | | | | | | |
| TC1 | 1,8% | 6,7% | 6,9% | 2,9% | 2,1% | 1,6% | 2,0% | 3,7% | 2,4% | 0,0% |
| TC2 | 19,8% | 10,9% | 9,5% | 4,4% | 7,6% | 2,6% | 9,8% | 13,3% | 38,3% | 49,4% |
| TC3 | 13,2% | 14,1% | 8,8% | 11,5% | 8,1% | 8,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC4 | 4,0% | 5,9% | 10,3% | 12,3% | 9,8% | 10,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC5 | 19,1% | 17,3% | 19,6% | 13,3% | 16,1% | 16,5% | 16,5% | 21,1% | 0,0% | 0,0% |
| TC6 | 17,8% | 17,8% | 19,7% | 23,3% | 17,3% | 16,1% | 18,5% | 23,6% | 40,7% | 50,6% |
| TC7 | 4,0% | 5,1% | 8,3% | 11,6% | 7,9% | 10,0% | 17,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC8 | 1,7% | 2,5% | 4,2% | 5,8% | 8,2% | 5,0% | 8,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC9 | 17,6% | 18,1% | 10,0% | 13,7% | 19,8% | 25,7% | 23,2% | 32,5% | 0,0% | 0,0% |
| TC10 | 0,9% | 1,4% | 2,6% | 1,3% | 3,1% | 3,9% | 3,9% | 5,8% | 18,6% | 0,0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | | | | | | | | | |
| Proposta de Investimento 1: proporcional ao valor das opções | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 71.542 | R\$ 296.835 | R\$ 333.831 | R\$ 152.510 | R\$ 122.105 | R\$ 84.006 | R\$ 95.690 | R\$ 158.035 | R\$ 92.240 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 793.554 | R\$ 480.891 | R\$ 460.730 | R\$ 231.801 | R\$ 442.306 | R\$ 135.878 | R\$ 466.195 | R\$ 567.674 | R\$ 1.472.786 | R\$ 1.706.853 |
| TC3 | R\$ 529.426 | R\$ 621.110 | R\$ 425.888 | R\$ 613.840 | R\$ 473.915 | R\$ 437.366 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 161.165 | R\$ 260.711 | R\$ 498.419 | R\$ 655.592 | R\$ 574.858 | R\$ 540.700 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 763.272 | R\$ 761.641 | R\$ 946.333 | R\$ 708.902 | R\$ 945.320 | R\$ 868.635 | R\$ 782.564 | R\$ 898.957 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 711.415 | R\$ 784.322 | R\$ 955.449 | R\$ 1.242.088 | R\$ 1.011.959 | R\$ 847.675 | R\$ 878.169 | R\$ 1.006.640 | R\$ 1.563.798 | R\$ 1.751.293 |
| TC7 | R\$ 158.512 | R\$ 226.556 | R\$ 404.088 | R\$ 615.751 | R\$ 465.509 | R\$ 527.527 | R\$ 822.096 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 69.712 | R\$ 108.730 | R\$ 202.537 | R\$ 308.713 | R\$ 479.509 | R\$ 264.370 | R\$ 412.279 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 704.671 | R\$ 797.461 | R\$ 485.594 | R\$ 727.695 | R\$ 1.162.289 | R\$ 1.356.753 | R\$ 1.101.746 | R\$ 1.389.344 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 36.732 | R\$ 61.742 | R\$ 127.130 | R\$ 67.107 | R\$ 178.629 | R\$ 207.850 | R\$ 184.944 | R\$ 248.665 | R\$ 713.561 | R\$ 0 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura G.2 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos).

| Proposta de Investimento 2: truncado pela orçamento solicitado | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| TC1 | R\$ 71.542 | R\$ 296.835 | R\$ 333.831 | R\$ 152.510 | R\$ 122.105 | R\$ 84.006 | R\$ 95.690 | R\$ 158.035 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 793.554 | R\$ 480.891 | R\$ 460.730 | R\$ 231.801 | R\$ 442.306 | R\$ 135.878 | R\$ 466.195 | R\$ 567.674 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 425.888 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 161.165 | R\$ 260.711 | R\$ 498.419 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 847.675 | R\$ 878.169 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 465.509 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 108.730 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 727.695 | R\$ 1.162.289 | R\$ 1.356.753 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 127.130 | R\$ 67.107 | R\$ 178.629 | R\$ 207.850 | R\$ 184.944 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Sobras para Investimento | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 92.240 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 1.472.786 | R\$ 1.706.853 |
| TC3 | R\$ 229.426 | R\$ 121.110 | R\$ 0 | R\$ 113.840 | R\$ 473.915 | R\$ 437.366 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 155.592 | R\$ 74.858 | R\$ 540.700 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 563.272 | R\$ 361.641 | R\$ 646.333 | R\$ 408.902 | R\$ 445.320 | R\$ 368.635 | R\$ 782.564 | R\$ 898.957 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 311.415 | R\$ 184.322 | R\$ 355.449 | R\$ 642.088 | R\$ 11.959 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 1.006.640 | R\$ 1.563.798 | R\$ 1.751.293 |
| TC7 | R\$ 58.512 | R\$ 26.556 | R\$ 4.088 | R\$ 15.751 | R\$ 0 | R\$ 27.527 | R\$ 822.096 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 19.712 | R\$ 0 | R\$ 2.537 | R\$ 8.713 | R\$ 229.509 | R\$ 14.370 | R\$ 412.279 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 604.671 | R\$ 597.461 | R\$ 85.594 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 1.101.746 | R\$ 1.389.344 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 11.732 | R\$ 11.742 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 248.665 | R\$ 713.561 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 1.798.739 | R\$ 1.302.833 | R\$ 1.094.001 | R\$ 1.344.887 | R\$ 1.235.562 | R\$ 1.388.598 | R\$ 3.118.686 | R\$ 3.543.607 | R\$ 3.842.384 | R\$ 3.458.146 |
| Valores das opções que precisam da redistribuição das sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 214.628 | R\$ 1.243.053 | R\$ 1.443.770 | R\$ 757.248 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 1.033.171 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.380.684 | R\$ 2.013.822 | R\$ 1.992.585 | R\$ 1.150.943 | R\$ 2.078.469 | R\$ 928.103 | R\$ 2.795.477 | R\$ 3.711.239 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 1.841.901 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 483.500 | R\$ 1.091.776 | R\$ 2.155.586 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 0 | R\$ 5.789.971 | R\$ 5.265.822 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 2.187.506 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 0 | R\$ 455.328 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 3.613.173 | R\$ 5.461.795 | R\$ 9.267.184 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 549.819 | R\$ 333.203 | R\$ 839.406 | R\$ 1.419.703 | R\$ 1.108.989 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 3.078.811 | R\$ 4.803.979 | R\$ 7.983.661 | R\$ 5.854.567 | R\$ 11.140.969 | R\$ 17.978.753 | R\$ 9.744.080 | R\$ 4.744.410 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Proporção de cada opção para redistribuição de sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | 7,0% | 25,9% | 18,1% | 12,9% | 5,2% | 3,2% | 5,9% | 21,8% | 0,0% | 0,0% |
| TC2 | 77,3% | 41,9% | 25,0% | 19,7% | 18,7% | 5,2% | 28,7% | 78,2% | 0,0% | 0,0% |
| TC3 | 0,0% | 0,0% | 23,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC4 | 15,7% | 22,7% | 27,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC5 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC6 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 32,2% | 54,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC7 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 19,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC8 | 0,0% | 9,5% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC9 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 61,7% | 49,0% | 51,5% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC10 | 0,0% | 0,0% | 6,9% | 5,7% | 7,5% | 7,9% | 11,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% |
| Proposta de Investimento 3: com redistribuição de sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 196.934 | R\$ 633.950 | R\$ 531.671 | R\$ 326.462 | R\$ 185.740 | R\$ 128.323 | R\$ 279.338 | R\$ 929.712 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.184.425 | R\$ 1.027.037 | R\$ 733.774 | R\$ 496.190 | R\$ 672.813 | R\$ 207.560 | R\$ 1.360.914 | R\$ 3.339.604 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 678.284 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 443.641 | R\$ 556.799 | R\$ 793.799 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.294.866 | R\$ 2.563.546 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 708.109 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 232.214 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.557.698 | R\$ 1.768.017 | R\$ 2.072.509 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 202.472 | R\$ 143.649 | R\$ 271.721 | R\$ 317.502 | R\$ 539.886 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura G.3 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos).

| Proposta de Investimento 4: truncado pela orçamento solicitado | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| TC1 | R\$ 196.934 | R\$ 633.950 | R\$ 531.671 | R\$ 326.462 | R\$ 185.740 | R\$ 128.323 | R\$ 279.338 | R\$ 929.712 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.027.037 | R\$ 733.774 | R\$ 496.190 | R\$ 672.813 | R\$ 207.560 | R\$ 1.360.914 | R\$ 734.895 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 143.649 | R\$ 271.721 | R\$ 317.502 | R\$ 275.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Sobras para Investimento | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 184.425 | R\$ 0 | R\$ 2.604.709 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 178.284 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 243.641 | R\$ 156.799 | R\$ 193.799 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 0 | R\$ 294.866 | R\$ 1.563.546 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 208.109 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 0 | R\$ 112.214 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 57.698 | R\$ 268.017 | R\$ 572.509 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 52.472 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 264.886 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 428.066 | R\$ 269.013 | R\$ 424.555 | R\$ 57.698 | R\$ 476.126 | R\$ 867.375 | R\$ 1.828.432 | R\$ 2.604.709 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Valores das opções que precisam da redistribuição das sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 214.628 | R\$ 1.243.053 | R\$ 1.443.770 | R\$ 757.248 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 1.033.171 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 0 | R\$ 2.013.822 | R\$ 1.992.585 | R\$ 1.150.943 | R\$ 2.078.469 | R\$ 928.103 | R\$ 2.795.477 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 333.203 | R\$ 839.406 | R\$ 1.419.703 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 214.628 | R\$ 3.256.875 | R\$ 3.436.355 | R\$ 2.241.394 | R\$ 3.491.668 | R\$ 2.921.599 | R\$ 3.369.270 | R\$ 1.033.171 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Proporção de cada opção para redistribuição de sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | 100,0% | 38,2% | 42,0% | 33,8% | 16,4% | 19,6% | 17,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC2 | 0,0% | 61,8% | 58,0% | 51,3% | 59,5% | 31,8% | 83,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC3 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC4 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC5 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC6 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC7 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC8 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC9 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC10 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 14,9% | 24,0% | 48,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% |
| Proposta de Investimento 5: com redistribuição de sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 625.000 | R\$ 736.624 | R\$ 710.046 | R\$ 345.955 | R\$ 263.983 | R\$ 298.673 | R\$ 590.723 | R\$ 3.534.421 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.193.376 | R\$ 979.954 | R\$ 525.818 | R\$ 956.234 | R\$ 483.099 | R\$ 2.877.961 | R\$ 734.895 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 152.227 | R\$ 386.183 | R\$ 738.988 | R\$ 275.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura G.4 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos).

| Proposta de Investimento 6: truncado pela orçamento solicitado | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| TC1 | R\$ 625.000 | R\$ 736.624 | R\$ 710.046 | R\$ 345.955 | R\$ 263.983 | R\$ 298.673 | R\$ 590.723 | R\$ 2.075.261 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.193.376 | R\$ 979.954 | R\$ 525.818 | R\$ 956.234 | R\$ 483.099 | R\$ 2.877.961 | R\$ 734.895 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 152.227 | R\$ 386.183 | R\$ 336.591 | R\$ 275.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Sobras para Investimento | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 0 | R\$ 1.459.160 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 0 | R\$ 402.398 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 0 | R\$ 402.398 | R\$ 0 | R\$ 1.459.160 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Valores das opções que precisam da redistribuição das sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 214.628 | R\$ 1.243.053 | R\$ 1.443.770 | R\$ 757.248 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 573.793 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 0 | R\$ 2.013.822 | R\$ 1.992.585 | R\$ 1.150.943 | R\$ 2.078.469 | R\$ 928.103 | R\$ 2.795.477 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 333.203 | R\$ 839.406 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 214.628 | R\$ 3.256.875 | R\$ 3.436.355 | R\$ 2.241.394 | R\$ 3.491.668 | R\$ 1.501.896 | R\$ 3.369.270 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Proporção de cada opção para redistribuição de sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | 100,0% | 38,2% | 42,0% | 33,8% | 16,4% | 38,2% | 17,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC2 | 0,0% | 61,8% | 58,0% | 51,3% | 59,5% | 61,8% | 83,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC3 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC4 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC5 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC6 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC7 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC8 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC9 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| TC10 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 14,9% | 24,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 0% | 0% | 0% |
| Proposta de Investimento 7: com redistribuição de sobras | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 625.000 | R\$ 736.624 | R\$ 710.046 | R\$ 345.955 | R\$ 263.983 | R\$ 452.407 | R\$ 590.723 | R\$ 2.075.261 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.193.376 | R\$ 979.954 | R\$ 525.818 | R\$ 956.234 | R\$ 731.762 | R\$ 2.877.961 | R\$ 734.895 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 152.227 | R\$ 386.183 | R\$ 336.591 | R\$ 275.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura G.5 – Gestão do portfólio (critérios originais de avaliação dos projetos).

| Proposta de Investimento 8: truncado pela orçamento solicitado | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| TC1 | R\$ 625.000 | R\$ 736.624 | R\$ 710.046 | R\$ 345.955 | R\$ 263.983 | R\$ 452.407 | R\$ 590.723 | R\$ 2.075.261 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 2.000.000 | R\$ 1.193.376 | R\$ 979.954 | R\$ 525.818 | R\$ 956.234 | R\$ 731.762 | R\$ 2.877.961 | R\$ 734.895 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 300.000 | R\$ 300.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 600.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 1.000.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 600.000 | R\$ 500.000 | R\$ 500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 50.000 | R\$ 120.000 | R\$ 200.000 | R\$ 300.000 | R\$ 250.000 | R\$ 250.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 100.000 | R\$ 200.000 | R\$ 400.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 1.500.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 25.000 | R\$ 50.000 | R\$ 150.000 | R\$ 152.227 | R\$ 386.183 | R\$ 336.591 | R\$ 275.000 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Sobras para Investimento | | | | | | | | | | |
| TC1 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC2 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC3 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC4 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC5 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC6 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC7 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC8 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC9 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| TC10 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |
| Total | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 | R\$ 0 |

Fonte: Elaborada pelo Autor.