



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2021/05.24.21.25-TDI

**DA IDENTIFICAÇÃO DE IDEIAS À
TRANSFORMAÇÃO ORGANIZACIONAL: O
PROCESSO DE INCORPORAÇÃO TECNOLÓGICA NA
INDÚSTRIA AEROESPACIAL POR MEIO DO MODELO
ESTRATÉGICO DINÂMICO ADAPTATIVO (EDA)**

Dinah Eluze Sales Leite

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Leonel Fernando Perondi, e Milton de Freitas Chagas Júnior, aprovada em 06 de maio de 2021.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/44NSQBH>>

INPE
São José dos Campos
2021

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

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

Presidente:

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

Membros:

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2021/05.24.21.25-TDI

**DA IDENTIFICAÇÃO DE IDEIAS À
TRANSFORMAÇÃO ORGANIZACIONAL: O
PROCESSO DE INCORPORAÇÃO TECNOLÓGICA NA
INDÚSTRIA AEROESPACIAL POR MEIO DO MODELO
ESTRATÉGICO DINÂMICO ADAPTATIVO (EDA)**

Dinah Eluze Sales Leite

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Leonel Fernando Perondi, e Milton de Freitas Chagas Júnior, aprovada em 06 de maio de 2021.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/44NSQBH>>

INPE
São José dos Campos
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Leite, Dinah Eluze Sales.

L536i Da identificação de ideias à transformação organizacional: o processo de incorporação tecnológica na indústria aeroespacial por meio do modelo estratégico dinâmico adaptativo (EDA) / Dinah Eluze Sales Leite. – São José dos Campos : INPE, 2021.
xxiv + 221 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2021/05.24.21.25-TDI)

Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2021.

Orientadores : Drs. Leonel Fernando Perondi, e Milton de Freitas Chagas Júnior.

1. Estratégia tecnológica. 2. Capacidades dinâmicas.
3. Tomada de decisão. 4. Complexidade. 5. Design Science.
I.Título.

CDU 629.78:005.21



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

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



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
Serviço de Pós-Graduação

DEFESA FINAL DE TESE DE DINAH ELUZE SALES LEITE

BANCA Nº 049/2021, REG 112887/2015

No dia 06 de maio de 2021, as 14h, por teleconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Doutora em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

Título: “DA IDENTIFICAÇÃO DE IDEIAS À TRANSFORMAÇÃO ORGANIZACIONAL: O PROCESSO DE INCORPORAÇÃO TECNOLÓGICA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL POR MEIO DO MODELO ESTRATÉGICO DINÂMICO ADAPTATIVO (EDA)”

Eu, Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira, Presidente da Banca Examinadora, assino esta ATA em nome de todos os membros com o consentimento dos mesmos.

Dr. Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira - Presidente - INPE

Dr. Leonel Fernando Perondi - Orientador - INPE

Dr. Milton de Freitas Chagas Júnior - Orientador - INPE

Dr. Evaldo José Corat - Membro Interno - INPE

Dra. Lígia Maria Soto Urbina - Membro Externo – ITA

Dr. André Luiz Sica de Campos - Membro Externo - UNICAMP



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Goncalves Vieira Ferreira, Coordenador de Rastreio, Controle e Recepção de Satélites**, em 11/05/2021, às 11:14 (horário oficial de Brasília), com fundamento no art. 6º do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **6601419** e o código CRC **EF3CD653**.

“The greatest danger in times of turbulence is not the turbulence; it is to act with yesterday’s logic”.

Peter F. Drucker

A Deus,
Por guiar minha vida e a busca por conhecimento.

A meus pais, Eva e Pedro Augusto,
Pela confiança e dedicação na minha educação. Vocês são minha maior referência de como enfrentar com determinação, entusiasmo e sabedoria todas as turbulências que fazem parte da vida.

A minhas irmãs, Luciana e Daniela,
Pela amizade, carinho e bom humor.

A meu marido, José Agnaldo, e filhos, Pedro Augusto e Frederico,
Por todo amor, incentivo e compreensão. Nada disso teria sentido sem vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e à Embraer, por permitirem e apoiarem o desenvolvimento desta tese. É um privilégio ser parte dessas instituições.

A meus orientadores, Dr. Leonel Fernando Perondi e Dr. Milton de Freitas Chagas Júnior, exemplos de pesquisadores e pessoas que têm a minha absoluta admiração e respeito, pelos ensinamentos, reflexões, críticas e orientações na evolução desta tese.

Agradeço a meu gestor Luciano José Pedrote dos Santos, pela confiança, incentivo, apoio e companheirismo.

Agradeço aos professores do INPE, pesquisadores e doutores, Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, Luís Antônio Waack Bambace e Otávio Luiz Bogossian, que contribuíram para a realização deste projeto.

Aos funcionários da biblioteca e da pós-graduação do INPE, pela cordialidade, disponibilidade e apoio.

Aos membros das Bancas Examinadoras, pela atenção, dedicação, sugestões e críticas, que certamente foram contribuições valiosas para a evolução desta tese.

Aos entrevistados neste processo de pesquisa, que cederam seu tempo em grandes debates, discussões e esclarecimentos. Agradeço a todos que, desta forma, ampliaram meu entendimento sobre estratégia e desenvolvimento tecnológico no setor aeroespacial. Gostaria de mencionar Dr. Vladimir Jesus Trava Airoldi, Dr. Evaldo José Corat, Dr. Mário Luiz Selingardi, Astron. Luciana Ribeiro Monteiro, Eng. Humberto Luiz de Rodrigues Pereira, Eng. José Ricardo Parizi Negrão, Eng. Marcos Antônio Viana Tavares, Eng. Marcos Antônio de Moraes Brito, Eng. Marcelo de Freitas Gonçalves, Eng. Lucas Peccin Mendes, Eng. Fernando Ferreira Fernandez, Eng. Fábio Santos da Silva, Eng. Paulo Anchieta da Silva.

A meus amigos e colegas da Embraer, pelos conhecimentos compartilhados, discussões sobre grandes projetos e apoio durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

A meus amigos e colegas do INPE, especialmente Rutilene Farto Pereira e Gabriel Torres de Jesus, pelas valiosas conversas, debates e sugestões.

Aos amigos Josiane de Araújo Francelino e Irineu dos Santos Yassuda, agradeço pelas valiosas discussões, ensinamentos, inspiração, incentivo, orientações e conselhos que me ajudaram a transpor barreiras e a não desanimar.

A meus amigos professores, Rubens Vinha Júnior, Renato Henrique Ferreira Branco e Anita Aléo, por sempre me estimularem a progredir.

Agradeço àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse trabalho fosse concluído, tornando esta caminhada mais amena.

RESUMO

Esta tese propõe um modelo estratégico dinâmico adaptativo, cognominado modelo EDA, que se baseia em capacidades dinâmicas e utiliza níveis de maturidade tecnológica (TRL) como elementos de tomada de decisão. A estratégia tecnológica, no setor aeroespacial, inclui tecnologias de várias gerações, que podem evoluir para soluções inovadoras na organização, no mercado e no mundo. Muitas estratégias de longo prazo ignoram a importância da flexibilidade e se baseiam em um horizonte de tempo específico no futuro. No setor aeroespacial, as expectativas crescentes sobre a demanda futura de novas tecnologias direcionam a estratégia tecnológica a partir de investimentos em P&D, a qual, usualmente, busca ampliar o retorno desses investimentos e agilizar as respostas organizacionais. O modelo proposto procura incorporar esta lógica de integração entre as estratégias tecnológica e organizacional. É apresentado em quatro estágios e, para ampliar a compreensão de sua dinâmica, são apresentados estudos de caso e um exemplo simulado. A análise qualitativa dos estudos de caso, baseada na metodologia *Design Science*, embasou a proposta do modelo EDA, que integra a estratégia tecnológica à estratégia organizacional. A tese avança nas especificidades da abordagem de capacidades dinâmicas, aplicada às organizações produtoras de sistemas complexos. O resultado, que amplia o conceito de capacidades dinâmicas em organizações de sistemas complexos, sugere que a estratégia tecnológica no setor aeroespacial abrange o *sensing* e o *seizing*, e destaca a importância de um acoplamento mais estreito entre o *seizing* e o *transforming*, em termos de comprometimento de recursos. Será argumentado que a maior integração entre o *sensing*, o *seizing* e o *transforming* e a diversificação de capacidades dinâmicas favorecem a exploração de oportunidades, melhorando o equilíbrio entre as estratégias de integração e proprietárias.

Palavras-chave: Estratégia tecnológica. Capacidades dinâmicas. Tomada de decisão. Complexidade. *Design Science*.

**FROM IDEAS IDENTIFICATION TO ORGANIZATIONAL
TRANSFORMATION: THE TECHNOLOGICAL INCORPORATION PROCESS
IN THE AEROSPACE INDUSTRY THROUGH THE ADAPTIVE DYNAMIC
STRATEGIC MODEL (EDA)**

ABSTRACT

This thesis proposes an adaptive dynamic strategic model known as the EDA model based on dynamic capabilities and uses technological maturity levels (TRL) as decision-making elements. The technological strategy in the aerospace sector includes technologies from several generations, which can evolve into innovative solutions in the organization, in the market, and the world. Many long-term strategies ignore the importance of flexibility and are based on a specific time horizon in the future. In the aerospace sector, growing expectations about the future demand for new technologies drive the technological strategy based on R&D investments, which usually seek to increase the return on these investments and streamline organizational responses. The proposed model seeks to incorporate this logic of integration between technological and organizational strategies. It is presented in four stages and, to broaden the understanding of its dynamics, case studies, and a simulated example are presented. The qualitative analysis of the case studies, based on the Design Science methodology, supported the proposal of the EDA model, which integrates technological strategy with organizational strategy. The thesis advances in the specifics of the dynamic capabilities approach applied to organizations that produce complex systems. The result, which expands the concept of dynamic capabilities in organizations with complex systems, suggests that the technology strategy in the aerospace sector encompasses sensing and seizing and highlights the importance of a closer coupling between seizing and transforming in terms of resource commitment. It will be argued that greater integration between sensing, seizing and transforming and the diversification of dynamic capabilities favor exploring opportunities, improving the balance between integration and proprietary strategies.

Keywords: Technological strategy. Dynamic capabilities. Decision making. Complexity. *Design Science*.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Figura 2.1 – Matriz de Impactos e Incertezas no Planejamento de Cenários. . | 27 |
| Figura 2.2 – Modelo DAPP..... | 31 |
| Figura 2.3 – Estrutura de inovação e gestão de projetos..... | 38 |
| Figura 2.4 – Mapa de escolha de capacidades dinâmicas..... | 44 |
| Figura 3.1 – Níveis de maturidade tecnológica (TRL)..... | 48 |
| Figura 3.2 – Cenário genérico de desenvolvimento tecnológico..... | 53 |
| Figura 3.3 – Grau de Dificuldade entre os Níveis de Maturidade de P&D (R&D3)..... | 54 |
| Figura 3.4 - Matriz Integrada de Risco (TRRA)..... | 57 |
| Figura 3.5 - Aplicação do TRRA a um programa de P&D..... | 57 |
| Figura 3.6 - Curva 'S' de desenvolvimento de tecnologias..... | 58 |
| Figura 3.7 – “Vale da Morte”..... | 60 |
| Figura 3.8 – Processos acoplados..... | 63 |
| Figura 4.1 – Metodologia de Pesquisa..... | 67 |
| Figura 4.2 – Cebola de Pesquisa para estudos do futuro..... | 77 |
| Figura 5.1 – Modelo Estratégico Dinâmico Adaptativo (EDA)..... | 83 |
| Figura 5.2 – Radar de tecnologias por TRL e relevância por setor..... | 86 |
| Figura 5.3 – Comparação entre o Artefato e o esquema de capacidades dinâmicas, modelos de negócios e estratégia de Teece..... | 88 |
| Figura 5.4 – Fluxo de informações para as tomadas de decisão..... | 90 |
| Figura 5.5 – Análise do Ambiente..... | 96 |
| Figura 5.6 – Pesquisa..... | 98 |
| Figura 5.7 – Desenvolvimento tecnológico..... | 99 |
| Figura 6.1 – FBW no estágio de Análise do Ambiente..... | 101 |
| Figura 6.2 – FBW no estágio de Pesquisa..... | 102 |
| Figura 6.3 – FBW no estágio de Desenvolvimento Tecnológico..... | 103 |
| Figura 6.4 – SHM no estágio de Análise do Ambiente..... | 106 |
| Figura 6.5 – SHM no estágio de Pesquisa..... | 107 |
| Figura 6.6 – SHM no estágio de Desenvolvimento Tecnológico..... | 108 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.7 – FSW no estágio de Análise do Ambiente. | 111 |
| Figura 6.8 – FSW no estágio de Pesquisa. | 112 |
| Figura 6.9 – FSW no estágio de Desenvolvimento Tecnológico. | 113 |
| Figura 6.10 – MUX e WFI no estágio de Análise do Ambiente..... | 118 |
| Figura 6.11 – MUX e WFI no estágio de Pesquisa..... | 119 |
| Figura 6.12 – MUX e WFI no estágio de Desenvolvimento Tecnológico..... | 120 |
| Figura 6.13 – Processo de aplicação do artefato (Visão geral). | 123 |
| Figura 6.14 – Análise do ambiente. | 123 |
| Figura 6.15 – Alinhamento <i>Technology-Push</i> e <i>Demand-Pull</i> na formação do portfólio de tecnologias. | 126 |
| Figura 6.16 – Alinhamento entre recomendações e demandas tecnológicas. | 126 |
| Figura 6.17 – Detalhamento das tecnologias recomendadas. | 127 |
| Figura 6.18 – Disponibilidade tecnológica para as demandas. | 129 |
| Figura 6.19 – Dificuldade entre os Níveis de Maturidade & Probabilidade de Sucesso em P&D (R&D ³). | 131 |
| Figura 6.20 – Valor da tecnologia para aplicação no sistema (TNV)..... | 132 |
| Figura 6.21 – Nível de maturidade tecnológica e avaliação de risco (TRRA). | 133 |
| Figura 6.22 – Classificação das tecnologias recomendadas conforme critérios da organização..... | 134 |
| Figura 6.23 – Consolidação cruzada de informações. | 134 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Tabela 2.1 – Definições de capacidades dinâmicas..... | 41 |
| Tabela 4.1 – Sistema de codificação e categorização de informações. | 75 |
| Tabela 7.1 – Consolidação das Diretrizes..... | 141 |
| Tabela A.1 – Estudos de Caso na Embraer. | 196 |
| Tabela A.2 – Estudos de Caso no INPE. | 202 |
| Tabela B.1 – Visão Geral: Organização e Projeto (Estudos de Caso). | 216 |
| Tabela B.2 – Estratégias de Longo Prazo..... | 216 |
| Tabela B.3 – Incertezas e Propriedades Emergentes..... | 217 |
| Tabela B.4 – Análise das Capacidades Dinâmicas. | 219 |
| Tabela B.5 – Planejamento Estratégico. | 220 |
| Tabela B.6 – Complexidade do Ambiente. | 220 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------|---|
| ANAC | Agência Nacional de Aviação Civil |
| CBERS | <i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i> (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) |
| CoPS | <i>Complex Products and Systems</i> (produtos e sistemas complexos) |
| CD | Capacidades dinâmicas (<i>dynamic capabilities</i>) |
| CNT | <i>Carbon Nanotube</i> (Nanotubo de Carbono) |
| CVM | <i>Comparative Vacuum Monitoring</i> |
| DAPP | <i>Dynamic Adaptive Policy Pathways</i> (Caminho de Política Dinâmica e Adaptativa) |
| DIMA | <i>Distributed Integrated Modular Avionics</i> (Aviônica Modular Integrada Distribuída) |
| DIMARE | Diamantes e Materiais Relacionados |
| DLC | <i>Diamond Like Carbon</i> (Carbono Tipo Diamante) |
| DMDU | <i>Decision Making and Deep Uncertainty</i> (Tomada de Decisão e Incerteza Profunda) |
| DS | <i>Design Science</i> |
| EDA | Estratégico Dinâmico e Adaptativo (Modelo) |
| FAA | <i>Federal Aviation Administration</i> |
| FBW | <i>Fly-by-wire</i> |
| FSW | <i>Friction Stir Welding</i> |
| GSS | <i>Generative Sensing e Seizing</i> |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IPS | <i>Ice Protection System</i> (Sistema de Proteção de Gelo) |
| LI | Lógica Intuitiva |
| LW | <i>Lamb Waves</i> |
| MUX | <i>Multispectral Camera</i> (Câmera de resolução média) |
| ND | <i>Near Decomposability</i> |
| NIE | <i>Newly Industrialized Economies</i> (Novas Economias Industrializadas) |
| NPD | <i>New Product Development</i> (Desenvolvimento de Novos Produtos) |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| POC | <i>Proof of Concept</i> (prova de conceito) |
| PST | <i>Potential Surprise Theory</i> (Teoria da Surpresa Potencial) |

| | |
|------------------|--|
| R&D ³ | <i>Research and Development Degree of Difficulty</i> (Grau de Dificuldade em Pesquisa e Desenvolvimento) |
| SHM | <i>Structural Health Monitoring</i> (Monitoramento da integridade estrutural) |
| SPO | <i>Single Pilot Operations</i> |
| STD | <i>Speed for Strategic Decisions</i> |
| TNV | <i>Technology Need Value</i> |
| TRL | <i>Technology Readiness Level</i> |
| TRRA | <i>Technology Readiness and Risk Assessment</i> |
| VBR | Visão Baseada em Recursos (<i>Resource Based View – RBV</i>) |
| WFI | <i>Wide Field Imager camera</i> |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 Considerações gerais | 1 |
| 1.2 Motivação | 2 |
| 1.3 Problema | 5 |
| 1.4 Objetivo..... | 6 |
| 1.5 Contribuições da pesquisa..... | 7 |
| 1.6 Estrutura da tese | 7 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA – PARTE I..... | 9 |
| 2.1 Complexidade e tomada de decisão sob risco e incerteza | 9 |
| 2.1.1 Racionalidade limitada | 10 |
| 2.1.2 Near decomposability..... | 12 |
| 2.1.3 Heurísticas e vieses..... | 14 |
| 2.1.4 Risco e incerteza..... | 15 |
| 2.1.4.1 Risco e incerteza segundo Knight | 16 |
| 2.1.4.2 Risco e incerteza segundo Keynes | 17 |
| 2.2 Respostas organizacionais em condições de incerteza profunda | 20 |
| 2.2.1 Incerteza profunda | 20 |
| 2.2.2 Escaneamento e monitoramento do ambiente..... | 24 |
| 2.2.3 Planejamento de cenários..... | 25 |
| 2.2.4 Modelo de desenvolvimento dinâmico e adaptativo..... | 29 |
| 2.3 Gestão de projetos associados a diferentes tipos de inovação | 33 |
| 2.3.1 Inovação tecnológica e mudança organizacional..... | 33 |
| 2.3.2 Ambidestria organizacional | 35 |
| 2.3.3 Projetos de inovação e gestão de projetos (Modelo Diamante)..... | 36 |
| 2.4 Visão baseada em recursos e evolução para capacidades dinâmicas | 39 |
| 2.4.1 Visão Baseada em Recursos (VBR) | 39 |
| 2.4.2 Capacidades dinâmicas | 40 |
| 2.4.3 Mapa de capacidades dinâmicas | 42 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA – PARTE II..... | 47 |

| | |
|--|-----|
| 3.1 Níveis de maturidade tecnológica..... | 47 |
| 3.1.1 Custos associados aos níveis de maturidade tecnológica | 50 |
| 3.1.2 Riscos associados aos níveis de maturidade tecnológica | 51 |
| 3.2 Vale da morte | 59 |
| 3.3 Tecnologias críticas | 60 |
| 3.4 Processos acoplados..... | 61 |
| 3.5 Tema central da pesquisa e lacunas | 65 |
| 4 METODOLOGIA DE PESQUISA..... | 67 |
| 4.1 Estudo de casos múltiplos | 67 |
| 4.2 Formas de raciocínio lógico | 71 |
| 4.3 <i>Design Science</i> (DS)..... | 72 |
| 4.4 Processo de pesquisa..... | 73 |
| 4.5 Análise de dados | 74 |
| 4.6 “Cebola” de pesquisa para estudos do futuro | 76 |
| 5 MODELO ESTRATÉGICO DINÂMICO ADAPTATIVO (EDA) | 83 |
| 5.1 Visão geral do artefato..... | 83 |
| 5.2 Construção do artefato | 92 |
| 5.2.1 Falta de integração entre as áreas nas tomadas de decisão e definição isolada dos critérios de seleção de tecnologias | 93 |
| 5.2.2 Investimentos intermitentes na fase de pesquisa (TRL 1-2-3) | 94 |
| 5.2.3 Gerenciamento de projetos muito similar nas fases de pesquisa e desenvolvimento tecnológico | 95 |
| 5.3 Detalhamento da estrutura do artefato | 95 |
| 5.3.1 Análise do ambiente..... | 95 |
| 5.3.2 Pesquisa | 97 |
| 5.3.3 Desenvolvimento..... | 98 |
| 6 ESTUDOS DE CASOS E SIMULAÇÃO..... | 100 |
| 6.1 Estudos de casos | 100 |
| 6.1.1 Embraer | 100 |
| 6.1.1.1 Fly by Wire (FBW) | 100 |
| 6.1.1.2 Structural Health Monitoring (SHM)..... | 105 |
| 6.1.1.3 Friction Stir Welding (FSW) | 110 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 6.1.1.4 | Análise – estudos de caso da Embraer | 115 |
| 6.1.2 | INPE..... | 116 |
| 6.1.2.1 | Wide Field Imager (WFI) e Câmera Mux | 116 |
| 6.1.2.2 | Análise – estudos de caso do INPE | 121 |
| 6.1.3 | Análise dos casos Embraer e INPE | 122 |
| 6.2 | Aplicação do artefato – simulação | 123 |
| 6.3 | Avaliação do Artefato..... | 135 |
| 7 | CONCLUSÕES..... | 137 |
| 7.1 | Conclusões e contribuições | 137 |
| 7.2 | Comunicação da pesquisa..... | 139 |
| 7.3 | Consolidação das diretrizes DS | 141 |
| 7.4 | Limitações da pesquisa e sugestões de pesquisas futuras | 142 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 145 |
| | APÊNDICE A – ESTUDOS DE CASOS..... | 195 |
| | APÊNDICE B – ROTEIRO DA ENTREVISTA..... | 215 |

1 INTRODUÇÃO

A tese, em seu conteúdo analítico, objetiva o estudo da estratégia tecnológica de organizações no setor aeroespacial, fazendo uso de um modelo baseado na abordagem de capacidades dinâmicas e nos níveis de maturidade tecnológica.

As capacidades dinâmicas podem ser classificadas em três categorias, chamadas por Teece (2007, 2014) de microfundações:

- *Sensing*: capacidade de detectar e moldar as oportunidades;
- *Seizing*: capacidade de aproveitar as oportunidades; e
- *Transforming*: capacidade de manter a competitividade através da melhoria, combinação, proteção e adequação dos recursos.

Em sua parte sintética, o presente trabalho desenvolve e apresenta modelo que objetiva mostrar que o aprimoramento das capacidades de captura (*sensing*) e aproveitamento (*seizing*) de oportunidades, tem efeito positivo sobre a gestão dos investimentos em P&D, a gestão da inovação e a tomada de decisão em condições de incerteza.

1.1 Considerações gerais

A disciplina de gestão estratégica aplicada a organizações encontra-se assentada em uma visão dinâmica das organizações, que pressupõe que estas se adaptem ao seu ambiente, para garantir sua sobrevivência e sucesso econômico no longo prazo. A proficiência de uma organização em perceber suas principais oportunidades estratégicas e em organizá-las de forma eficaz está assentada em suas capacidades dinâmicas. Organizações com a habilidade de gerar oportunidades (*generative sensing*) criam e testam hipóteses sobre os eventos observados, em um processo recursivo. A lógica de seleção de propostas de novos desenvolvimentos tecnológicos tem sido alvo de intenso escrutínio (RAUEN; TURCHI, 2017), destacando-se o estudo da aplicação do raciocínio abduutivo ao referido processo seletivo. A influência da abdução na geração de oportunidades, será abordada, também, na presente tese (DONG; GARBUIO; LOVALLO, 2016).

Organizações respondem a mudanças no ambiente desenvolvendo capacidades (*dynamic capabilities*) para continuamente agregar novos produtos, modificar processos ou desenvolver novos mercados, de modo a garantir sua competitividade no longo prazo.

1.2 Motivação

Esta tese foca o estudo da estratégia tecnológica de organizações aeroespaciais em ambientes caracterizados períodos longos de mudança lenta e incremental e períodos curtos de mudança descontínua ou radical. Tal dinâmica contempla a adaptação gradativa em tempos de mudança incremental e a adaptação abrupta ou radical em tempos de mudanças descontínuas, como forma de assegurar sustentabilidade e sucesso econômico (ambidestria) (LEVINTHAL, 1992, 1996; TEECE; PISANO; SHUEN, 1997; EISENHARDT; MARTIN, 2000; HELFAT; PETERAF, 2003; ROHRBECK, 2010a; DRUCKER, 2011). Assim, além da capacidade de gerenciar a contínua adaptação às mudanças incrementais, as organizações precisam ter a capacidade de detectar antecipadamente as discontinuidades, gerenciando as mudanças radicais através da estratégia organizacional, da gestão da inovação e de mudanças internas (TUSHMAN; VIRANY; ROMANELLI, 1985; TUSHMAN; NEWMAN; ROMANELLI, 1986; ROHRBECK, 2010a; ANDRIOPOULOS; LEWIS, 2009, 2010; O'REILLY III; TUSHMAN, 2011; LEWIS; ANDRIOPOULOS; SMITH, 2014; UOTILA, 2018a).

Mudanças descontínuas no ambiente externo requerem adaptação interna, em um ambiente caracterizado por variáveis não lineares em relação à trajetória de inovação da organização (CHRISTENSEN; BOWER, 1996; TUSHMAN; SMITH, 2002; TUSHMAN et al., 2010; ROHRBECK, 2010).

O ambiente organizacional explorado nesta pesquisa é aquele de organizações desenvolvedoras de produtos e sistemas de grande complexidade e alta tecnologia, que precisam desenvolver novos produtos e serviços para manter-se no mercado. O ambiente aqui considerado, assim, difere do ambiente de produção em massa, comportando, portanto, modelos de inovação diferentes (HOBDAY, 1998, 2000). O modelo focado exige uma abordagem que permita a compreensão dos caminhos

evolutivos da organização, modelados por meio de capacidades dinâmicas (TEECE; PISANO, 1994; TEECE; PISANO; SHUEN, 1997). Esses dois modelos de inovação, de produção em massa e de sistemas complexos, fundamentam muitas teorias sobre mudanças técnicas e influenciam diferentes abordagens de administração (CHAGAS JR.; CABRAL, 2010).

A mortalidade de grandes organizações pode ser explicada por sua deficiência em identificar, preparar-se e responder a mudanças descontínuas (BROWN; EINSENHARDT, 1997; WINTER, 2004; ROHRBECK, 2010a, 2014; DRUCKER, 2011; ROHRBECK; SCHWARZ, 2013; SCHWARZ; ROHRBECK; WACH, 2019). A capacidade de detectar, interpretar e responder a mudanças descontínuas é denominada de estratégia organizacional (ROHRBECK, 2010a).

Esta pesquisa busca estudar mecanismos de aprimoramento da captura (*sensing*) e do aproveitamento de oportunidades (*seizing*) em organizações aeroespaciais, em resposta a mudanças descontínuas e situações de incerteza, por meio de prospecção estratégica (*corporate foresight*) (ROHRBECK, 2010a) e adequação das capacidades dinâmicas da organização (*mudanças internas*).

Em essência, a presente pesquisa dedica-se a estudar como organizações do setor aeroespacial respondem a mudanças no ambiente, desenvolvendo capacidades para continuamente agregar novos produtos, modificar processos técnicos e organizacionais e desenvolver novos mercados, de modo a garantir sua competitividade no longo prazo. De forma mais específica, a pesquisa dedica-se ao estudo de como se dá a incorporação de novos produtos e processos técnicos ao portfólio de organizações, ou seja, dedica-se a estudar como se dá a incorporação tecnológica na indústria aeroespacial.

Segundo Rohrbeck, há três grupos principais de dificuldades para as organizações se adaptarem a mudanças no ambiente (ROHRBECK, 2010a): (1) altas taxas de mudança, (2) ignorância de contexto e (3) inércia organizacional.

O primeiro grupo relaciona-se ao fato de que a taxa de mudança do ambiente (*clockspeed*) vem se acelerando e pesquisas mostram que a organização que opera em ambiente de alta volatilidade deve ser capaz de se antecipar às mudanças, sob pena de extinção (FINE, 1998; ROHRBECK, 2010a). Segundo Rohrbeck (2010a), a aceleração das mudanças está relacionada ao aumento das dinâmicas de inovação e tecnológicas, e redução do ciclo de vida do produto.

No segundo grupo, ignorância de contexto, as organizações normalmente não percebem as mudanças em função da (1) restrição do prazo, fator associa os ciclos de planejamento estratégico ao ciclo do ano fiscal, de curto prazo (ANSOFF, 1980; KIM; FALLOV; GROOM, 2020); (2) dificuldade na detecção de sinais fracos, pela restrição da busca de informações em áreas específicas, deixando informações relevantes fora do alcance corporativo (ANSOFF, 1975; HILTUNEN, 2011; ROSSEL, 2012; AHLQVIST; UOTILA, 2020); (3) excesso de informações, que pode impactar a capacidade de avaliação do problema (EPPLER; PLATTS, 2009; LETSHOLO; PRETORIUS, 2016); (4) disseminação inadequada de informações, comprometendo as tomadas de decisão (SILVA; SOUSA, 2018; KOISTINEN; UPHAM; BÖGEL, 2019) e (5) filtragem inadequada de informações, fator que pode visar interesses específicos dos tomadores de decisão que buscam proteger suas próprias unidades de negócios (ROHRBECK, 2010a).

No terceiro grupo, inércia, ao perceber mudanças no ambiente com potencial impacto, a organização precisa analisar, definir, planejar e implementar ações. Os principais fatores de inércia organizacional são (ROHRBECK, 2010): (1) complexidade das estruturas internas, que retratam a complexidade do ambiente organizacional e dos portfólios de produtos e tecnologias (CHANDLER, 1962; CHRISTENSEN; OVERDORF, 2000; GODET; MONTI; ROUBELAT, 2004; CHOI; KRAUSE, 2006; WIENGARTEN et al., 2017; KUHL; KRAUSE, 2019); (2) complexidade das estruturas externas, que refletem complexas estruturas (redes) de suprimentos, pesquisa e desenvolvimento (PERONA; MIRAGLIOTTA, 2004; CIGOLINI; COZZI; PERONA, 2004; KINRA; KOTZAB, 2008;

GUNASEKARAN; LAI; CHENG, 2008; MARCHI; ERDMANN; RODRIGUEZ, 2014); (3) estrutura de proteção, que constitui uma forma de proteção dos negócios que pode apresentar desvantagens por impedir a inovação e novos negócios (SCHUMPETER, 1934; CHANDY; TELLIS, 1998; NIJSSEN; HILLEBRAND; VERMEULEN, 2005; ROHRBECK, 2010a, 2010b; BUCHERER; EISERT; GASSMANN, 2012; SAVIČ; OGRAJENŠEK; BUHOVAC, 2016); (4) capacidade tecnológica, que algumas vezes leva a organização à inércia cognitiva, inibindo as percepções de avanços tecnológicos externos (CHANDY; TELLIS, 1998; ROHRBECK, 2010a).

As respostas organizacionais às mudanças dependem da superação destas e outras barreiras. Pode-se destacar a importância de um desenvolvimento estratégico mais eficaz (IRELAND et al., 2001; KAPLAN; NORTON, 2006; SELIG; STETTINA; BALTES, 2016) e a capacidade da tomada de decisão em condições de incerteza (KEYNES, 1936, 1937; SIMON, 1957a, 1957b; PEIRCE, 1974; SIMON, 1980, 1986; KEYNES, 2004; PENROSE, 2006; KREGEL; NASICA, 2011; MARCHAU et al., 2019; LEMPERT et al., 2020).

Esta tese se baseia na hipótese de que as organizações de sistemas complexos, ancoradas em capacidades dinâmicas, podem melhorar suas respostas (*transforming*) com um acoplamento mais estreito entre o *sensing* e o *seizing* na definição da estratégia tecnológica da organização. Conforme interpretação nesta pesquisa, com justificativa a ser apresentada no Capítulo 5 “Modelo Estratégico Dinâmico Adaptativo (EDA)”, os fatores *ignorância de contexto* e *inércia organizacional* podem, em princípio, ser superados através de um acoplamento mais estreito entre capacidades dinâmicas pertencentes às categorias de *sensing* e *seizing*.

1.3 Problema

As pesquisas relacionadas às dinâmicas estratégias de organizações de sistemas complexos reforçam a importância do tema explorado nesta tese (Diretriz 2 da metodologia DS). As consequências enfrentadas pelas organizações de sistemas complexos quando despreparadas ou lentas para responderem a mudanças podem ser críticas, requerendo ações estratégicas preventivas, como a introdução e aprimoramento de

mecanismos de prospecção de ambiente, de gerenciamento de mudanças e de tomada de decisão.

A pesquisa abrange a estratégia tecnológica e a gestão da inovação em organização de sistemas complexos, relacionando aquisição de tecnologias, investimentos em P&D e capacidades relevantes para a transformação organizacional (ROSENBERG, 1976, HOBDAI, 1998; ROSENBERG, 2006; CHESBROUGH, 2003a; CHESBROUGH, 2011; CHAGAS JUNIOR; CABRAL; CAMPANARIO, 2011; DAVIES; HOBDAI, 2011; CHAGAS JUNIOR; CAMPANARIO, 2014; STAL; NOHARA; CHAGAS JUNIOR, 2014).

Os pesquisadores buscam modelos gerenciais para a identificação de tecnologias que podem gerar benefícios futuros para a organização (PORTER et al., 2004; GORDON et al., 2020), como a inteligência tecnológica, metodologias prospectivas e *roadmaps* tecnológicos (HINES, 2002; PHAAL, FARRUKH; PROBERT, 2004, 2009; YOON et al., 2019; HINES, 2020). A pesquisa também relaciona a especificidade da estratégia tecnológica às capacidades dinâmicas e seus impactos na vantagem competitiva das organizações (TEECE; PISANO, 1994; TEECE; PISANO; SHUEN, 1997).

1.4 Objetivo

Esta tese objetiva a proposição de um modelo baseado em capacidades dinâmicas, que busca aprimorar a captura e o aproveitamento de oportunidades para organizações provedoras de sistemas complexos, expostas a mudanças descontínuas. O modelo utiliza o Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) como parâmetro de tomada de decisão.

O modelo proposto, que faz uso de capacidades dinâmicas pertencentes às categorias de *sensing* e *seizing* para compor a estratégia tecnológica, constitui uma extensão do modelo de Teece (2018) para as organizações que têm como produto sistemas complexos. Procurar-se-á mostrar que o maior acoplamento entre as capacidades dinâmicas das categorias de *sensing* e *seizing* no desenvolvimento da estratégia tecnológica promove maior eficácia na aplicação de tecnologias selecionadas no

desenvolvimento de novos produtos (*transforming*), em resposta às mudanças ambientais.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Avaliar os impactos do modelo proposto nas tomadas de decisão, por meio de uma simulação;
- Revisar uma literatura extensa, como base para o desenvolvimento do modelo.

1.5 Contribuições da pesquisa

As pesquisas desenvolvidas nesta tese objetivam contribuições teóricas e práticas, para aprimorar a gestão estratégica em organizações de sistemas complexos.

Do ponto de vista teórico, propõe-se ampliar o conceito de capacidades dinâmicas, destacando-se a importância de um acoplamento entre as capacidades dinâmicas das categorias de *sensing* e *seizing*, como forma de promover maior eficácia à captura e o aproveitamento de oportunidades. Quanto à contribuição prática, busca-se mostrar, através de um modelo teórico com comprovação experimental, a importância do aumento da flexibilidade estratégica para melhorar as respostas organizacionais às mudanças e incertezas do ambiente (contribuição prática).

1.6 Estrutura da tese

Esta tese está estruturada em sete capítulos.

O primeiro capítulo, 'Introdução', detalha a motivação da tese, problema, objetivos e as principais contribuições esperadas para a pesquisa.

O segundo capítulo, 'Revisão de Literatura – Parte I' explora temas relacionados às áreas de Administração, Economia e Economia Comportamental, e trata as tomadas de decisão de organizações de sistemas complexos sob incerteza. O capítulo aborda a forma como a ampla variedade de incertezas pode influenciar o desenvolvimento de uma estratégia tecnológica mais dinâmica e adaptativa, antecipando e corrigindo ações que possam melhorar a captura de oportunidades. A

abordagem explora a influência de fatores como o equilíbrio entre diferentes tipos de inovação, e uma conexão mais forte entre ações de curto prazo às opções do futuro, para melhorar a eficácia da estratégia tecnológica com respostas organizacionais mais ágeis.

O terceiro capítulo, 'Revisão de Literatura – Parte II' aborda os Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL) como referência para tomadas de decisão em relação aos investimentos em P&D, seleção das tecnologias e análise dos riscos e incertezas dos desenvolvimentos. A tratativa busca minimizar os riscos de projetos mais inovadores não evoluírem até a maturidade de aplicação, suavizando a transposição do 'Vale da Morte'.

O quarto capítulo apresenta a 'Metodologia de Pesquisa', que se baseia em estudos de casos múltiplos e *Design Science*. O capítulo detalha o processo de pesquisa e a análise de dados qualitativos.

O quinto capítulo 'Modelo Estratégico Dinâmico Adaptativo (EDA)', explora as principais dimensões e elementos do modelo proposto.

O sexto capítulo detalha os estudos de caso priorizados, relacionando-os ao modelo, e inclui uma simulação da seleção das tecnologias, que podem impactar os resultados econômicos da organização.

O sétimo capítulo apresenta as 'Conclusões', destacando as contribuições práticas e teóricas da tese, as limitações da pesquisa e as sugestões para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DE LITERATURA – PARTE I

2.1 Complexidade e tomada de decisão sob risco e incerteza

Este capítulo explora os conceitos de complexidade, risco e incerteza, e os potenciais impactos destes fatores na tomada de decisão.

O conceito de complexidade pode ser usado no desenvolvimento de estratégias robustas em um ambiente de rápida evolução. As técnicas de modelagem desenvolvidas para sistemas complexos e adaptativos estão sendo aplicadas às organizações, incluindo previsões de demanda de mercado, evolução da organização e desenvolvimento de estratégias (LYONS et al., 2003).

A melhoria da gestão estratégica está diretamente relacionada à compreensão da forma como as decisões são tomadas. Nos últimos anos, as pesquisas mostraram que a tomada de decisão não é resultado de processos lineares, mas do processamento de informações de grande elaboração, em diferentes níveis da organização (ROHRBECK, 2010).

Um ambiente de relações elaboradas, dinâmico e imprevisível, exige que a organização seja mais flexível e inovadora (BIEDENBACH; SÖDERHOLM, 2008; FARNESE; FIDA; LIVI, 2016) em relação às mudanças tecnológicas e de mercado. A organização, neste ambiente, combina a sustentabilidade de longo prazo com a flexibilidade contínua, desenvolvendo capacidades dinâmicas mais fortes (BIEDENBACH; SÖDERHOLM, 2008). As descontinuidades estratégicas obrigam as organizações a se adaptarem às mudanças e demandas tanto tecnológicas quanto de mercado (EISENHARDT; MARTIN, 2000; TEECE, 2007; FARNESE; FIDA; LIVI, 2016).

A flexibilidade melhora a capacidade da organização lidar com ambientes imprevisíveis, explorando novas soluções e testando empiricamente uma realidade em evolução (MINTZBERG; WATERS, 1985; VOLBERDA, 1997; VOLBERDA; RUTGES, 1999). A flexibilidade aumenta a adaptabilidade da organização, favorecendo o acesso às opções e às tomadas de decisão (FARNESE; FIDA; LIVI, 2016).

Os argumentos teóricos avançaram, sugerindo que o ambiente é determinante na adequação dos processos de tomada de decisão. Os ambientes mais estáveis permitem a adoção de processos racionais e abrangentes, enquanto ambientes dinâmicos estimulam outras abordagens, considerando-se que os dados não estão disponíveis, os relacionamentos não são óbvios e o futuro é muitas vezes imprevisível (FREDRICKSON; MITCHELL, 1984; FREDRICKSON, 1984; FREDRICKSON; IAQUINTO, 1989).

Muitas pesquisas exploraram a relação do ambiente organizacional com as características do processo de tomada de decisão e seus impactos nos resultados do processo (FREDRICKSON; MITCHELL, 1984; FREDRICKSON, 1984, 1985; RAJAGOPALAN; RASHEED; DATTA, 1993).

2.1.1 Racionalidade limitada

Alguns fatores que podem levar a tomada de decisão à falha são: (1) a racionalidade limitada, (2) a tendência em considerar apenas variáveis externas, (3) o conflito entre a informação e o conhecimento e (4) os modelos mentais. Dentre esses fatores, a racionalidade limitada é uma das principais fontes de falha na tomada de decisão (CHERMACK, 2004a; CHERMACK; NIMON, 2008).

Antes da tese de Simon, em 1947, a ideia dominante era da racionalidade global, que postula regras sobre como os indivíduos fazem escolhas (CRISTOFARO, 2017). Ao longo da evolução de suas pesquisas, Simon introduziu o termo racionalidade limitada (SIMON, 1957a) em sua manifestação contra a economia neoclássica e busca pela substituição da racionalidade perfeita do *homo economicus* (CAMPITELLI; GOBET, 2010; CRISTOFARO, 2017) por uma racionalidade adaptada a agentes cognitivamente limitados (SIMON, 1955; DEQUECH, 2001; BARROS, 2010; WHEELER, 2019).

A racionalidade limitada é definida como:

The capacity of the human mind for formulating and solving complex problems is very small compared with the size of the

problems whose solution is required for objectively rational behavior in the real world – or even for a reasonable approximation to such objective rationality (SIMON, 1957a, p.198).

O conceito teve sua origem na ciência política (SIMON, 1996b, 1999a) e passou a se referir a uma ampla gama de relatos descritivos, normativos e prescritivos de comportamento que se afastam dos pressupostos da racionalidade perfeita (JONES, 1999, 2003; BARROS, 2010; WHEELER, 2019). A expressão denota as habilidades mentais a que as pessoas recorrem quando o ambiente em que operam é muito complexo (DEQUECH, 2001). A teoria da racionalidade global (SIMON, 1955) se baseia em uma descrição objetiva do ambiente de decisão, restrições externas, em que o agente é representado por suas preferências (BARROS, 2010). Simon destaca a importância da inclusão de outras características do agente, como o seu conhecimento e suas capacidades cognitivas, restrições internas (BARROS, 2010).

Frente à complexidade do ambiente e à limitação do sistema cognitivo (SIMON, 1957a; MARCH; SIMON, 1958), os indivíduos não têm capacidade suficiente para encontrar uma solução ótima (SIMON, 1957b, 1996a, GIGERENZER, 2008) ou um critério de decisão mais específico (SIMON, 1957b; MARCH; SIMON, 1958; SIMON, 1983, 1986; MORECROFT, 1983, 1985; WHEELER, 2019). Trata-se de uma estratégia não otimizada, que busca soluções suficientemente boas (DEQUECH, 2001).

Os resultados das pesquisas relacionadas às tomadas de decisão indicavam a necessidade de estudos empíricos, realizados por meio de um conjunto de experimentos em laboratório, observação de agentes no processo de tomada de decisão e simulação computacional de modelos concebidos com base nestes experimentos (SIMON, 1955, 1956). Simon propôs uma série de simplificações, que tornariam o processo de tomada de decisão mais acessível ao agente, como o *satisficing* (BARROS, 2010; WHEELER, 2019). O foco do estudo está nas formas de simplificação do

problema, para colocá-lo ao alcance da computação humana (BARROS, 2010).

Satisficing é uma estratégia que considera as opções disponíveis para se encontrar um resultado aceitável (WHEELER, 2019). Estas opções variam de acordo com o nível de conhecimento do indivíduo, as características do ambiente, os atributos da tarefa e as informações obtidas, que podem ser incompletas (BARROS, 2010; CAMPITELLI; GOBET, 2010). Os indivíduos têm o critério de adequação para decidir se uma alternativa é satisfatória, mas não conseguem avaliar todas as opções disponíveis (SIMON, 1955, 1956, 1957a, 1996a). O tomador de decisão, ao invés de tentar maximizar os valores em determinada escolha, busca o *satisficing*, que representa as alternativas que sejam boas o suficiente conforme critérios de aceitabilidade estabelecidos. Uma alternativa satisfatória não é a única nem a melhor. A hipótese *satisficing* é acompanhada por processos de busca de alternativas e novas informações (BARROS, 2010).

Ao detalhar os requisitos gerais de um indivíduo que opera sob a racionalidade limitada, observa-se alguns fatores que separam a onisciência da racionalidade (SIMON, 1957b), como (1) incompletude da informação, (2) a dificuldade em antecipar as consequências de ações futuras e (3) o conhecimento escasso de todos os comportamentos humanos possíveis (SIMON, 1955, 1957b, 1995; MELO, FUCIDJI, 2016).

2.1.2 Near decomposability

As teorias econômicas argumentam que diversos conflitos, muitas vezes ignorados, podem ser convertidos em ganhos econômicos (AUGIER; SARASVATHY, 2016). De acordo com Simon, as necessidades humanas mudam ao longo do tempo, como consequência da dinâmica do ambiente de tomada de decisão (SIMON, 1993), que exige a atualização contínua (MARCH, 1971), diante da incerteza e da racionalidade limitada (MARCH, 1995).

Embora a natureza emergente das preferências seja desejável para a estratégia organizacional, é importante que ela seja equilibrada com

elementos de rigidez, chamados rotinas. Isso é elaborado na discussão sobre o equilíbrio entre a exploração e a exploração (MARCH, 1991; LEVINTHAL; MARCH, 1993), que constitui um grande desafio da gestão estratégica, por envolver os aspectos humanos da tomada de decisão (MARCH, 1994).

Em um mundo de muitos desafios, as estruturas organizacionais que sobrevivem ao longo do tempo contêm um importante recurso chamado *near decomposability* (AUGIER; SARASVATHY, 2016). *Near decomposability* é um recurso arquitetônico que permite maior adequação aos organismos individuais e à aceleração da taxa na qual a adequação dos organismos aumenta ao longo do tempo (SIMON, 1999b). Isso se torna mais evidente em organizações formais, onde a hierarquia conecta cada membro da organização (SIMON, 1962).

Simon argumenta que todos os sistemas complexos, que se estendem aos sistemas sociais e hierarquias organizacionais, possuem uma arquitetura *near decomposability*, por serem organizados em camadas, nas quais as interações entre elementos pertencentes às mesmas camadas são muito mais intensas do que as interações entre elementos pertencentes a camadas diferentes (SIMON, 1962, 1996a, 1999b; EGIDI; MARENCO, 2002, 2004). As interações entre os subsistemas são mais fracas, mas não desprezíveis (SIMON, 1962).

Os níveis hierárquicos representam o comportamento dinâmico do sistema. Em um nível mais baixo, os valores podem determinar o comportamento do sistema em curto prazo, da mesma forma que os níveis mais altos determinam o comportamento dinâmico do sistema de longo prazo. Em função das interações, se o sistema for perturbado, os subsistemas chegarão à estabilidade interna antes do sistema, comprovando o impacto da *near decomposability* no comportamento do sistema e subsistemas (SIMON, 2000).

A *near decomposability* não é sinônimo de modularidade, que sugere um processo de decomposição completa, na qual o todo representa uma agregação das partes. A *near decomposability* preserva a identidade geral

de um organismo, ao mesmo tempo em que colhe os benefícios da modularidade (AUGIER; SARASVATHY, 2016).

2.1.3 Heurísticas e vieses

Em função da complexidade do ambiente e das limitações cognitivas, os indivíduos, incapazes de maximizar decisões, buscam escolhas satisfatórias (SIMON, 1957b). Estes conceitos relacionados à simplificação da tomada de decisão, referidos por heurísticas, estimularam muitos trabalhos teóricos e empíricos nos últimos anos (SBICCA, 2014). Em ambiente instável, o conceito de maximização não é o mais adequado, exigindo um mecanismo de adaptação e uso de heurísticas como guias dos indivíduos na busca de uma solução satisfatória (SIMON, 1959).

Pesquisas relacionadas aos aspectos cognitivos e comportamentais também têm sido incorporadas à economia (SIMON, 1959, 1979, 1980, 1985; TVERSKY; KAHNEMAN, 1974), presumindo que o comportamento humano inclui alto poder de raciocínio com pouca deliberação. De acordo com Kahneman (2012), existem dois processos cognitivos que formam o pensamento: intuição, chamado de sistema 1, e deliberação, sistema 2.

Tomadas de decisão usualmente se baseiam em avaliações de plausibilidade, que dependem da disponibilidade de informações e da capacidade individual do tomador de decisão, cuja limitação reflete os princípios heurísticos utilizados na avaliação das probabilidades. Nem sempre o tomador de decisão se mantém racional em um ambiente de incertezas. Neste contexto, as heurísticas e vieses são fatores que podem influenciar este comportamento (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974; KAHNEMAN, 2002; BAZERMAN; MOORE, 2013), em função da racionalidade limitada (SIMON, 1955).

As heurísticas e vieses que afetam o comportamento do tomador de decisão, em ambientes que envolvem a incerteza são: heurística da representatividade, da disponibilidade e da ancoragem (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974; TVERSKY; KAHNEMAN, 1983; BUSENITZ; BARNEY, 1997). A heurística da representatividade (*representativeness heuristic*) se caracteriza pela tendência a um julgamento de natureza probabilística que

se baseia em um conjunto limitado de informações. Esta heurística envolve uma estratégia básica de julgamento e tomada de decisão, na qual os julgamentos normalmente são influenciados pelo que é mais típico (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974). A heurística da disponibilidade (*availability heuristic*) é um fenômeno no qual o indivíduo pode avaliar a frequência de ocorrência de um evento com base na facilidade com que consegue se lembrar do evento. Representa a maior influência nas tomadas de decisão, de eventos mais fáceis de serem lembrados. (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974). A heurística da ancoragem (*anchoring heuristic*) se baseia em uma referência, âncora, para a tomada de decisão (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974).

Desta maneira, Tversky e Kahneman explicaram os vieses por meio das heurísticas utilizadas pelo tomador de decisão (TVERSKY; KAHNEMAN, 1983; BUSENITZ; BARNEY, 1997). Heurísticas também podem ser definidas como estratégias que resolvem problemas que a lógica e a teoria da probabilidade não podem resolver (ARTINGER et al., 2015).

2.1.4 Risco e incerteza

Esta seção explora o papel do risco e da incerteza na formação de expectativas, singularidades teóricas e impactos na tomada de decisão relacionada ao desenvolvimento estratégico no setor aeroespacial. Será destacada a relação do ambiente com o desempenho das organizações aeroespaciais por meio da análise de tomadas de decisão em condições de riscos e incertezas.

De acordo com a teoria clássica, risco é definido como a probabilidade de ocorrência de desvio na consecução de um objetivo, podendo impactar a continuação de um sistema. A relação entre incerteza e risco tem importância teórica e prática, especialmente em relação às tomadas de decisão. Os eventos que influenciam a tomada de decisão da organização, em diferentes níveis de incerteza ou risco, podem afetar os resultados dos sistemas. Por isso, é necessário reconhecer esta diferença, para melhor adequação da tomada de decisão (TOMA; CHIRIȚĂ; ȘARPE, 2013).

A teoria da decisão faz a distinção entre o risco, onde as probabilidades associadas aos possíveis resultados são assumidas como conhecidas, e incertezas, onde essas probabilidades são desconhecidas (TVERSKY; FOX, 1995).

Importantes interpretações da diferenciação conceitual entre risco e incerteza (KNIGHT, 2006; KEYNES, 1936, 1937, 2004; SHACKLE, 1942, 1949, 1952, 1953, 1959, 1983) superam as visões limitadas que reduzem incerteza ao risco probabilístico, em que situações manifestamente incertas são expressas em termos de certeza ou equivalentes da certeza (ANDRADE, 2011).

2.1.4.1 Risco e incerteza segundo Knight

Em uma de suas obras mais importantes, *Risk, Uncertainty, and Profit*, Knight estabeleceu, pioneiramente, uma distinção conceitual entre risco e incerteza (KNIGHT, 2006) que, provavelmente, é a mais citada na literatura (ANDRADE, 2011).

Knight estabelece esta distinção (ANDRADE, 2011; BROOKE, 2010; DERBYSHIRE, 2017), na passagem em que declara: “*Uncertainty must be taken in a sense radically distinct from the familiar notion of Risk, from which it has never been properly separated*” (KNIGHT, 2006, p.19).

Risco e incerteza são variáveis relacionadas a um estado futuro. Em condições de risco, o espaço probabilístico é conhecido e mensurável, e em condições de incerteza, desconhecido e imensurável (FERRARI-FILHO; CONCEIÇÃO, 2005; KNIGHT, 2006). Com base nestas definições, pode-se diferenciar situações arriscadas de situações incertas (KNIGHT, 2006).

Em sua obra, Knight associa o conceito de incerteza às mudanças dinâmicas e à determinação do lucro (KNIGHT, 1942; 2006). Neste contexto, são definidas três categorias de probabilidade para o futuro (KNIGHT, 2006):

- Probabilidade *a priori*: contempla situações que podem ser previstas ou mensuradas. Esta classificação inclui a determinação de uma distribuição futura conhecida, denominada risco.

- Probabilidade estatística: contempla situações indeterminadas, mas que podem ser estimadas a partir de eventos passados. A classificação inclui uma distribuição de probabilidade conhecida (quantificável), que pode ser relacionada a situações similares ocorridas anteriormente.
- Probabilidade estimativa: contempla eventos que não podem ser mensurados por meio de modelos matemáticos (não quantificável). Também chamada de incerteza verdadeira (*Knighiana*), a probabilidade estimativa consiste em um estudo do futuro no qual a distribuição é desconhecida, pois não se baseia na classificação empírica de casos conhecidos. A estimativa é um julgamento intuitivo que orienta o processo de tomada de decisão com base em julgamentos, não inferências.

Riscos e incertezas caracterizam situações futuras e devem ser considerados nas tomadas de decisão que podem afetar os objetivos da organização. A incerteza pode causar desvios e impactar as tomadas de decisão (TOMA; CHIRIȚĂ; ȘARPE, 2013), ao surgir de informações imperfeitas e incompletas, incompatíveis com as expectativas do mundo real (BROOKE, 2010; TOMA; CHIRIȚĂ; ȘARPE, 2013).

2.1.4.2 Risco e incerteza segundo Keynes

Keynes, na década de 1930, elaborou a sua visão de incerteza (KEYNES, 1936, 1937):

It would be foolish, in forming our expectations, to attach great weight to matters which are very uncertain. It is reasonable, therefore, to be guided to a considerable degree by the facts about which we feel somewhat confident, even though they may be less decisively relevant to the issue than other facts about which our knowledge is vague and scanty (KEYNES, 1936, p. 124).

By 'uncertain' knowledge, let me explain, I do not mean merely to distinguish what is known for certain from what is only probable. [...] Or, again, the expectation of life is only slightly uncertain. Even the weather is only moderately uncertain. The

sense in which I am using the term is that in which the prospect of a European war is uncertain, or the price of copper and the rate of interest twenty years hence [...] About these matters there is no scientific basis on which to form any calculable probability whatever (KEYNES, 1937, p. 113-114).

Desta forma, as situações reais entram desproporcionalmente na formação das expectativas do tomador de decisão, que se baseia nas expectativas de longo prazo e não dependem da previsão mais provável, mas da confiança com que se faz esta previsão (KEYNES, 1936).

Keynes relaciona incerteza a eventos futuros que não podem ser expressos em termos de uma distribuição de probabilidade. Este conceito propõe um *continuum* entre o conhecimento e a ausência de conhecimento, que representa as situações em que não há elementos para se especificar uma distribuição de probabilidade. A incerteza, portanto, pode ser definida como um atributo do conhecimento, não da realidade (ANDRADE, 2011; BRANDOLINI; SCAZZIERI, 2011).

Na tomada de decisão, Keynes considerou o peso e a probabilidade de diferentes expectativas (LEVI, 2011) que, em longo prazo, normalmente são impactadas por situações correntes (FERRARI FILHO; ARAUJO, 2000; ANDRADE, 2011; LEVI, 2011). O tomador de decisão observa uma situação atual e a projeta no futuro, realizando ajustes gradativos ao longo do tempo (ANDRADE, 2011).

Essas decisões dependem do grau de confiança em relação ao futuro (KEYNES, 1936). Em função das incertezas do futuro,

[...] previous expectations are liable to disappointment and expectations concerning the future affect what we do today. It is when we have made this transition that the peculiar properties of money as a link between the present and the future must enter into our calculations (KEYNES, 1936, p. 293).

Fatores imprevistos podem afetar o curso subsequente de eventos futuros. O tomador de decisão age com base no conhecimento, a partir de situações incompletas (ANDRADE, 2011; KREGEL; NASICA, 2011), e, à medida que o futuro se aproxima do presente, suas crenças podem ou não se comprovar (KEYNES, 1937).

Para a melhor compreensão da incerteza, é importante avaliar como Keynes a considerava em relação à teoria econômica clássica:

[...] the fact that our knowledge of the future is fluctuating, vague, and uncertain, renders wealth a peculiarly unsuitable subject for the methods of classical economic theory. This theory might work very well in a world in which economic goods were necessarily consumed within a short interval of their being produced (KEYNES, 1937, p. 113).

O conceito de incerteza de Keynes está relacionado ao conhecimento em relação ao futuro, indeterminado (ANDRADE, 2011) e sujeito a mudanças repentinas (KEYNES, 1937).

Para melhorar a compreensão das diferenças entre risco e incerteza, é importante detalhar as diferenças entre probabilidade e incerteza. A probabilidade somente pode ser definida a partir de uma referência ao grau de crença racional (*rational belief*). Esta relação entre racionalidade e crença é fundamental para a tomada de decisão de longo prazo, uma vez que a crença racional está relacionada ao conhecimento (KEYNES, 2004).

No cálculo da probabilidade de uma proposição, deve-se considerar a maior quantidade possível de evidências (RUNDE, 1990). A inclusão de uma evidência pode não alterar a probabilidade e a sua relevância está diretamente relacionada ao peso dos argumentos, que representa o volume de conhecimento, expressa através de uma probabilidade. Assim, quanto maior o conjunto de evidências disponíveis, maior a confiança nos argumentos propostos e maior o peso dos argumentos (KEYNES, 2004).

Keynes define peso dos argumentos como o grau de completude de informações (KEYNES, 2004). O peso dos argumentos fornece as possíveis causas da transição da crença para a descrença e vice-versa, à medida que o contexto muda (BRANDOLINI; SCAZZIERI, 2011; LEVI, 2011; VERCELLI, 2011). Esta perspectiva abre um conjunto de novas questões relacionadas às quantidades absolutas de conhecimento e ignorância (KEYNES, 1936, 2004).

A incerteza e a racionalidade são características diretamente relacionadas às tomadas de decisão, que muitas vezes são reformuladas e revistas em

função da tentativa de se enquadrar incertezas aos critérios da racionalidade, que são limitados. A racionalidade está fundamentada na configuração aberta dos processos cognitivos, nos quais os padrões epistemológicos e a teoria da decisão racional são complementados por resultados interativos, raciocínio analógico e identificação de padrões (BRANDOLINI; SCAZZIERI, 2011).

As pesquisas em ciências cognitivas, inteligência artificial e tomada de decisão sugerem a melhor compreensão da racionalidade através da contínua reformulação dos estados cognitivos mais adequados ao contexto (SUPPES, 1981, 2010; BRANDOLINI; SCAZZIERI, 2011), além da interação entre as habilidades ontológicas e epistêmicas (TVERSKY, 1977; GIUNCHIGLIA, 1993; SCAZZIERI, 2001, 2008; SÁNCHEZ; CAVERO; MARCOS, 2009).

As restrições às tomadas de decisão plausíveis são mais relevantes à medida que a incerteza aumenta, seja por motivos ontológicos, epistêmicos ou ambos. E a necessidade de atender às condições de relevância, tanto do lado ontológico quanto epistêmico, revela as múltiplas oportunidades. Isso detalha uma estratégia de descobertas e escolhas em que as descrições e os argumentos são gradualmente descartados, e as tomadas de decisão se movem ao longo do tempo (BRANDOLINI; SCAZZIERI, 2011).

2.2 Respostas organizacionais em condições de incerteza profunda

2.2.1 Incerteza profunda

Este capítulo explora as principais abordagens referentes ao conceito de incerteza profunda, importante para o desenvolvimento desta tese, que estuda a definição da estratégia tecnológica de organizações do setor aeroespacial em um horizonte de longo prazo.

As organizações devem se preparar para as perspectivas futuras adaptando-se às incertezas. Em condições de incerteza, as abordagens tradicionais de planejamento estratégico podem levar o tomador de decisão a perceber a incerteza como um caminho binário, onde se tem previsões precisas sobre o futuro ou situações totalmente imprevisíveis, dificultando

a captura de oportunidades (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997). Diferentes níveis de incerteza têm escopos específicos em termos de domínio do problema, teorias, métodos e ferramentas (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013).

É possível obter informações estrategicamente relevantes em ambientes incertos a partir da identificação de tendências. Este ambiente foi dividido em quatro níveis de incertezas, segundo Courtney, Kirkland e Viguierie, (1997) e cinco níveis de incertezas, segundo Walker, Lempert e Kwakkel (2013).

Para determinar diferentes maneiras de lidar com a incerteza no desenvolvimento de estratégias, pode-se distinguir níveis extremos de incerteza, que são a certeza total e a total ignorância, além de níveis intermediários. Estes níveis são definidos em relação ao conhecimento sobre os aspectos de um mundo futuro (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013).

Na visão de Courtney, Kirkland e Viguierie, (1997), os níveis de incerteza são:

- No nível 1, 'Futuro suficientemente claro', o tomador de decisão sugere uma única previsão de futuro. Considerando que a incerteza é inerente ao ambiente de negócios, esta solução é bastante imprecisa, já que as declarações prospectivas indicam uma única direção estratégica. A incerteza é irrelevante e, por meio de alguns indicadores, é possível identificar uma tendência que pode contribuir com a estratégia. As ferramentas usadas pelo tomador de decisão são as mais comuns, como pesquisa de mercado, cinco forças de Porter e análise de competidores.
- No nível 2, 'Futuros alternativos', o futuro pode ser descrito por meio de um dos resultados analisados. Os futuros alternativos podem ser estruturados a partir de cenários, associando as probabilidades de ocorrência aos impactos na organização. Neste nível, a ocorrência de fatos e eventos pode modificar as probabilidades, gerando a necessidade de adequação da estratégia.

- O nível 3, 'Faixa de futuros', inclui a identificação de um conjunto de possíveis futuros. Este intervalo é definido por um número limitado de variáveis, mas o resultado real pode estar em qualquer lugar ao longo de uma área de múltiplas escolhas limitadas a este intervalo. No nível 3 existe uma ampla gama de possibilidades futuras, com probabilidades contínuas de ocorrência.
- No nível 4, 'Verdade ambígua', ou incerteza profunda, múltiplas dimensões de incertezas interagem para criar um ambiente futuro impossível de se prever. Neste caso, os resultados potenciais não podem ser identificados e é muito difícil prever todas as variáveis relevantes que definirão o futuro. Este nível exige um monitoramento sistêmico das variáveis relacionadas à evolução do mercado ao longo do tempo, permitindo a adaptação estratégica a partir da disponibilidade de informações.

As incertezas profundas (nível 4) são raras e tendem a migrar para níveis inferiores ao longo do tempo. Este nível reflete grandes discontinuidades tecnológicas, econômicas, sociais e de novos negócios. Algumas organizações enfrentam este nível de incerteza se tiverem um longo período para a avaliação estratégica, evidenciando a dificuldade dos processos de tomada de decisão na quantificação dos riscos e na definição dos retornos estratégicos. Assim, o tomador de decisão busca identificar informações relevantes para o futuro para justificar os investimentos considerados (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997).

A incerteza exige uma abordagem mais flexível, destacando a necessidade de tornar o processo estratégico mais dinâmico (CHRISTENSEN, 1997; COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997). Mudar o direcionamento estratégico de uma organização não é uma tarefa que o tomador de decisão enfrenta repetidamente. Depois que a organização descobre uma estratégia que funciona, dificilmente vai alterá-la. Consequentemente, muitas equipes de gerenciamento não desenvolvem competência no pensamento estratégico, tornando-se incapazes de perceber as reais necessidades de mudanças (CHRISTENSEN, 1997).

Na visão de Walker, Lempert, Kwakkel (2013), os níveis de incerteza são:

- O nível 1, 'Futuro claro ou certeza total', representa a situação em que o tomador de decisão admite que não tem certeza, mas não está disposto e nem é capaz de medir o grau de incerteza de maneira explícita. Este nível envolve situações nas quais tudo é conhecido. Muitas vezes este nível é tratado por meio de uma simples análise de sensibilidade dos parâmetros de um modelo, onde são avaliados os impactos de pequenas perturbações dos parâmetros de entrada sobre os resultados.
- O nível 2, 'Futuros alternativos com probabilidades', inclui qualquer incerteza que possa ser adequadamente descrita em termos estatísticos. Em caso de incerteza sobre o futuro, a incerteza de nível 2 pode ser capturada na forma de uma única previsão com um intervalo de confiança ou várias previsões com probabilidades associadas.
- A incerteza de nível 3, 'Futuros alternativos com classificação', representa uma situação de múltiplas alternativas, classificáveis em termos de probabilidade. Quando o conhecimento e a informação estão disponíveis, existem várias parametrizações diferentes do modelo do sistema, conjuntos de resultados alternativos. Estas possibilidades podem ser classificadas de acordo com a probabilidade percebida e a incerteza pode ser detectada por meio de tendências.
- O nível 4, 'Múltiplos futuros plausíveis', representa a situação em que múltiplas alternativas podem ser enumeradas em termos de probabilidade percebida, mas sem classificação. Esta condição está relacionada à falta de conhecimento.
- O nível 5, 'Futuro desconhecido', representa o nível mais profundo de incerteza (*deep uncertainty*), em que apenas o que não sabemos é conhecido. Este tipo de desconhecimento é cada vez mais comum em função de eventos imprevisíveis e surpreendentes que ocorrem

com mais frequência, chamados "Cisnes Negros", por estarem fora das expectativas normais.

Cada vez mais o tomador de decisão enfrenta as incertezas profundas, que exigem uma abordagem de planejamento que considera uma ampla variedade de futuros e que devem ser adaptados ao longo do tempo (WALKER; LEMPert; KWAKKEL, 2013). A tomada de decisão sob incerteza profunda envolve uma família de soluções analíticas e ferramentas baseadas em metodologias adaptativas para o desenvolvimento de estratégias de longo prazo. Seu fundamento lógico é que, dadas as incertezas futuras significativas, o planejamento de longo prazo e a formulação de estratégias precisam trabalhar no sentido de reduzir a vulnerabilidade estratégica, sem estar vinculado a uma única previsão de melhor estimativa do futuro que pode acabar sendo errada (WALKER; LEMPert; KWAKKEL, 2013; MALEKPOUR et al., 2020).

2.2.2 Escaneamento e monitoramento do ambiente

O escaneamento e monitoramento de informações proporciona a ligação entre a organização e o mercado (BEAL, 2000), com impacto sobre os resultados da organização (BEAL, 2000; CUHLS, 2019) e no planejamento de ações futuras (CHOO, 2001, 2005). O escaneamento contribui para a antecipação de eventos precursores de mudanças através da detecção de sinais fracos (ANSOFF, 1975; CUHLS, 2019), questões emergentes e alertas antecipados, fatores importantes para a identificação de tendências e rupturas (CUHLS; VAN DER GIESSEN; TOIVANEN, 2015; CUHLS, 2019).

O escaneamento, uma forma de aprendizado organizacional (CHOO, 2001; 2005), contribui com a avaliação das necessidades do ambiente (PORTER, 1980; TEECE, 2007; CUHLS, 2019), maximizando o fluxo de informações para a tomada de decisão (IKEBUJO, 2020).

A organização depende de seu ambiente para obter recursos e de sua adaptação às mudanças para sobreviver. O escaneamento pode gerar informações que permitem à alta administração ir além da adaptação reativa para uma influência mais proativa de suas condições ambientais

(YASAI-ARDEKANI; NYSTROM, 1996; MENACHEMI et al., 2013; ROHRBECK, 2010, 2014).

O fluxo de informações em P&D é bastante intenso e relevante para a geração de conhecimento (BETZ, 2011). Em função da quantidade de informações, é importante considerar a descoberta, a avaliação e a divulgação de informações. A descoberta se refere à detecção de informações sobre novas tecnologias e conceitos científicos potenciais. A avaliação das tecnologias potenciais envolve diferentes especialistas, de múltiplas áreas, para minimizar os vieses em uma avaliação mais representativa. A divulgação das informações considera que a organização já tem um nível básico de conhecimento sobre um novo conceito científico ou uma nova tecnologia potencial (BRITO, 2010).

Neste contexto, o escaneamento e monitoramento de informações evidencia a importância de uma rede de observadores, que pode gerar vantagem competitiva para organizações do setor aeroespacial (BRITO, 2010).

2.2.3 Planejamento de cenários

O planejamento de cenários é uma ferramenta que considera o futuro na abordagem estratégica, amplamente utilizado por empresas e governo (BRADFIELD et al., 2005; CHERMACK; SWANSON, 2008; DERBYSHIRE; WRIGHT, 2014; DERBYSHIRE, 2017). No entanto, como disciplina acadêmica, o planejamento de cenários continua limitado em função da percepção de que é uma ferramenta prática para se pensar no futuro, com fundamentos teóricos limitados (DERBYSHIRE, 2017).

Para lidar com a incerteza profunda (*deep uncertainty*), como em decisões relacionadas ao desenvolvimento tecnológico e de novos produtos (NPD), é importante abordar a Teoria da Surpresa Potencial (PST - *Potential Surprise Theory*) (SHACKLE, 1955, 1961; DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017). A PST está diretamente relacionada à origem do planejamento de cenários, na RAND Corporation (BRADFIELD et al., 2005), e à lógica intuitiva (LI) (WRIGHT; BRADFIELD; CAIRNS, 2013; DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017; CAIRNS; WRIGHT, 2018), que é uma abordagem

baseada em narrativas para tomada de decisão que permite a consideração do efeito de fatores políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais na decisão a ser tomada.

Na década de 1970, a Royal Dutch Shell popularizou o planejamento de cenários, criado pela Rand Corporation após a Segunda Guerra Mundial (BRADFIELD et al., 2005), que é uma metodologia muito importante para análise prospectiva, que permite o estudo de futuros alternativos e a construção da trajetória entre situações presente e futura (GODET, 2000; VAN DER HEIJDEN et al., 2002; GODET; MONTI; ROUBELAT, 2004; VAN DER HEIJDEN, 2005; BRADFIELD et al. 2005; SCHWARZ, 2008).

O planejamento de cenários permite a construção de futuros plausíveis e a geração de estratégias que contribuem com a captura de oportunidades, proteção contra as ameaças e minimização das incertezas (VAN DER HEIJDEN, 2005; RAMÍREZ; SELIN, 2014), melhorando a exploração de situações futuras (SCHOEMAKER, 1995) e as tomada de decisão (SCHWARTZ, 1991).

O planejamento de cenários futuros (COURTNEY; KIRKLAND; VIGUERIE, 1997) está além do desenvolvimento estratégico e inclui antecipação, *sensemaking* e aprendizado organizacional, que são elementos que podem ser relacionados à modelagem exploratória para apoiar a tomada de decisão (CHERMACK, 2002, 2004b, 2005; KWAKKEL; PRUYT, 2013).

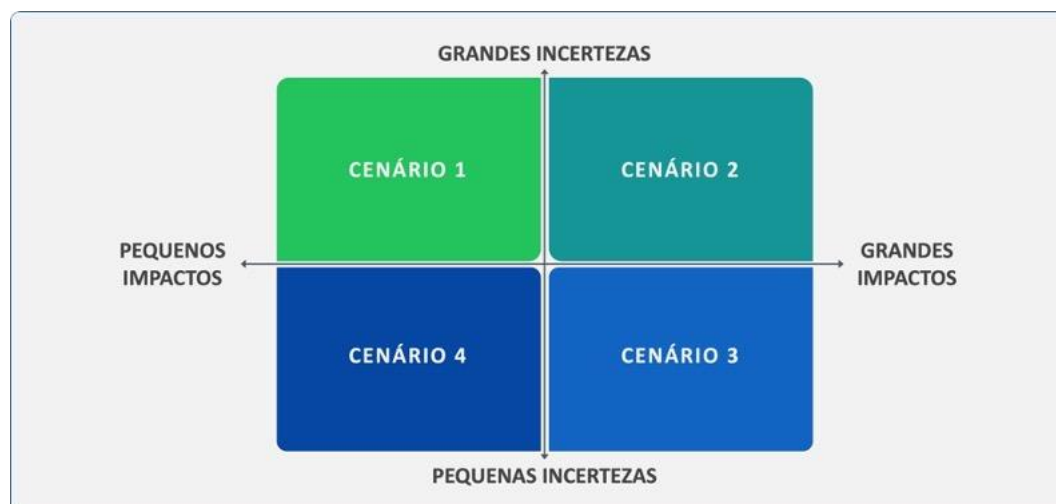
O planejamento de cenários evoluiu nos últimos anos, principalmente em relação à abordagem baseada na lógica intuitiva (LI), que é qualitativa (WRIGHT; CAIRNS; O'BRIEN, 2019; DERBYSHIRE, 2019). A LI se baseia em oito estágios (WRIGHT; BRADFIELD; CAIRNS, 2013; CAIRNS; WRIGHT, 2018): (1) definição do foco estratégico do cenário e problema a ser resolvido, em uma escala de tempo; (2) determinação das forças motrizes, entre múltiplas variáveis; (3) agrupamento das forças motrizes em *clusters*; (4) definição de dois resultados extremos dos clusters, mas plausíveis; (5) elaborar uma matriz de impacto, com a determinação dos graus de incertezas de cada cluster; (6) definir uma matriz de cenários; (7) definir o escopo dos cenários; (8) detalhar o *story-telling* de cada cenário,

incluindo eventos-chave, estruturas cronológicas, quem poderia estar envolvido e por que isso acontece.

A LI é uma abordagem baseada em narrativas para tomada de decisão que permite a consideração do efeito de fatores identificados nas dimensões PESTAL: políticas, econômicas, sociais, tecnológicas, ambientais e legais (DERBYSHIRE, 2016; DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017). Os fatores são agrupados, analisados em matrizes de motricidade e dependência, distribuídos em uma sequência cronológica e avaliados quanto aos impactos e incertezas (Figura 2.1). A partir desta classificação, quatro cenários são construídos (CAIRNS; GOODWIN; WRIGHT, 2016; DERBYSHIRE, 2017; CAIRNS; WRIGHT, 2018; DERBYSHIRE, 2019).

O planejamento de cenários baseado na LI trata a incerteza ontológica por meio da identificação e foco em um pequeno número de futuros alternativos, desconsiderando-se inúmeros outros (DESBYSHIRE; WRIGHT, 2014). Esta restrição de foco está relacionada à importância do detalhamento das narrativas dos futuros alternativos (SCHOEMAKER, 1993; DESBYSHIRE; WRIGHT, 2014; DERBYSHIRE, 2019), ampliando a percepção dos tomadores de decisão no contexto considerado (DERBYSHIRE, 2019).

Figura 2.1 – Matriz de Impactos e Incertezas no Planejamento de Cenários.



Fonte: Adaptada de Cairns e Wright (2018).

Para melhorar os efeitos negativos do foco na causa, como abordado no planejamento de cenários pela lógica intuitiva, é importante identificar

estratégias altamente adaptativas (DESBYSHIRE; WRIGHT, 2014; DERBYSHIRE, 2019). A estratégia resultante tem um efeito benéfico em relação às surpresas potenciais e a sua robustez está vinculada à adaptação (KWAKKEL; HAASNOOT; WALKER, 2015, 2016) e a uma postura estratégica positiva em relação às surpresas das quais é possível obter resultados transformacionais (DERBYSHIRE, 2019). Esta condição coloca as incertezas como portadora de mudanças potencialmente positivas e transformacionais (SIMANDAN, 2018; DERBYSHIRE, 2019).

Na tomada de decisão estratégica, há necessidade de se considerar as tendências existentes, que afetam a aceitação inicial do mercado, e as tendências mais genéricas, que associam a difusão de um produto potencial a novos segmentos do mercado. O planejamento de cenários pode facilitar a tomada de decisão, por considerar tanto os fatores positivos como os fatores de interrupção do desenvolvimento. A ferramenta também permite a incorporação de *insights* de desenvolvimentos recentes na modelagem dos impactos relacionados às alternativas futuras (DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017).

A redução das taxas de falha no desenvolvimento de novos produtos continua sendo um grande desafio das pesquisas nos últimos anos. Novos desenvolvimentos estão sujeitos a altas taxas de falha em função de múltiplas fontes de incertezas. A difícil observação dessas falhas, que envolve uma fonte epistêmica de incerteza, dificulta a estimativa dos fatores associados ao sucesso (MARKOVITCH et al., 2014). A incerteza epistêmica inerente aos novos desenvolvimentos e a complexidade de sua modelagem são ainda agravadas pela natureza crucial das decisões, que também é uma fonte de incerteza. A natureza crucial rompe a estabilidade necessária para que qualquer modelo de previsão usado na tomada de decisão de novos desenvolvimentos (DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017).

Para mitigar as múltiplas incertezas dos novos desenvolvimentos, uma abordagem que combina o planejamento de cenários à prospecção é necessária. Esta abordagem considera tanto as tendências, de aspectos contínuos, como fatores não contínuos de futuro. A natureza dos novos

desenvolvimentos torna importante colocar ênfase em aspectos contínuos e não contínuos (DERBYSHIRE; WRIGHT, 2016; DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017).

A abordagem para mitigar as múltiplas incertezas de novos desenvolvimentos reconhece a extensão total da incerteza fundamental e a considera como fonte de novas oportunidades. As organizações inovadoras testam os novos nichos de produtos com pouco conhecimento, independente de seu provável sucesso ou fracasso. Se as organizações tivessem um conhecimento probabilístico completo prévio, como em um universo fechado, estas oportunidades não existiriam, porque todas elas já teriam sido identificadas e probabilisticamente exploradas. É a incerteza dos novos desenvolvimentos que faz valer a pena, porque pode representar uma fonte de potenciais recompensas aqueles que têm sucesso (DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017; DERBYSHIRE, 2017; DERBYSHIRE, 2019).

Esta observação reforça a importância da abordagem de Keynes (1936), que observa que os mercados de ações permitem a reavaliação dos investimentos no dia a dia. Esse fator facilita o investimento, enquanto aumenta a sua instabilidade, uma vez que os agentes podem movimentar seu capital de acordo com as novas informações. Desta forma, Keynes (1936) define, de maneira mais clara, a sucessão das condições futuras que formam o longo prazo.

2.2.4 Modelo de desenvolvimento dinâmico e adaptativo

Para se manter competitiva, em um ambiente complexo e incerto, a organização busca continuamente a melhoria de seu desempenho e seu modelo de respostas às mudanças. Isto pode impactar a flexibilidade da organização e o comportamento de seus tomadores de decisão, que enfrentam múltiplas incertezas e precisam considerar as partes interessadas (*stakeholders*), suas necessidades e interesses. É essencial que estes fatores, que mudam ao longo do tempo, sejam considerados nos planos estratégicos da organização (OFFERMANS, 2010; OFFERMANS; HAASNOOT; VALKERING, 2011).

A abordagem tradicional considera um futuro previsível. Os tomadores de decisão desenvolvem um plano estático, a partir de um futuro único e provável, muitas vezes baseado na extrapolação de tendências (HALLEGATTE et al., 2012; HAASNOOT et al., 2013). No entanto, se o futuro for diferente do futuro hipotético considerado, o plano provavelmente falhará. Conforme o futuro evolui, os tomadores de decisão devem responder às novas situações, adaptando seus planos à nova realidade (MCINERNEY; LEMPert; KELLER, 2012). A adaptação de um plano ao longo do tempo não deve ser apenas determinada pelo que é conhecido, mas também pelo que se aprende à medida que o futuro evolui (YOHE, 1990; HAASNOOT; KLOOSTER; ALPHEN, 2018).

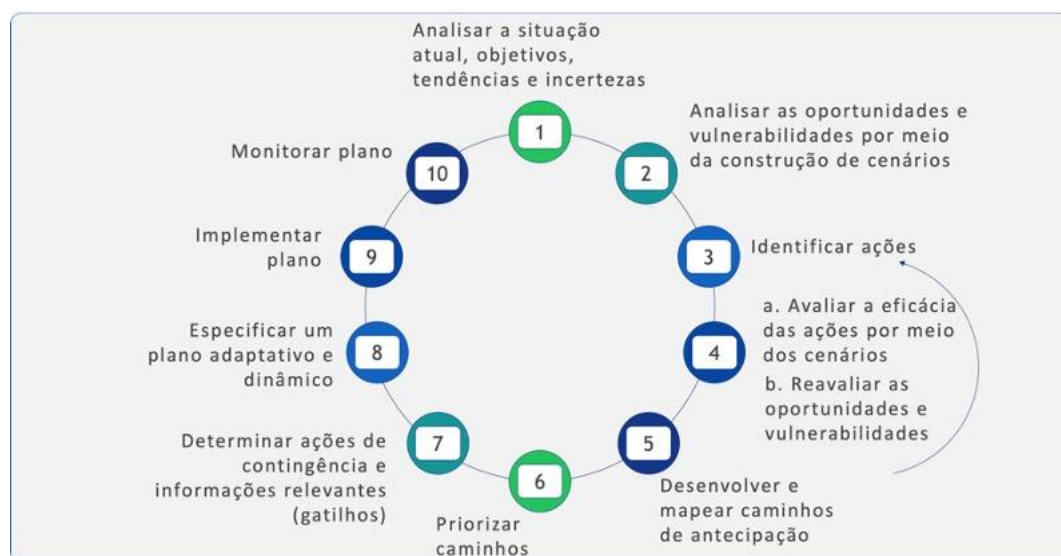
Novas ferramentas surgiram para lidar com as incertezas profundas (HALLEGATTE et al., 2012; HALLEGATTE, 2017; DERBYSHIRE, 2019). O ambiente de mudanças descontínuas exige mais agilidade nas respostas das organizações, com o objetivo de melhorar o desempenho das definições estratégicas (LEITE; CHAGAS JUNIOR, 2019, 2020a, 2020b). Estas definições dependem do tomador de decisão, que deve criar uma visão de futuro (HAASNOOT et al., 2013; HAASNOOT; KLOOSTER; ALPHEN, 2018) e adaptar seus planos estratégicos à nova realidade (ALBRECHTS, 2004; MCINERNEY; LEMPert; KELLER, 2012; ALBRECHTS; BALDUCCI, 2013) a partir de situações de incerteza (HALLEGATTE et al., 2012).

As ferramentas, relacionadas às condições de incertezas profundas, buscam melhorar as ações de curto, médio e longo prazos, ao estabelecer um direcionamento para as atividades futuras (HALLEGATTE et al., 2012; ALBRECHTS, 2004). Foram desenvolvidas em diferentes domínios, a partir dos estudos da Sociedade para Tomada de Decisões e Incerteza Profunda (DMDU, 2019). Uma dessas ferramentas, que se baseia em um modelo de desenvolvimento dinâmico e adaptativo, é a *Dynamic Adaptive Policy Pathways* (DAPP) (HAASNOOT et al., 2013; KWAKKEL; HAASNOOT; WALKER, 2016). Esta ferramenta permite o desenvolvimento de um caminho estratégico, através da aprendizagem contínua e adaptação das respostas ao longo do tempo (HAASNOOT et al., 2013).

Em função da falta de conhecimento em relação a novos desenvolvimentos, é importante adequar a tomada de decisão, monitorando e flexibilizando seus efeitos. A tomada de decisão sob incerteza considera que qualquer escolha pode ser ameaçada pela descoberta de fatos que façam com que o tomador de decisão rejeite sua decisão original, buscando maneiras de revisá-la. A tomada de decisão é passível de erro, destacando a importância de priorizar opções nas quais o erro pode ser detectado e a escolha original revisada sem grandes perdas (COLLINGRIDGE, 1980).

O modelo DAPP segue um ciclo de desenvolvimento de 10 estágios (Figura 2.2). Os estágios iniciais buscam identificar a existência de lacunas em termos do alcance dos objetivos (KWAKKEL; WALKER; MARCHAU, 2010; KWAKKEL; HAASNOOT; WALKER, 2015).

Figura 2.2 – Modelo DAPP.



Fonte: Adaptada de Haasnoot et al. (2013).

O primeiro estágio descreve a área de estudo, incluindo as características do sistema, objetivos e restrições, nas situações atual e futura. O resultado é a definição de sucesso, que envolve a especificação dos resultados desejados em termos de indicadores e metas (KWAKKEL; WALKER; MARCHAU, 2010).

O segundo estágio foca na análise do problema. A situação atual e possíveis situações futuras são comparadas com os objetivos definidos

para identificar se existem lacunas. As lacunas podem gerar oportunidades e vulnerabilidades. As oportunidades são desenvolvimentos que podem ajudar na consecução dos objetivos à medida em que os objetivos são alcançados, enquanto as vulnerabilidades podem prejudicar (HAASNOOT et al., 2013).

O terceiro estágio identifica e consolida as ações que podem ajudar no fechamento dessas lacunas. As ações devem ser especificadas à luz das oportunidades e vulnerabilidades previamente identificadas e de acordo com as especificações das políticas (HAASNOOT et al., 2013).

No quarto estágio, ações ineficazes são filtradas ao longo do tempo, resultando na identificação das ações com maior potencial de sucesso. Os efeitos das ações nos resultados são avaliados para cada cenário. As ações ineficazes são descartadas e as ações promissoras são usadas nos próximos passos como base para a elaboração dos caminhos de adaptação (WALKER, 1988; HAASNOOT et al., 2013).

No quinto estágio, novas ações são iniciadas quando as anteriores não se adequam ao objetivo (HAASNOOT et al., 2013). Essencialmente, no DAPP, a política é capaz de antecipar um problema. O mapa de adaptação detalha diferentes caminhos e consolida as rotas potenciais de sucesso. Este estágio representa a construção de caminhos usando as informações geradas nas etapas anteriores. O resultado é um mapa de adaptação, que resume todos os caminhos lógicos em que o sucesso pode ser alcançado (HAASNOOT et al., 2013).

No sexto estágio, essas rotas são reduzidas ainda mais para um número gerenciável de caminhos preferenciais, que se encaixam à perspectiva, definindo caminhos mais robustos (OFFERMANS; HAASNOOT; VALKERING, 2011). Os caminhos preferenciais formam a estrutura básica de um plano estratégico dinâmico e adaptativo (HAASNOOT et al., 2013).

A sétima etapa representa o planejamento da contingência projetada para manter a política no caminho, em caso de surpresas (HAASNOOT et al., 2013).

O oitavo estágio explicita as metas, os problemas e os caminhos potenciais e preferenciais identificados nos estágios anteriores, em um plano dinâmico e adaptativo. O desafio é elaborar um plano que mantenha os caminhos preferenciais abertos durante o maior tempo, com ações urgentes e ações futuras (HAASNOOT et al., 2013).

Nos estágios 9 e 10, o monitoramento é iniciado. As ações são acionadas, alteradas, interrompidas ou expandidas e a política é adaptada, de acordo com as ações identificadas e os caminhos preferenciais (HAASNOOT et al., 2013).

Frente às incertezas profundas enfrentadas pelos tomadores de decisão, é importante uma abordagem que considere uma ampla variedade de futuros, passível de ser adaptada ao longo do tempo e que seja capaz de lidar com condições imprevisíveis de mudança (HAASNOOT et al., 2013; DERBYSHIRE, 2019).

Esta abordagem contempla múltiplas incertezas, ações antecipadas e corretivas, caminhos de adaptação e um sistema de monitoramento relacionado à manutenção do plano. A abordagem apoia a exploração de ampla variedade de incertezas de forma dinâmica, conectando metas de curto e longo prazos, mantendo opções abertas para o futuro (HAASNOOT et al., 2013).

Embora esta tese esteja ancorada em estratégias tecnológicas que melhor se enquadram na categoria *inside-out*, baseada nas capacidades dinâmicas da organização, são os conceitos do modelo DAPP que tornam possível assegurar flexibilidade estratégica ao longo do tempo.

2.3 Gestão de projetos associados a diferentes tipos de inovação

2.3.1 Inovação tecnológica e mudança organizacional

Este capítulo envolve a exploração da dinâmica de inovação em indústrias de sistemas complexos e busca ampliar a compreensão de como as organizações capturam e aproveitam oportunidades a partir das mudanças do ambiente.

O ambiente de mudança exige a constante renovação de tecnologias, produtos, processos e infraestrutura (HUMBLE; JONES, 1989; ZAIRI, 1995; GARCIA; CALANTONE, 2002; QUADROS, 2008; CARVALHO, 2009), criando oportunidades através das inovações (SHENHAR et al., 2020).

A demanda por inovação está aumentando em função de um cenário caracterizado por mudanças tecnológicas exponenciais e a diminuição dos ciclos de desenvolvimento de produtos (SHENHAR et al., 2020).

As inovações radical e incremental, propostas por Schumpeter (1934) foram amplamente exploradas e difundidas pelos pesquisadores (GARCIA; CALANTONE, 2002; CARVALHO, 2009). A inovação incremental envolve pequenas mudanças e a inovação radical grandes mudanças e alto grau de novidade (SCHUMPETER, 1934; CHRISTENSEN; OVERDORF, 2000; GARCIA; CALANTONE, 2002; OECD, 2005; SCHERER; CARLOMAGNO, 2009).

Estes dois tipos de inovação se complementam (ZAIRI, 1995) e podem ser diferentes em função do uso, objetivo ou aplicação. Uma inovação pode ser radical para determinada organização, mas não para o mundo (UTTERBACK; ABERNATHY, 1975; GARCIA; CALANTONE, 2002; OECD, 2005).

A inovação radical deriva de estratégias mais agressivas, favorecendo o crescimento organizacional e o sucesso de projetos mais inovadores em P&D, por meio da geração de novos produtos, tecnologias, processos e negócios (ABERNATHY; UTTERBACK, 1978; SCHUMPETER, 1985; DAMANPOUR, 1987; GARCIA; CALANTONE, 2002; DAMANPOUR; WISCHNEVSKY, 2006; TIDD; BESSANT; PAVITT, 2008).

Christensen (1997) desenvolveu a teoria da inovação de ruptura a partir de uma perspectiva tecnológica. A tecnologia disruptiva pode expandir nichos de mercados, melhorando os resultados ao longo do tempo (UTTERBACK; ACEE, 2005).

As pesquisas indicam a necessidade de se melhorar a flexibilidade estratégica através da construção de estruturas organizacionais mais

ágeis, capazes de acompanhar a velocidade dos novos entrantes e de organizações menores e mais dinâmicas (CHRISTENSEN, 1997; ROHRBECK, 2010; MARKIDES, 2012, 2013).

2.3.2 Ambidestria organizacional

As organizações de sistemas complexos estão inseridas em um ambiente caracterizado por rupturas, transformações, riscos e incertezas. Nesse contexto, a estratégia tecnológica e as capacidades de adaptação ao mercado podem assegurar melhores respostas das organizações em condições de mudanças (TUSHMANN; O'REILLY III, 1996, 2002).

As organizações capazes de considerar, ao mesmo tempo, as demandas do mercado e as recomendações tecnológicas são chamadas de ambidestras (TUSHMANN; O'REILLY III, 2002; O'REILLY III; TUSHMANN, 2004). Essas organizações podem avaliar as necessidades incrementais exigidas pelo mercado no curto prazo e gerar conhecimento por meio de P&D de longo prazo (O'REILLY III; TUSHMANN, 2004). A capacidade da organização explorar seus negócios atuais enquanto explora um novo mercado foi reconhecida como uma fonte crítica de sucesso competitivo (EISENHARDT; MARTIN, 2000; TUSHMANN; O'REILLY III, 1996, 2002).

A maneira como a complexidade do ambiente influencia as mudanças organizacionais tem sido objeto de estudo entre os pesquisadores. Em ambientes estáveis, as mudanças incrementais são suficientes para acompanhar o ritmo do ambiente, mas quando a complexidade é alta, o equilíbrio é substituído por um tipo dinâmico de ambidestria (UOTILA, 2018b). A organização deve se preparar para as mudanças do ambiente por meio de adaptação (O'REILLY III; HARRELD; TUSHMAN, 2009; TIGHE, 2019) e avaliação da capacidade de adaptação das organizações que sobreviveram às mudanças do ambiente (LEW; MEYEROWITZ; SVENSSON, 2019; HODGSON, 2019).

Nessa linha de pesquisa, March (1991) introduziu os conceitos relacionados à exploração de novos conhecimentos (exploração) e ao uso de conhecimentos existentes (exploração). O conceito de exploração inclui

a busca por novas oportunidades, e o conceito de exploração inclui mudanças incrementais.

Em ambiente dinâmico, as organizações precisam prospectar produtos e mercados, que possam surgir a partir das mudanças descontínuas (LEVINTHAL, 1992, 2002; ANDRIOPOULOS; LEWIS, 2009).

A evolução das pesquisas relacionadas à estratégia de negócios e à teoria organizacional, em períodos de turbulência, destacam a importância da consideração do vínculo das perspectivas externa e interna na captura de oportunidades para a organização (LEVINTHAL, 2002; ROHRBECK, 2010).

2.3.3 Projetos de inovação e gestão de projetos (Modelo Diamante)

A inovação começa com uma ideia, mas o que realmente transforma essa ideia em produtos ou serviços são os projetos. Uma ideia inovadora, na hora certa e para o mercado certo, só tem valor quando a organização identifica o tipo de projeto capaz de levar esta ideia ao mercado (SAUSER; REILLY; SHENHAR, 2009; SHENHAR et al., 2020).

Por meio da teoria da contingência estrutural, Shenhhar e Dvir elaboraram o “modelo diamante” para a classificação de projetos. O modelo inclui quatro dimensões: novidade, tecnologia, complexidade e ritmo (NTCR), divididas em quatro níveis cada uma (SHENHAR et al., 2005; SHENHAR; DVIR, 2007a, 2007b; SHENHAR et al., 2020).

A dimensão novidade (SHENHAR; DVIR, 2007a; SHENHAR et al., 2020), que representa as incertezas dos objetivos do projeto e indica quão novo o produto é para o mercado, está dividida em (1) derivativo, (2) plataforma, (3) novo para o mercado e (4) novo para o mundo. O primeiro nível, ‘derivativo’, indica uma pequena melhoria de um produto ou serviço. A ‘plataforma’ representa uma nova geração de produtos. o terceiro nível representa a modificação de um produto conhecido para introdução em um novo mercado. E o quarto nível representa produtos novos para o mundo.

A dimensão tecnologia (SHENHAR; DVIR, 2007a; SHENHAR et al., 2020), que representa a principal fonte de incerteza do modelo, se divide em (1) baixa, (2) média, (3) alta e (4) super-alta. O primeiro nível ‘baixa tecnologia’

representa uma tecnologia tradicional, bem estabelecida e conhecida na indústria. O segundo nível se refere a uma tecnologia existente e madura, mas com algumas modificações e melhorias. O terceiro nível, 'alta tecnologia', representa uma nova tecnologia desenvolvida. O nível 'super-alta tecnologia' representa as iniciativas que requerem tecnologia ainda inexistentes, ou em fase inicial desenvolvimento.

A dimensão complexidade (SHENHAR; DVIR, 2007a; SHENHAR et al., 2020), que reflete o nível de complexidade de um produto e esforços organizacionais, está dividida nos níveis (1) componente, (2) montagem, (3) sistema e (4) matriz. O primeiro nível se refere a um componente básico de um sistema. 'Montagem' representa um subsistema, que executa uma única função em um sistema maior. O nível de 'sistema' envolve produtos multifuncionais e mais complexos, que integram montagens em um produto mais complexo. E o nível 'matriz', sistema de sistemas, representa um conjunto de sistemas orientados para um propósito comum.

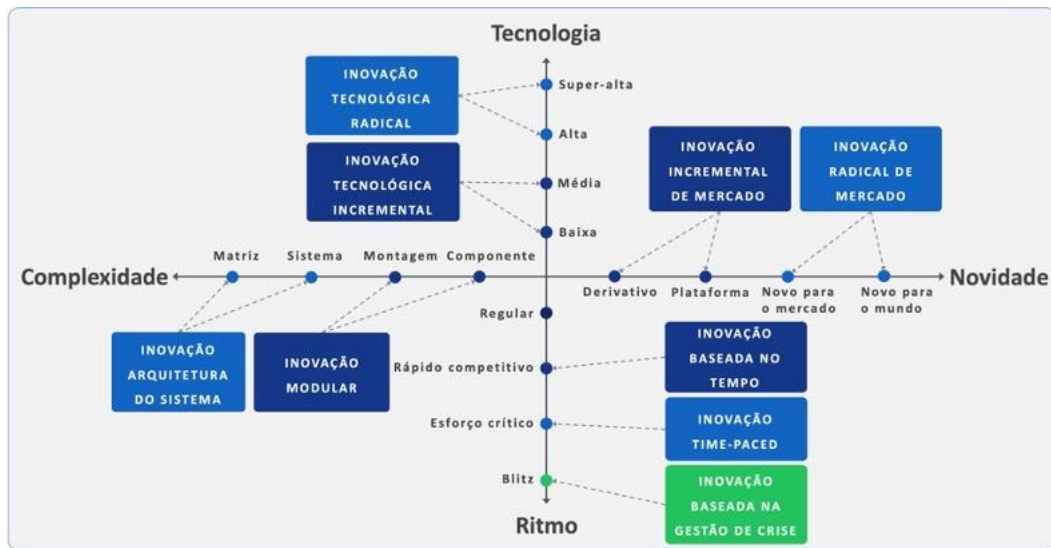
A dimensão ritmo (SHENHAR; DVIR, 2007a; SHENHAR et al., 2020), que se refere à restrição de tempo do projeto, está dividida em (1) regular, (2) rápido competitivo, (3) esforço crítico e (4) blitz. 'Regular' representa o esforço de inovação que não tem pressão de tempo. 'Rápido competitivo' representa o esforço em resposta a uma necessidade em mercados competitivos e podem incluir projetos internos de alta prioridade que têm impacto sobre os objetivos estratégicos da organização. O nível 'esforço crítico', representa um prazo definido e rigoroso a ser atendido. 'Blitz' representa o nível mais alto de urgência de um projeto em casos de crise ou emergência.

A sustentabilidade das organizações depende de seu posicionamento no mercado em relação aos concorrentes (RABECHINI, 2002), destacando a importância da busca contínua por inovação, como fator de vantagem competitiva em um ambiente de mudanças (LEITE, 2013). A fusão da ferramenta de gestão de projetos com ferramentas de inovação em um processo unificado é muito importante. Ao adotar o estilo de gerenciamento de projeto certo para cada tipo de inovação, os esforços podem ser

otimizados em um processo combinado, minimizando as falhas (SHENHAR et al., 2020).

Os tipos de inovação, associados às dimensões do modelo NTCR, estão representados na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Estrutura de inovação e gestão de projetos.



Fonte: Adaptado de Shenhar et al. (2020).

Essas distinções têm um impacto sobre como as organizações estruturam e coordenam seus projetos inovadores, para assegurar resultados de sucesso (SHENHAR et al. 2020).

Da mesma forma, diferentes perfis psicológicos e competências estão relacionados a diferentes estilos de liderança, que respondem melhor a um tipo específico de projeto de inovação. A Figura 2.3 ilustra a combinação das diferentes graduações em cada uma das dimensões de projetos se relaciona a tipos específicos de inovação, interferindo em vários aspectos do gerenciamento de projeto, e à adequação do estilo gerencial podendo impactar o sucesso ou o fracasso do desenvolvimento (LEITE, 2013).

Um projeto no setor aeroespacial gera produtos novos ou adequados para atender aos objetivos estratégicos organizacionais, orientado por uma demanda de programas e mercados (JESUS et al., 2021). Neste contexto, o portfólio deve priorizar os projetos certos para atender as metas

organizacionais (CHAGAS JUNIOR; CAMPANARIO, 2014), considerando-se que, em sistemas complexos, os projetos podem estar em diferentes níveis de desenvolvimento (JESUS et al., 2021).

2.4 Visão baseada em recursos e evolução para capacidades dinâmicas

Este capítulo explora as linhas de pesquisa relevantes para a gestão organizacional. Os quadros teóricos, relacionados ao contexto explorado são (1) visão baseada em recursos e (2) capacidades dinâmicas.

2.4.1 Visão Baseada em Recursos (VBR)

A Visão Baseada em Recursos (VBR) tem sua origem no trabalho de Penrose, de 1959, “The theory of the growth of the firm”, em que a economista analisa os processos de crescimento da firma e suas limitações a partir das oportunidades externas e internas, decorrentes de recursos e serviços.

Na definição de Penrose, firmas são:

[...] instituições complexas que influenciam a vida econômica e social de diversas maneiras, envolvendo numerosas e diferentes atividades, tomando uma ampla variedade de decisões significativas, influenciadas por caprichos humanos múltiplos e imprevisíveis, embora geralmente orientados pela luz da razão (PENROSE, 2006, p.41-42).

Penrose (2006, p. 61) também define a firma em relação à forma como vinha sendo tratada até então, e destaca fatores de desempenho importantes em cada organização. A definição considera os recursos gerenciais como principais responsáveis pela direção e pelo ritmo diferenciado de crescimento da firma, em função do crescimento ou diversificação do mercado:

[...], uma firma representa mais do que uma unidade administrativa; trata-se também de um conjunto de recursos produtivos cuja disposição entre diversos usos e através do tempo é determinada por decisões administrativas (PENROSE, 2006, p.61).

Penrose (2006) faz a distinção entre recursos humanos e serviços, e explora os limites e possibilidades da combinação dos recursos internos. Não são os recursos em si que constituem os insumos do processo produtivo, mas os serviços que eles podem prestar. Esses serviços são função do modo como os recursos são utilizados para diversos fins e de modos diferentes.

A busca contínua pela melhor adequação do uso de recursos impacta os desequilíbrios das firmas e mercados, e destes desequilíbrios as organizações extraem vantagem competitiva (PENROSE, 2006). Para alcançar a vantagem competitiva, o recurso precisa ser valioso, raro, escasso e inimitável (BARNEY, 1991; EISENHARDT; MARTIN, 2000).

A vantagem competitiva, por meio de oportunidades de expansão, está ligada aos fatores de mudanças, novas condições do mercado, conhecimento, serviços e mudanças nas condições externas e internas. Neste sentido, para manter suas posições em relação aos seus concorrentes, as firmas buscam novos tipos de serviços, que incluem o monitoramento de novos desenvolvimentos técnicos e possibilidades de inovação. Isto faz com que as firmas sejam grandes laboratórios de pesquisas industriais, aumentando a velocidade da criação de novos conhecimentos (PENROSE, 2006).

A proteção das firmas contra as concorrências direta e indireta não está baseada prioritariamente na exploração das oportunidades, mas na antecipação das ameaças como as inovações de processos, produtos, processos e tecnologias dos concorrentes (PENROSE, 2006).

2.4.2 Capacidades dinâmicas

As capacidades dinâmicas, cujo conceito deriva da visão baseada em recursos (WERNERFELT, 1984; PETERAF, 1993; PENROSE, 2006), permitem a melhor compreensão dos diferentes caminhos que as organizações definem para assegurar vantagem competitiva (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017). As capacidades dinâmicas ganharam importância em vários domínios de conhecimento, ao abordarem a forma como as organizações podem lidar com mercados cada vez mais

dinâmicos e complexos para manter a vantagem competitiva (TEECE, 1997, 2007).

Teece, Pisano e Shuen (1997, p. 516) definem as capacidades dinâmicas como “*the organizations ability to integrate, build and reconfigure internal and external competencies to address rapidly changing environments*”. Competências representam o conjunto de rotinas e processos organizacionais, cujo desempenho depende de ativos específicos e difíceis de imitar. Dinâmicas representam as situações de mudanças rápidas na tecnologia e no mercado (MEIRELLES; CAMARGO, 2014). Esse conceito posiciona as capacidades dinâmicas como um conjunto de processos que resultam em alterações nos recursos, a fim de adaptar a organização às mudanças do ambiente (EISENHARDT; MARTIN, 2000; HELFAT; PETERAF, 2009; MEIRELLES; CAMARGO, 2014; TONDOLO; BITENCOURT, 2014).

A reconfiguração, aprendizado e integração de recursos são os principais processos que compõem as capacidades dinâmicas (EISENHARDT; MARTIN, 2000; TEECE; PISANO; SHUEN, 2007). Desta forma, a organização deve buscar novas configurações de recursos à medida que os mercados emergem, colidem, dividem, evoluem e morrem (ROHRBECK, 2010). As diferentes concepções das capacidades dinâmicas estão listadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Definições de capacidades dinâmicas.

| Autores | Definições |
|----------------------------|--|
| Collis, 1994 | Capacidade em inovar mais rápido que a concorrência. |
| Teece; Pisano; Shuen, 1997 | Capacidade da organização integrar, criar e reconfigurar competências internas e externas para lidar com ambientes de mudança. |
| Eisenhardt; Martin, 2000 | Processos organizacionais que usam recursos para criar mudanças. |
| Winter, 2003 | Capacidades para operar, estender, modificar ou criar capacidades comuns. |

Continua

Tabela 2.1 – Conclusão.

| | |
|---|--|
| Helfat; Finkelstein; Mitchel; Peteraf; Singh; Teece; Winter, 2007 | Capacidade de uma organização criar, estender ou modificar sua base de recursos. |
| Dosi; Faillo; Marengo, 2008 | Heurísticas gerenciais e ferramentas de diagnósticos constituem o cerne das capacidades dinâmicas. |
| Daneels, 2008 | Capacidade de uma organização alcançar formas novas e inovadoras de vantagem competitiva. |
| McKelvie; Davidson, 2009 | Capacidades dinâmicas como um conjunto de capacidades (geração de ideias, rupturas de mercado, desenvolvimento de novos produtos, serviços e processos). |
| Teece, 2007, 2009 | Capacidade de perceber o ambiente, aproveitar oportunidades, gerenciar ameaças e realizar transformações. |

Fonte: Adaptada de Meirelles e Camargo (2014).

2.4.3 Mapa de capacidades dinâmicas

As pesquisas no campo da estratégia buscaram melhorar o entendimento, definição, previsão e mensuração sobre a forma como as capacidades dinâmicas de uma organização moldam a sua vantagem competitiva (PISANO, 2016). Nos últimos 20 anos, muitas publicações relevantes debateram sobre como as capacidades dinâmicas moldam a vantagem competitiva de uma organização (TEECE; PISANO, 1994; TEECE; PISANO; SHUEN, 1997; EISENHARDT; MARTIN, 2000; PISANO, 2016; TEECE, 2018).

A pesquisa em capacidades dinâmicas precisa ser redefinida em torno do problema estratégico da organização, identificando e selecionando as capacidades que levam à vantagem competitiva. Pisano (2016) estrutura diferentes tipos de capacidades em um *framework* baseado no grau de fungibilidade, que representa a capacidade de substituição das capacidades. As capacidades abrangem um *continuum* que vai do propósito geral ao propósito específico e do aprofundamento à ampliação das capacidades.

Duas lacunas estratégicas importantes foram exploradas. A primeira se refere à escolha da organização sobre os investimentos nas capacidades dinâmicas que moldam os resultados da organização. A segunda está relacionada às escolhas de capacidades e decisão sobre a criação ou preservação de capacidades. Uma teoria estratégica baseada em capacidades dinâmicas deve identificar as alternativas disponíveis e impactos desta escolha em diferentes circunstâncias (PISANO, 2016).

A escolha de capacidades dinâmicas depende da melhor compreensão dos impulsionadores e limites da organização, para depois desenvolver novas capacidades (PISANO, 2016). Ao permitir que uma organização se adapte ao ambiente em mudança, as capacidades dinâmicas devem contribuir para o desempenho de longo prazo da organização (TEECE, PISANO, SHUEN, 1997; TEECE, 2007). As capacidades dinâmicas criam opções para investir em diferentes tipos de competências, cuja escolha é fundamental para o desempenho da organização (PISANO, 2016).

Adaptabilidade e escolha são dois lados diferentes da mesma moeda, que podem afetar o desempenho da organização (PISANO, 2016). As capacidades podem ser consideradas como variável estratégica, desde que os tomadores de decisão possam influenciar sua criação, desenvolvimento e evolução (WANG; AHMED, 2007; ANDRIANI; CATTINI, 2016).

A concorrência ocorre em dois níveis. O primeiro em um nível visível de produtos no mercado, e diz respeito às decisões habituais, posicionamento e dissuasão. O segundo nível, menos visível, envolve a criação de capacidades operacionais, organizacionais e tecnológicas (PISANO, 2016).

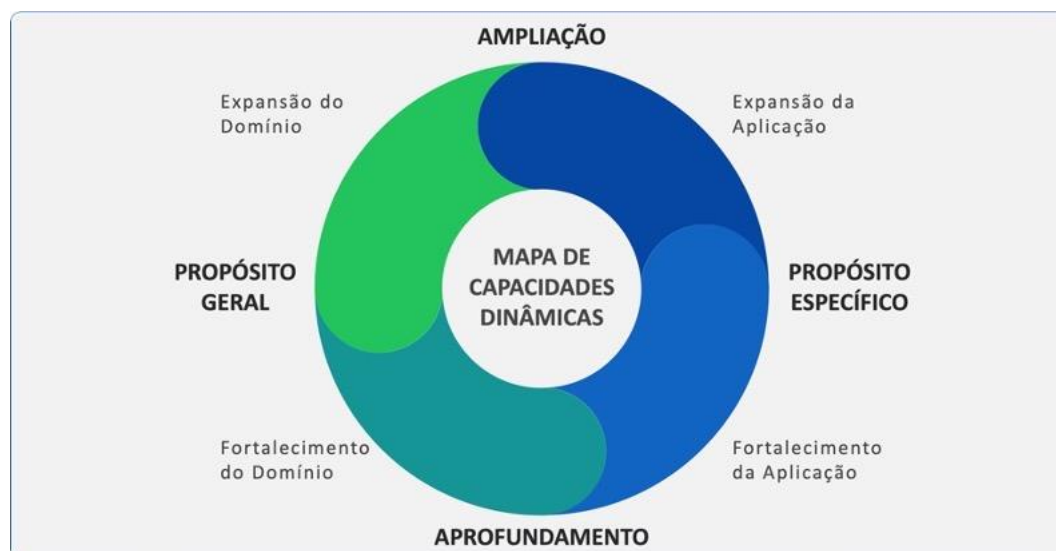
A formação de capacidades reflete um processo evolutivo (NELSON; WINTER, 1982) de múltiplos investimentos, que incluem projetos de P&D, desenvolvimento de novas tecnologias, aprimoramentos em capital físico e humano, experimentação, revisão de processos operacionais e aprendizado (PISANO, 2016). Construir capacidades envolve mais do que escolher onde investir, mas os resultados a serem alcançados com estas

capacidades, em condições de incerteza (FUJIMOTO, 1999; PISANO, 2016).

As incertezas desses investimentos podem ter origem na oferta por demanda de capacidades. Do lado da oferta, criação de capacidades, a incerteza está na abordagem dos limites da organização. Do lado da demanda, busca por capacidades, a incerteza está no valor econômico de um portfólio e origina na falta de informações sobre as necessidades futuras (PISANO, 2016).

As dimensões do mapa de escolhas de capacidades são: ampliação, aprofundamento, propósito geral e propósito específico (Figura 2.4). Diferentes estratégias de busca de capacidades envolvem diferentes graus de incerteza, tanto do lado da oferta quanto do lado da demanda. As estratégias de aprofundamento implicam menor incerteza do lado da oferta (organização) do que as estratégias de ampliação e a criação de capacidades de propósito geral envolve menor incerteza do lado da demanda do que a criação de capacidades específicas do mercado (PISANO, 2016).

Figura 2.4 – Mapa de escolha de capacidades dinâmicas.



Fonte: Adaptada de Pisano (2016).

A estratégia organizacional pode exigir investimentos em diferentes combinações de capacidades, incluindo as novas capacidades (PISANO, 2016). A diversificação de capacidades tem sido um tema amplamente

explorado nas últimas décadas no campo estratégico (TEECE, 1982; MONTGOMERY; WERNERFELT, 1988; TEECE; PISANO, 1994; PISANO, 2016). A diversificação de recursos (PENROSE, 2006), por meio de respostas adaptativas, é um componente estratégico de competitividade importante para se manter os recursos existentes e a vantagem competitiva (KOR; MAHONEY, 2004).

A estrutura foi elaborada com base em uma lacuna na literatura que relaciona as capacidades dinâmicas com a vantagem competitiva da organização. Considera-se que o diferencial dos resultados de uma organização está na escolha entre diferentes estratégias (ampliação versus aprofundamento) e diferentes tipos de capacidades (propósito geral versus propósito específico) (PISANO, 2016).

Pisano (2016) identificou três lacunas em sua pesquisa: (1) uma lacuna empírica a respeito dos padrões de investimentos das organizações em diferentes esforços de capacidades; (2) uma lacuna de conhecimentos teórico e empírico, referentes aos julgamentos sobre a combinação de capacidades que a organização pode adotar em momentos específicos; (3) uma lacuna referente ao que é necessário para uma organização alterar suas estratégias de busca por capacidades.

3 REVISÃO DE LITERATURA – PARTE II

3.1 Níveis de maturidade tecnológica

Durante a década de sessenta, a NASA, em função de sua pouca ou nenhuma herança tecnológica espacial, dependia dos avanços puxados pelos novos programas de voo. Estes programas geraram um grande inventário de recursos para a tecnologia espacial e evolução da pesquisa e desenvolvimento (SADIN; POVINELLI; ROSEN, 1989).

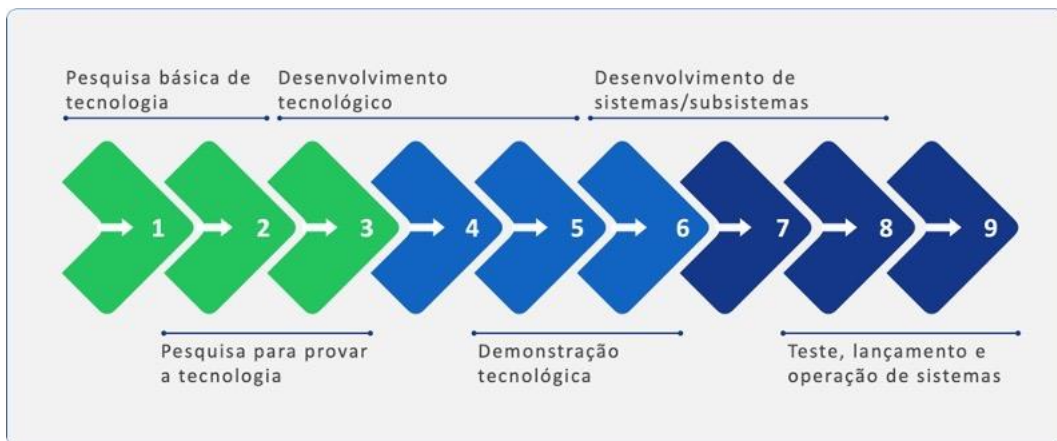
As diferentes percepções entre o nível de maturidade tecnológica desejado e real foram muitas vezes a causa da suspensão de um desenvolvimento. Os registros da NASA demonstram que a diferença entre sucesso e falha é rastreável, permitindo a adequação do programa na busca pela maturidade tecnológica. Este aprendizado gerou a primeira formulação dos níveis de maturidade tecnológica. Esta escala de sete níveis conseguiu contemplar categorias ligadas à pesquisa básica, viabilidade, desenvolvimento e demonstração (SADIN; POVINELLI; ROSEN, 1989):

- Nível 1: Princípios básicos observados e relatados;
- Nível 2: Aplicação potencial validada;
- Nível 3: Prova de conceito demonstrada;
- Nível 4: Componente ou equipamento validado em laboratório;
- Nível 5: Componente ou equipamento validado em ambiente simulado ou real;
- Nível 6: Adequação do equipamento validado em ambiente simulado;
- Nível 7: Adequação do equipamento validado no espaço.

Não existe um nível único e ótimo de maturidade para uma aplicação tecnológica. Portanto, nem todos os programas de pesquisa e desenvolvimento precisam ser avaliados para a demonstração completa de um sistema (SADIN; POVINELLI; ROSEN, 1989).

O modelo de Sadin, Povinelli e Rosen (1989) evoluiu para o modelo desenvolvido por Mankins (1995), representado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Níveis de maturidade tecnológica (TRL).



Fonte: Adaptado de NASA (2016).

Este modelo de TRL (MANKINS, 1995) está dividido em (a) pesquisa básica em novos conceitos e tecnologias, (b) desenvolvimento de tecnologias específicas para aplicações potenciais identificadas, (c) desenvolvimento e demonstração de tecnologia para cada aplicação, antes do desenvolvimento completo do sistema, (d) desenvolvimento do sistema através da produção da primeira unidade e (e) sistema de lançamento e operações. Na estrutura de Mankins (1995), os níveis de TRL são:

- **TRL 1 - Observação e registro dos princípios básicos:** este é o nível mais baixo de maturidade tecnológica, no qual a pesquisa científica começa a ser traduzida em pesquisa aplicada e desenvolvimento.
- **TRL 2 - Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada:** a partir da observação dos princípios básicos, as aplicações práticas podem ser identificadas. Neste nível a aplicação é especulativa, sem prova experimental para suportar hipóteses.
- **TRL 3 - Função crítica analítica e experimental e/ou prova de conceito característica:** início da fase de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Este nível inclui as provas de conceito e os estudos laboratoriais para validação das previsões analíticas.
- **TRL 4 - Validação do componente e/ou equipamento em ambiente laboratorial:** a partir de um resultado positivo da prova de

conceito, os elementos tecnológicos devem ser integrados para estabelecerem o funcionamento conjunto com os níveis de desempenho esperados. Esta validação deve ser consistente com os requisitos do sistema.

- **TRL 5 - Validação do componente e/ou equipamento em ambiente relevante:** neste nível, a fidelidade dos componentes ou sistemas deve aumentar significativamente. Os elementos tecnológicos devem ser integrados para que as aplicações possam ser testadas em um ambiente simulado mais realista. Várias novas tecnologias podem estar envolvidas na demonstração.
- **TRL 6 - Modelo de sistema/subsistema ou protótipo de demonstração em ambiente relevante:** este nível representa um passo importante para a maturidade tecnológica em relação à fidelidade de demonstração. O protótipo é testado em ambiente relevante e contempla a integração de várias tecnologias.
- **TRL 7 - Demonstração do protótipo do sistema em ambiente espacial:** neste nível, o protótipo deve estar próximo da escala do sistema operacional e a demonstração deve ocorrer em ambiente real. Alcançar esse nível de maturidade inclui garantir a confiança na gestão de sistemas e desenvolvimento.
- **TRL 8 - Sistema real concluído e qualificado para voo através de teste e demonstração:** por definição, todas as tecnologias que estão sendo aplicadas nos sistemas reais passam pelo nível 8. Este nível representa o fim do desenvolvimento do sistema, mas também pode contemplar a integração de novas tecnologias em um sistema existente.
- **TRL 9 - Sistema real aprovado em voo através de operações de missão bem-sucedidas:** todas as tecnologias que estão sendo aplicadas em sistemas reais passam pelo nível de maturidade 9. Este nível representa o fim das correções do desenvolvimento do sistema e pode incluir a integração de novas tecnologias em sistema existente, mas não inclui a melhoria de sistemas.

3.1.1 Custos associados aos níveis de maturidade tecnológica

Mankins (2009a) detalhou a relação do custo com o esforço financeiro demandado para alcançar determinado nível de maturidade tecnológica:

- TRL 1: estes custos podem variar de uma fração muito pequena dos custos relacionados a uma eventual aplicação do sistema até mais que o próprio sistema.
- TRL 2: os custos tendem a variar significativamente de uma pesquisa para a outra e as atividades relacionadas podem ser realizadas por empresas, universidades, institutos de pesquisa e empreendedores individuais.
- TRL 3: normalmente os custos são baixos a moderados, podem variar entre diferentes áreas de pesquisa e desenvolvimento e representam uma pequena fração dos custos do sistema. As atividades podem ser realizadas por muitas organizações e envolvem outros investimentos formais, públicos ou privados.
- TRL 4: os custos são moderados, representam uma pequena fração dos custos do sistema e podem ser maiores que os investimentos necessários para alcançar o TRL 3. As atividades podem ser realizadas por várias organizações de P&D, exigindo investimentos públicos, privados e financiamento de risco.
- TRL 5: os custos de P&D são geralmente moderados a altos e tendem a ser específicos da tecnologia. Pode chegar a duas vezes ou mais que os custos necessários para alcançar o TRL 4. Essas atividades certamente são realizadas por uma organização formal de P&D e envolvem investimentos público, privados e financiamento de risco.
- TRL 6: os custos de P&D podem ser altos e, em grande parte, específicos por tecnologia. Geralmente são menores que o investimento para alcançar o TRL 7. As atividades devem ser realizadas por organizações específicas, em função do aumento significativo dos custos, e podem envolver investimentos públicos, privados e financiamentos de risco.

- TRL 7: os custos de P&D são altos e dependem da escala e da fidelidade de demonstração do protótipo do sistema. Estes custos provavelmente são maiores, de duas ou mais vezes, que o investimento para alcançar o TRL 6. As atividades sempre envolverão patrocínio formal através de investimentos público, privado e financiamento de risco.
- TRL 8: esses custos, altos, são específicos da missão e dos requisitos funcionais do novo sistema. Na maioria dos casos, esses custos são maiores do que os custos combinados de todos os níveis anteriores de TRL, podendo chegar a um fator de 5 a 10 vezes. O esforço de desenvolvimento do sistema, devido ao aumento expressivo dos custos, normalmente envolve investimento público, privado e financiamento de risco.
- TRL 9: estes custos são relacionados à missão realizada. São custos altos, mas significativamente inferiores aos custos relacionados à etapa anterior.

O gerenciamento de risco e o amadurecimento de novas tecnologias, essenciais para o sucesso dos projetos de desenvolvimento tecnológico, enfrentam três desafios: desempenho, prazo e custo. Os programas de P&D podem reduzir substancialmente a incerteza nessas dimensões (MANKINS, 2009b).

Se a área de P&D tiver uma implementação precoce, os novos desenvolvimentos dos sistemas compostos por tecnologias avançadas podem sofrer excessos de custos, atrasos no cronograma e a erosão constante de desempenho. O desafio para os gerentes de sistemas e tecnologias é poder fazer avaliações claras e bem documentadas da maturidade tecnológica e riscos associados em pontos críticos no ciclo de vida do programa (MANKINS, 2009b).

3.1.2 Riscos associados aos níveis de maturidade tecnológica

Uma abordagem relevante para P&D é a avaliação da maturidade tecnológica associada ao risco (TRRA - *Technology Readiness and Risk Assessment*), que considera os seguintes fatores (MANKINS, 2009b):

- Clareza: o processo envolve critérios de decisão claros para determinar os riscos e a maturidade tecnológica.
- Transparência: o processo de avaliação de risco e maturidade tecnológica deve ser formal, mas não burocrático.
- Nitidez: as decisões durante a avaliação do TRRA devem ser feitas com a participação da alta administração. Estes processos devem ser nítidos, oportunos e adequados aos orçamentos do programa de P&D e do sistema.
- Utilidade: os processos usados para tomar decisões em TRRA também devem gerar a base de dados para a defesa do resultado.

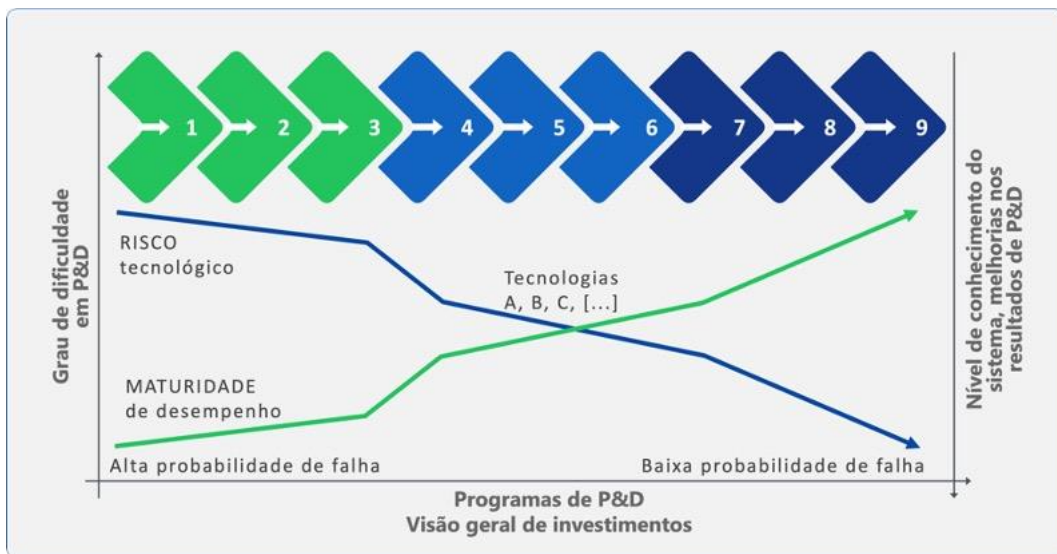
O modelo TRRA propões acrescentar ao desenvolvimento da tecnologia, os elementos de análise de risco em função do grau de maturidade tecnológica (MANKINS, 2009b, AZIZIAN; SARKANI; MAZZUCHI, 2009).

Em geral, os objetivos dos esforços de pesquisa e desenvolvimento tecnológico são triplos. O investimento em P&D deve resultar em melhorias nos parâmetros de desempenho para a nova tecnologia que está em desenvolvimento. O esforço de P&D da tecnologia deve resultar em maturação geral da tecnologia, sempre considerando um olhar para os requisitos das aplicações de sistemas e das inovações envolvidas. Os investimentos em P&D devem resultar na redução dos riscos para as atividades de P&D subsequentes (MANKINS, 2009b).

O verdadeiro desafio para o tomador de decisão é que tecnologias diferentes (tecnologias A, B, C) devem amadurecer de maneiras diferentes, algumas progredindo mais em desempenho e outras em redução de risco. O tomador de decisão deve entender todos os fatores e sincronizá-los aos programas de P&D.

Mankins (2009b) fornece uma visão para esse desafio, incluindo os processos de (1) redução de risco tecnológico, (2) melhoria de desempenho e (3) maturidade tecnológica global (Figura 3.2). O tomador de decisão deve avaliar se as tecnologias necessárias para o novo sistema atingiram coletivamente o ponto de maturidade, risco e desempenho necessários para a continuação do desenvolvimento do sistema.

Figura 3.2 – Cenário genérico de desenvolvimento tecnológico.



Fonte: Adaptado de Mankins (2009a).

Cada vez mais a incorporação oportuna e bem-sucedida de tecnologias inovadoras em novos sistemas é um fator crítico para o sucesso ou fracasso dos programas da organização. O desenvolvimento contínuo de metodologias permite a identificação de necessidades e oportunidades tecnológicas, e os programas de pesquisa e tecnologia (P&T) são essenciais para o progresso da organização (MANKINS, 2002).

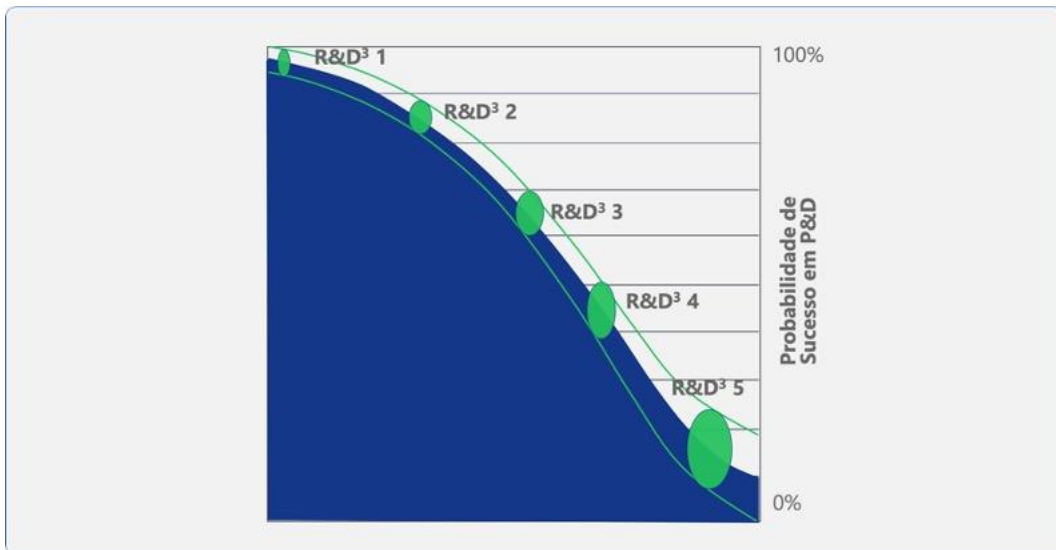
O desenvolvimento de novas capacidades depende do sucesso prévio de tecnologias avançadas e esforços de desenvolvimento, podendo reduzir a incerteza em todas as dimensões do gerenciamento de projetos. Os níveis de TRL constituem uma ferramenta valiosa para o gerenciamento de tecnologias, com informações sobre o nível de maturidade atual e desejado de uma tecnologia para determinada aplicação (MANKINS, 2009a). O sucesso de longo prazo depende de metodologias adicionais, que permitem a identificação antecipada de fatores de incerteza nos programas e incertezas derivadas das tecnologias em futuros desenvolvimentos de sistemas (MANKINS, 2002).

A abordagem de TRL tem algumas limitações, como as incertezas relacionadas à busca de um nível de maturidade tecnológica em um programa de P&D. Este fator exigiu uma métrica adicional para o grau de incerteza de P&D ($R\&D^3$, *Research and Development Degree of Difficulty*),

associado à evolução de determinada tecnologia para complementar a métrica de TRL. O grau de incerteza, ou dificuldade em P&D ($R\&D^3$) é a medida do grau de risco do esforço planejado para o amadurecimento de uma tecnologia (MANKINS, 1998, 2002, 2009b).

Os graus de dificuldade entre os níveis de maturidade tecnológica ($R\&D^3$) são (Figura 3.3):

Figura 3.3 – Grau de Dificuldade entre os Níveis de Maturidade de P&D ($R\&D^3$).



Fonte: Adaptado de Mankins (2009b).

- $R\&D^3$ 1: este nível prevê um grau de dificuldade muito baixo no desenvolvimento da tecnologia, em desempenho, objetivo e custo. Algumas abordagens tecnológicas de curto prazo precisam ter alta probabilidade de sucesso para a aplicação em sistemas. Neste nível, a probabilidade de sucesso é de 95% a 99%.
- $R\&D^3$ 2: este nível prevê um grau de dificuldade moderado na realização dos objetivos de P&D e exige a busca de uma ou mais abordagens tecnológicas. A probabilidade de sucesso é superior a 90%.
- $R\&D^3$ 3: neste nível, muita dificuldade pode ser prevista na realização dos objetivos de P&D para essa tecnologia. Pelo menos três tecnologias serão necessárias e esses esforços devem ser conduzidos com antecedência suficiente para permitir uma

alternativa do subsistema e assegurar alta probabilidade de sucesso de sistemas posteriores. A probabilidade de sucesso é de 70% a 80%.

- R&D³ 4: alto grau de dificuldade na realização dos objetivos de P&D para essa tecnologia e a busca de muitas abordagens tecnológicas. As atividades devem ser realizadas com antecedência suficiente para permitir que o conceito de sistema alternativo e arquitetura seja pesquisada para minimizar o grau de incerteza e melhorar probabilidade de sucesso de sistemas posteriores. A probabilidade de sucesso é de 50% a 60%.
- R&D³ 5: o grau de dificuldade previsto na busca dos objetivos de P&D para esta tecnologia é extremamente alto. A pesquisa básica em áreas chave é necessária, antes do detalhamento de conceitos do sistema. A probabilidade de sucesso é de 30% a 40%.

O TNV mede a importância de uma tecnologia para uma ou mais aplicações em sistemas, ou conceitos de sistemas. Algumas tecnologias são habilitadoras (*enabling*) e outras estruturantes (*enhancing*) para o sistema, ou conceito do sistema. As tecnologias habilitadoras são consideradas críticas para as características funcionais do conceito e as tecnologias estruturantes, podem ser substituídas, impactando pequenas mudanças no desempenho, objetivo e custo do sistema a ser desenvolvido, ou em desenvolvimento (MANKINS, 2009b). O TNV tem uma escala de 1 a 5 e fatores de ponderação específicos para cada nível:

- TNV 1: neste nível, o esforço tecnológico não é crítico para o sucesso do programa e os avanços a serem alcançados são úteis para melhoria nos custos. As informações não são necessárias para as decisões de longo prazo. O fator de ponderação neste nível é de 40%.
- TNV 2: o esforço tecnológico é útil para o sucesso do programa e os avanços a serem alcançados podem melhorar significativamente custos e desempenho. Neste nível, as informações não são

necessárias para as decisões de médio a longo prazo. O fator de ponderação é de 60%.

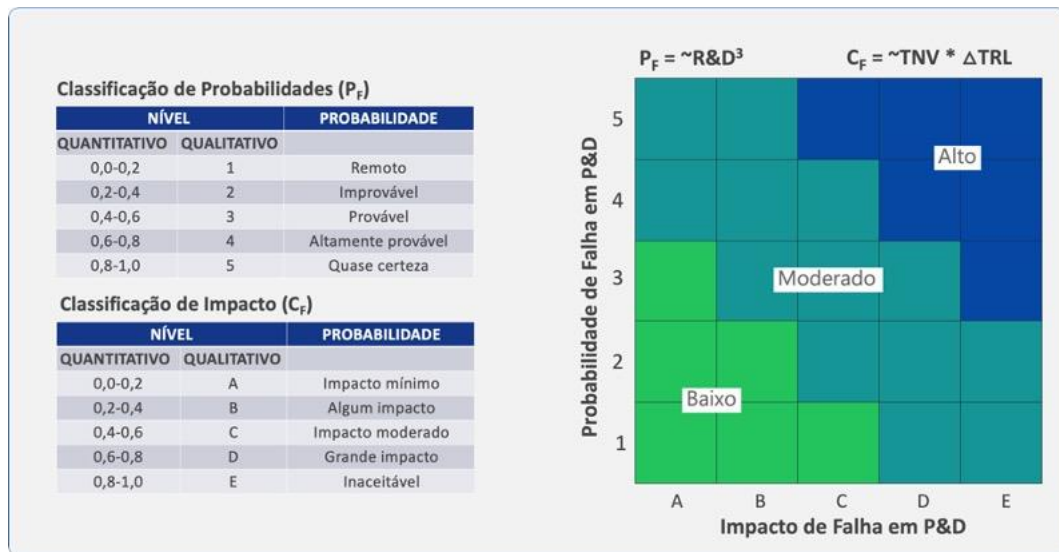
- TNV 3: o esforço tecnológico é importante para o sucesso do programa e os avanços a serem alcançados impactam a melhoria de desempenho, custo e objetivos. As informações são necessárias para as decisões em curto e médio prazos. O fator de ponderação é de 80%.
- TNV 4: o esforço tecnológico é muito importante para o sucesso do programa e para os avanços a serem alcançados favorecem as metas de custo e desempenho. As informações são altamente valiosas para as decisões de curto prazo. O fator de ponderação é de 100%.
- TNV 5: o esforço tecnológico é extremamente importante para o sucesso do programa e para os avanços de desempenho a serem alcançados. As informações são essenciais para as decisões em curto prazo. O fator de ponderação é de 120%.

O TNV é melhor entendido como um fator de ponderação com base na avaliação da importância de um desenvolvimento tecnológico em particular, seja em termos da aplicação de sistemas ou em termos do potencial do esforço tecnológico para fornecer informações importantes para futuras decisões de gestão de programas.

A proposta de Mankins (2009b) para o nível de maturidade tecnológica e avaliação de risco (TRRA, *Technology Readiness and Risk Assessment*) consolida (1) o método de maturidade tecnológica (TRL, *Technology Readiness Level*), (2) o grau de incerteza de P&D (R&D³, *Research and Development Degree of Difficulty*), e probabilidade de sucesso das atividades de P&D, e (3) a necessidade da tecnologia (TNV, *Technology Need Value*), que avalia a importância do desenvolvimento de uma tecnologia para o sucesso de um programa. O resultado desta composição gerou um modelo (matriz) em que os elementos do projeto são avaliados em função do grau de maturidade tecnológica, grau de dificuldade do

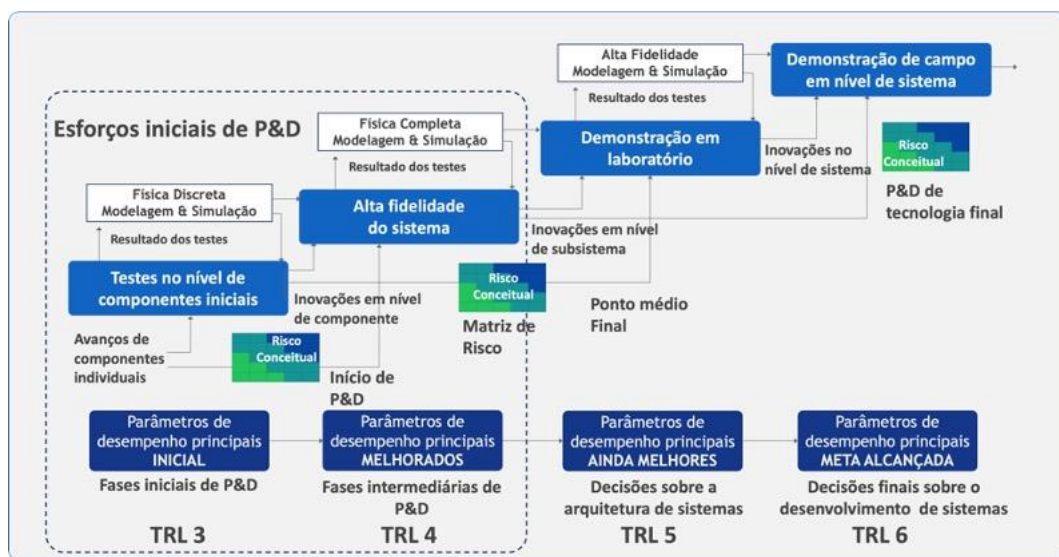
desenvolvimento e grau de importância da tecnologia para o sucesso do sistema.

Figura 3.4 - Matriz Integrada de Risco (TRRA).



Fonte: Adaptado de Mankins (2009b).

Figura 3.5 - Aplicação do TRRA a um programa de P&D.



Fonte: Adaptado de Mankins (2009b).

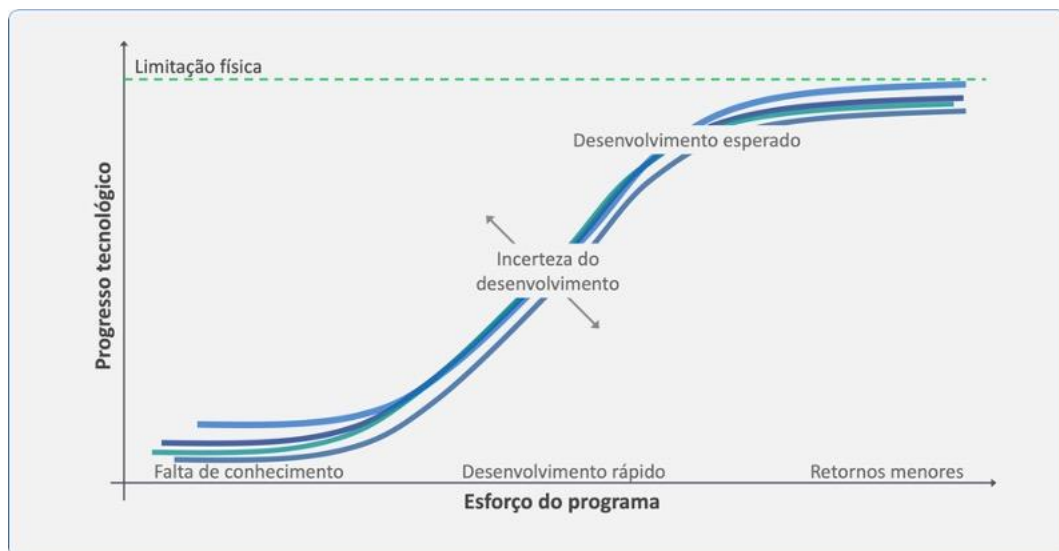
A matriz reflete tanto a probabilidade da falha ou sucesso ($R\&D^3$) como as consequências da falha ou sucesso (TRL e TNV) da tecnologia no sistema. A abordagem TRRA propõe uma matriz integrada de risco (Figura 3.4) que sumariza os detalhes individuais dos impactos esperados no amadurecimento da tecnologia (Figura 3.5). Esta abordagem permite que

uma matriz única consolide diversas áreas de risco tecnológico em uma comparação imediata (MANKINS, 2009b).

Uma das principais vantagens de se fazer uma análise da maturidade tecnológica é a capacidade de se estimar os riscos, graus de incerteza e custos para o desenvolvimento da tecnologia e do produto. A escala de TRL indica quão pronta a tecnologia está para ser utilizada (MANKINS, 2009a).

Há conceitos gerais, mas não há um padrão único de desenvolvimento de tecnologias. Por analogia a dados históricos, pressupõe-se que o desenvolvimento de tecnologias segue o padrão da curva 'S' (Figura 3.6), que indica o desenvolvimento esperado de uma tecnologia (PORTER et al., 1991).

Figura 3.6 - Curva 'S' de desenvolvimento de tecnologias.



Fonte: Adaptado de Porter et al. (1991).

A seleção das tecnologias necessárias ao novo sistema é um ponto crítico dos esforços de P&D, considerando-se que as tecnologias evoluem em ritmos e de maneiras diferentes. O desafio dos processos de tomada de decisão, no desenvolvimento de novas tecnologias, está na capacidade de se avaliar e documentar a maturidade e os riscos tecnológicos em pontos chave do ciclo de vida do programa. À medida que a maturidade tecnológica avança, o processo de tomada de decisão deve considerar a

incerteza tecnológica no nível de componente, a incerteza geral do sistema e o impacto da tecnologia no sistema (MANKINS, 2009b).

3.2 Vale da morte

Os processos de desenvolvimento de novos produtos têm início com a ideação e terminam com o lançamento de um produto no mercado, com custos cumulativos (TWISS, 1980; KESSLER; CHAKRABARTI, 1999; DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017). A pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e o desenvolvimento de produtos normalmente são estimulados e financiados por diferentes organizações (MURPHY; EDWARDS, 2003). No entanto, grande parte dessas tecnologias não chega ao mercado. Entre o desenvolvimento de novos conhecimentos científicos e o desenvolvimento de novos produtos foi identificada uma lacuna, chamada “vale da morte” (SENSENBRENNER, 1998; MARKHAM, 2002; BIEMANS; HUIZINGH, 2020), em que os projetos podem enfrentar grandes problemas relacionados a fatores financeiros, jurídico, de produção e cadeia de suprimentos (FORD; KOUTSKY; SPIWAK, 2007; MARKHAM et al., 2010).

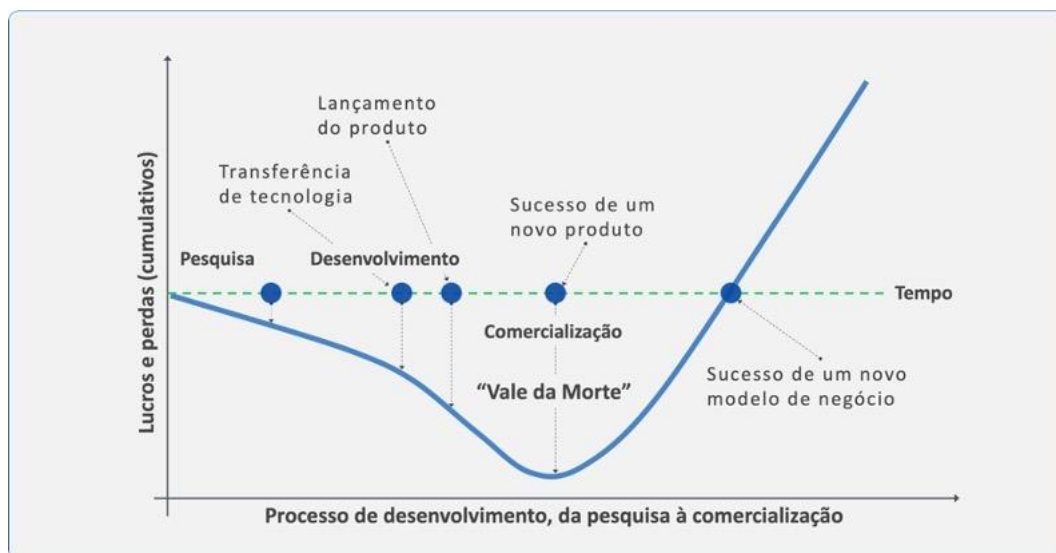
As pesquisas mostram que os resultados de P&D podem ser classificados em quatro situações: (1) sucesso em P&D, com a transferência de tecnologias; (2) sucesso no lançamento de um produto no mercado (aplicação de uma tecnologia); (3) sucesso de um novo produto; (4) sucesso de um novo modelo de negócio (OSAWA; MIYASAKI, 2006).

Muitos projetos falharam, em estágios intermediários do processo de desenvolvimento. Os recursos investidos inicialmente crescem ao longo do tempo e, em algum ponto criam um fluxo de caixa negativo, ou perda cumulativa, que pode ser melhorado com os lucros de vendas dos produtos (TWISS, 1980; OSAWA; MIYASAKI, 2006; DEAN; ZHANG; XIAO, 2020). A combinação da curva de lucro e perda cumulativa gera um padrão, que ilustra o “vale da morte”.

A Figura 3.7 indica o “vale da morte” (versão original) como a lacuna entre o lançamento do produto e o sucesso do novo modelo de negócio. O diagrama detalha uma estrutura na qual os projetos são divididos em dois

períodos: (1) da transferência de tecnologia, ao lançamento do produto e (2) do lançamento do produto ao sucesso de um novo modelo de negócio. A análise mostra que muitos recursos são investidos no desenvolvimento e, se forem bem-sucedidos, podem representar uma lucratividade futura significativa para a organização (OSAWA; MIYASAKI, 2006).

Figura 3.7 – “Vale da Morte”.



Fonte: Adaptado de Osawa e Miyasaki (2006).

Para muitas organizações, a tradução de suas pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos em desenvolvimento de produtos representa um grande desafio (MARKHAM et al., 2010; MAINE; LUBIK; GARNSEY, 2012; SLAYTON; SPINARDI, 2016). A estimativa revela que muitos novos desenvolvimentos tecnológicos não são comercializados, evidenciando o problema no aproveitamento de oportunidades através do lançamento de novos produtos. As organizações investem muito no desenvolvimento tecnológico, mas se estas tecnologias não forem comercializadas através da aplicação em novos produtos, recursos substanciais podem ser desperdiçados (DEAN; ZHANG; XIAO, 2020).

3.3 Tecnologias críticas

Bimber e Popper (1994) conceituaram as tecnologias críticas a partir de três critérios: (1) a tecnologia deve ser relevante para o setor de atuação; (2) deve se distinguir das demais em sua influência socioeconômica; e (3) sua reprodutibilidade deve ser possível por vários setores.

Tecnologia crítica é uma tecnologia estratégica para uma organização ou país, e seu domínio pode gerar independência em relação a um fornecedor externo (MELO et al., 2011). Representa a força motriz que contribui com a prosperidade e segurança econômica de uma nação, benefícios para a sociedade (KLUSACEK, 2003; WAGNER; POPPER, 2003; FEENBERG, 2003, 2014).

Um objetivo típico dos exercícios de prospecção é identificar as tecnologias mais importantes e prioritárias, que provavelmente serão exigidas pela indústria em determinado momento. As pesquisas devem contribuir para a consecução de objetivos estratégicos em setores-chave, importantes para a criação de valor para a organização (KLUSACEK, 2003).

Devido aos limites nos gastos com P&D, nem governo nem indústria podem investir em todos os campos de pesquisa. Para a melhor orientação desses investimentos e definição das áreas prioritárias de pesquisa, os exercícios de seleção buscam identificar as tecnologias críticas ou as linhas de pesquisa chave (KLUSACEK, 2003).

3.4 Processos acoplados

Com base nos princípios de que as organizações são heterogêneas e dependem de sua trajetória (*path-dependence*), Penrose antecipou a abordagem moderna da estratégia geral, a partir da VBR, que é um elemento teórico fundamental em sua teoria (LOCKETT, 2005):

I argue that Edith Penrose's work anticipated the modern approach to strategy in general, and the RBV in particular. Building on the central tenets of Penrose's arguments that firms are heterogeneous, which is the result of their path dependency [...] (LOCKETT, 2005, p. 83).

The legacy first begins by outlining the key to Penrose's writings, that is, firms are administrative organizations that are collections of heterogeneous productive resources that have been historically determined (LOCKETT, 2005, p. 85).

O conhecimento é uma noção abrangente e abstrata que definiu o debate epistemológico na filosofia ocidental desde a era grega clássica. Nos últimos anos, no entanto, houve um interesse crescente em tratar o

conhecimento como um recurso organizacional (ALAVI; LEIDNER, 2001) e de gerenciamento estratégico (NONAKA; TAKEUCHI, 1995; ALAVI; LEIDNER, 2001), que é uma perspectiva que se fundamenta na VBR (PENROSE, 2006).

As organizações que investem em P&D buscam criar valor econômico, seja pela apropriação desse valor, como no caso das organizações privadas, ou pela transferência de tecnologia para outras organizações, liberando recursos para a criação de novos conhecimentos (CHAGAS JUNIOR, 2009).

A partir da VBR explora-se o modelo de processos acoplados, que tem o objetivo de avançar na compreensão da dinâmica de inovação em organizações de sistemas complexos (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

As tecnologias podem ser classificadas de acordo com o domínio: de integração ou proprietário. No domínio de integração, cria-se a capacidade de absorção necessária para coordenar ativos complementares (subsistemas ou módulos) e a integração final desses ativos no sistema final. No domínio proprietário, a organização se qualifica para obter *know-how* em uma tecnologia específica (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

A proposta dos processos acoplados foi elaborada a partir de processos organizacionais de desenvolvimento de novos produtos e desenvolvimento tecnológico. Os cases permitiram a estruturação de um fluxo de conhecimento do domínio de integração para o domínio proprietário, seguindo a VBR e as capacidades dinâmicas (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

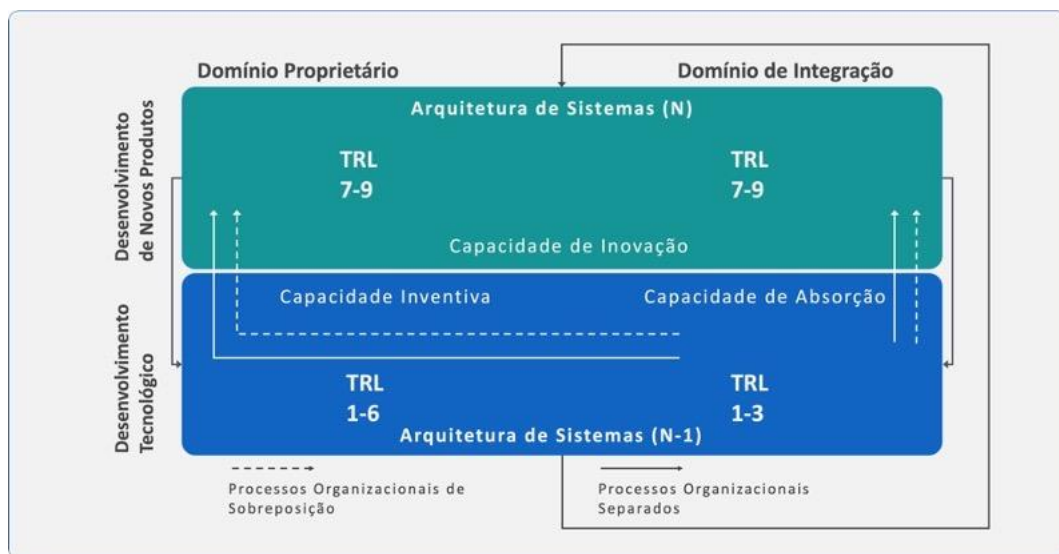
A mudança de posicionamento do integrador de sistemas no fluxo de valor da organização, de uma geração para a outra, pode ser melhor compreendida considerando os processos acoplados (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

Nos modelos relacionados à evolução das tecnologias organizacionais, as discussões sobre a escolha entre exploração e exploração buscam

equilibrar os processos acoplados. A seleção eficaz entre formas, rotinas ou práticas é essencial para a sobrevivência das organizações, mas também é responsável por gerar práticas alternativas, particularmente em condições de mudanças no ambiente (MARCH, 1991). Portanto, o balanceamento entre a alocação de recursos é apresentado por meio da distinção entre a evolução e aprimoramento ou o desenvolvimento de uma tecnologia (CHAGAS JUNIOR, 2009).

A amplitude e a profundidade do estoque de conhecimentos e das habilidades organizacionais geralmente variam significativamente entre as organizações, de acordo com a direção dos esforços de pesquisa e desenvolvimento e da experiência adquirida nos esforços de definição, desenvolvimento e operação de sistemas complexos (CHAGAS JUNIOR, 2009; CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

Figura 3.8 – Processos acoplados.



Fonte: Chagas Junior, Leite, Jesus (2017).

Os processos acoplados, detalhados na Figura 3.8 (CHAGAS JUNIOR, 2009; CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017), destacam o aprendizado organizacional, baseado no fluxo de conhecimentos concebidos para a base tecnológica de um integrador de sistemas (DIERICKX; COOL, 1989). A classificação de processos organizacionais separados indica que o desenvolvimento tecnológico precede o desenvolvimento de novos

produtos (CHAGAS JUNIOR, 2009; CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

Os processos acoplados consideram fluxos bidirecionais, alinhados com a ideia de aprendizado e uso do conhecimento (PENROSE, 2006), fatores essenciais para as propriedades emergentes (CHAGAS JUNIOR, 2009; CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017). Um fluxo representa a decomposição do sistema, do desenvolvimento de novos produtos ao desenvolvimento tecnológico. O sentido oposto, do desenvolvimento tecnológico ao desenvolvimento de novos produtos, representa a composição do sistema (CHAGAS JUNIOR, 2009; CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

O modelo 'processos acoplados' permite quantificar a profundidade do desenvolvimento tecnológico, a partir da composição das tecnologias em domínio proprietário ou de integração. A contribuição do modelo para os processos de tomada de decisão consiste na análise de integração de sistemas como um mecanismo entre a integração vertical e os mercados. Desta forma, o modelo melhora o entendimento das tomadas de decisão associados à integração ou desintegração vertical (CHAGAS JUNIOR, 2009; CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

A formação do portfólio tecnológico das organizações pertencentes à economia de industrialização recente (NIE – *Newly Industrialized Economies*) (KIM; NELSON, 2000) e inseridas em um ambiente de sistemas complexos diferem das indústrias de produção em massa (HOBDA, 1998, 2000). Esta observação se baseia na dinâmica de inovação de produtos e sistemas complexos (CoPS – *Complex Products and Systems*) (HOBDA, 1998), que representam o cerne do sistema econômico (ROSENBERG, 1976).

O *design* dominante (UTTERBACK; ABERNATHY, 1975; UTTERBACK, 1994) diferencia as indústrias CoPS das indústrias de produção em massa, podendo impactar competitividade e a estratégia de inovação da organização (HOBDA, 1998). A dinâmica da inovação também é diferente entre as indústrias de sistemas complexos e de produção em massa (CHAGAS JUNIOR; CAMPANARIO, 2014). A definição de padrões de

tecnologia é um caminho para o influenciar o desempenho de uma organização e o crescimento do mercado. Quando um mercado aceita determinada tecnologia como aquela que define as especificações para produtos, um design dominante é estabelecido (ABERNATHY; UTTERBACK, 1978; UTTERBACK, 1994; SUAREZ; UTTERBACK, 1995; SOH, 2010; BREM; NYLUND; SCHUSTER, 2016; VAN DER KAA, 2018). A maioria das inovações subsequentes será baseada no mesmo projeto tecnológico, que deve trazer à empresa que introduziu a tecnologia uma vantagem competitiva (BREM; NYLUND; SCHUSTER, 2016).

O portfólio tecnológico de uma organização é definido como um conjunto de conhecimentos e habilidades necessário para a realização de atividades operacionais de P&D (PENROSE, 2006). As indústrias CoPS se caracterizam por um amplo portfólio tecnológico, em um nível de maturidade que permita o desenvolvimento de um novo sistema (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017), cuja arquitetura exige uma especialização crescente em cada nível de integração: subsistemas, sistemas e sistemas de sistemas (GHOLZ, 2003; CHAGAS JUNIOR; CAPANARIO, 2014).

O número de interações entre os componentes do sistema aumenta significativamente com o número de componentes, permitindo novos comportamentos emergentes (HOBDDAY, 1998; SAGE; LYNCH, 1998). O negligenciamento de algumas interações pode impactar falhas no sistema e as interações concorrentes, as propriedades emergentes (CHAGAS JUNIOR; CAMPANARIO; SILVA, 2010). Para que o sistema funcione adequadamente, além da maturidade de uma única tecnologia, deve-se considerar que todas as tecnologias incorporadas nos subsistemas executem suas funcionalidades integradas ao sistema (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

3.5 Tema central da pesquisa e lacunas

A pesquisa foi direcionada para o desenvolvimento de um modelo estratégico dinâmico e adaptativo, para a detecção e o aproveitamento de oportunidades em organizações de sistemas complexos, inseridas em ambientes turbulentos e de grandes mudanças.

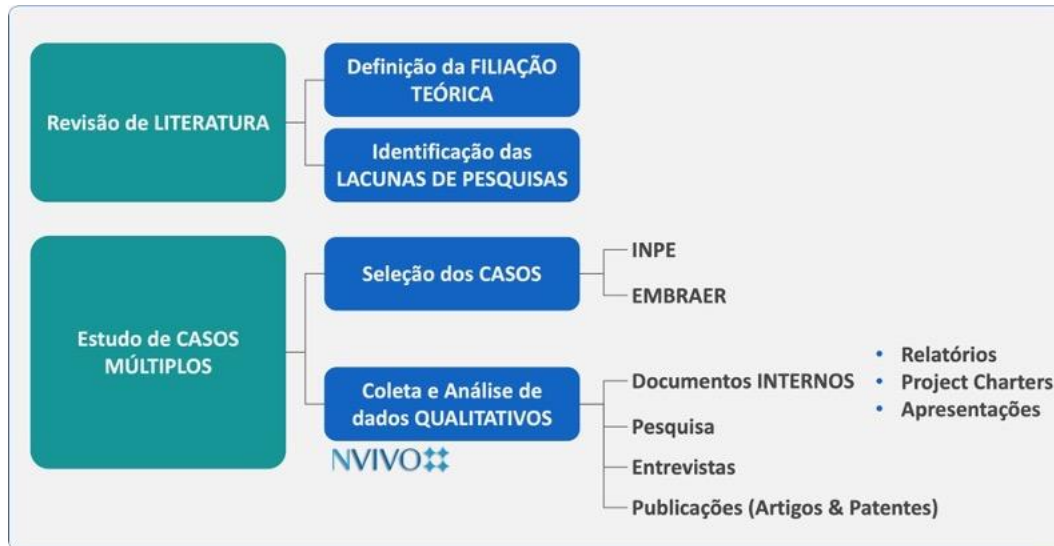
É importante definir as principais diretrizes para o desenvolvimento do modelo:

- Ampliar o monitoramento e a profundidade da análise de informações em diferentes horizontes de tempo;
- Melhorar base de informações para as tomadas de decisão em condições de incerteza;
- Promover estratégia tecnológica mais dinâmica e adaptativa;
- Promover um acoplamento mais robusto entre *sensing*, *seizing* e *transforming*;
- Melhorar a integração entre as áreas nas tomadas de decisão, minimizando vieses e ampliando a visão nas definições estratégicas.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa se baseia em estudos de caso, dentro da abordagem *Design Science*. Trata-se de uma pesquisa qualitativa e exploratória, que envolve pesquisa bibliográfica e documental (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Metodologia de Pesquisa.



Fonte: Produção da autora.

A análise cruzada de uma ampla revisão de literatura, *project charters*, relatórios internos, análise de patentes, publicações e as transcrições das entrevistas definiram os principais elementos que direcionaram a construção do artefato.

4.1 Estudo de casos múltiplos

A exploração de um campo de pesquisa relativamente novo e sobre o qual o conhecimento é limitado, direcionou esta tese para métodos de pesquisa exploratórios (EISENHARDT, 1989; MCCUTCHEON; MEREDITH, 1993; MEREDITH, 1993, 1998; YIN, 2014).

O estudo de casos constitui uma metodologia de pesquisa que busca o melhor entendimento das dinâmicas existentes em cada definição, a partir da combinação de diversos métodos de coleta de dados, que incluem provas qualitativas e quantitativas (EISENHARDT, 1989).

O estudo de casos envolve uma grande quantidade de dados e destina-se a identificar padrões de relações dentro e entre os casos analisados. A

análise envolve abordagens diferentes, como a exploração de diferentes dimensões em cada caso e análise de diferenças e semelhanças. Outra maneira é a análise de triangulação, que permite a coleta de dados múltiplos, permitindo uma base mais forte na construção de hipóteses (EISENHARDT, 1989). O método

“[...] explores a real-life, contemporary bounded system (a case) or multiple bounded systems (cases) over time, through detailed, in-depth data collection involving multiple sources of information... and reports a case description and case themes (CRESWELL, 2013, p. 97).

O estudo de casos constitui um método de pesquisa válido e importante nas ciências sociais, embora muitos pesquisadores acreditem que o método exige um procedimento sistemático, dada a sua subjetividade (EISENHARDT; GRAEBNER, 2007; YIN, 2014).

Os pontos de destaque no estudo de casos múltiplos são (EISENHARDT; GRAEBNER, 2007):

- O estudo de casos representa a base para o desenvolvimento de teorias indutivas;
- A teoria é estruturada a partir do reconhecimento das relações dos padrões entre os construtos de casos e entre os casos;
- A teoria induzida por casos complementa a pesquisa dedutiva;
- A pesquisa empírica tradicional começa com uma revisão da literatura, envolve a identificação de lacunas e propõe questões para tratar estas lacunas;
- A construção de teorias envolve um passo adicional que é a fundamentação do tema da pesquisa a partir de uma nova teoria e não pelo uso ou teste de uma teoria existente.

A metodologia inclui a definição da pesquisa, planejamento, seleção dos casos a serem explorados e analisados, elaboração do instrumento de pesquisa, coleta de dados, análise e comparação dentro e entre os casos, formulação de hipóteses e comparação com a base teórica (EISENHARDT, 1989b).

Estudos de caso único são particularmente poderosos em explorar um fenômeno específico (EISENHARDT; GRAEBNER, 2007; GUSTAFSSON, 2017). Os casos múltiplos permitem o desenvolvimento de uma teoria mais robusta, generalizável e testável (EISENHARDT; GRAEBNER, 2007). Os benefícios obtidos a partir do estudo de casos incluem o melhor entendimento dos eventos, teste de uma teoria existente e desenvolvimento de uma nova teoria (EISENHARDT, 1989; EISENHARDT; GRAEBNER, 2007; GUMMESSON, 2007; MIGUEL, 2007; BAXTER; JACK, 2008; CRESWELL, 2013). Esta é a importância da seleção dos casos, que devem ser escolhidos para assegurar uma teoria emergente (EISENHARDT, 1989), mais clareza e coerência lógica (EISENHARDT, 1989; EISENHARDT; GRAEBNER, 2007).

Os casos foram selecionados para esta tese em duas organizações do setor aeroespacial, Embraer e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). As pesquisas contribuem com a compreensão sobre a importância do melhor acoplamento entre o *sensing* e o *seizing* na construção da estratégia tecnológica, e sobre a forma as capacidades dinâmicas geram valor para as organizações. Esta pesquisa se baseou em conhecimento prévio a partir de construções disponíveis e uso de dados empíricos originais, buscando preencher as lacunas e melhorar o entendimento dos temas explorados, que como mostrado na revisão de literatura, têm diferentes fluxos de pesquisa.

Alguns pesquisadores baseiam seus estudos de casos no construtivismo, por considerarem que a verdade é relativa e depende da perspectiva de cada indivíduo (STAKE, 1995; YIN, 2014). O paradigma das interpretações, a abordagem fenomenológica e o construtivismo, como base da pesquisa qualitativa, estão fortemente ligados à definição e características dos estudos de caso (STARMAN, 2013).

Os casos selecionados e incluídos à amostra devem contribuir com a replicação, extensão, replicação contrária e eliminação de explicações alternativas de um fenômeno (LE MOIGNE, 1999; EISENHARDT; GRAEBNER, 2007). A escolha deve, portanto, responder casos anteriores ou assegurar uma teoria emergente (EISENHARDT, 1989).

Busca-se o desenvolvimento de um modelo que possa ser aplicado não somente às organizações aeroespaciais, mas às organizações de sistemas complexos, daí a busca de um nível de generalização mais alto. O estudo utiliza casos nos quais os direcionadores de negócio são o desenvolvimento tecnológico ou de produtos. Isto permite a identificação e replicação de novos fenômenos, verificação dos limites de aplicação e a verificação de fenômenos específicos relacionados às capacidades dinâmicas. Dentre os estudos de casos pesquisados, 5 foram priorizados para melhor entendimento de fenômenos específicos, 3 da Embraer e 2 do INPE. Os outros casos estudados estão relacionados no Apêndice A, visão geral (A.1) e detalhamento (A.2).

São múltiplos os instrumentos disponíveis para a coleta de dados, como documentos, relatórios, arquivos, artigos, entrevistas e observação (YIN, 2014). As entrevistas são importantes para a investigação de fenômenos estratégicos (EISENHARDT; GRABNER, 2007).

O uso de muitas fontes de evidência na coleta de dados é importante para assegurar a triangulação (YIN, 2014; ZAPPELLINI; FEUERSCHÜTTE, 2015; TUZZO; BRAGA, 2016). Triangulação é um método de investigação científica que combina diferentes métodos de coleta de dados, amostras e perspectivas teóricas, determinando três vértices e três níveis de exploração que consolidarão os resultados e conclusões a respeito do fenômeno investigado (ZAPPELLINI; FEUERSCHÜTTE, 2015; TUZZO; BRAGA, 2016).

A coleta de dados foi realizada nos últimos cinco anos, com pesquisadores e engenheiros, na Embraer e no INPE. Para melhorar a compreensão de aspectos relevantes na definição de portfólios tecnológicos a partir da captura de oportunidades, a estratégia de desenvolvimento tecnológico no setor aeroespacial foi detalhada por meio de análise de documentos internos, pesquisas, entrevistas, patentes e publicações acadêmicas. Os documentos internos incluem: apresentações sobre processos relacionados à estratégia tecnológica, relatórios e *project charters*.

As entrevistas foram semiestruturadas e baseadas em um roteiro padronizado (Apêndice B), que consiste em: (1) introdução e contexto, (2)

incertezas e propriedades emergentes, (3) análise das capacidades dinâmicas, (4) planejamento estratégico e (5) análise da complexidade do ambiente.

As entrevistas foram realizadas nas áreas de desenvolvimento tecnológico e de produto, com pesquisadores e engenheiros de desenvolvimento de tecnologias e produtos, em diferentes níveis hierárquicos. Foram 18 entrevistados na Embraer, em 13 estudos de caso, e 5 entrevistados no INPE, em 5 estudos de caso. Foram mais de 30 horas de entrevistas, todas elas, transcritas.

4.2 Formas de raciocínio lógico

A tricotomia formal da lógica de Peirce inclui dedução, indução e abdução. A dedução representa um modo de raciocínio que avalia o estado das coisas a partir de premissas e a indução representa o modo de raciocínio que adota uma conclusão aproximada, como resultado de inferência (PEIRCE, 1974).

A abdução adota a geração de hipóteses, em que todas as consequências possíveis estão sujeitas a verificação experimental (PEIRCE, 1974). Trata-se de um raciocínio de caráter original e de fundamental importância para a ciência por permitir novas descobertas, explicando resultados, explorando dados, identificando padrões e sugerindo hipóteses (PEIRCE, 1932). Sua relevância reside no fato de ser o único raciocínio capaz de permitir novas ideias (PEIRCE, 1932, 1998). O raciocínio abduutivo representa a projeção de uma possibilidade (DONG et al., 2005), não explicando as observações por meio de uma hipótese plausível (DONG et al., 2015).

O raciocínio abduutivo gera hipóteses explicativas para um dado fenômeno, mas a verificação dessas hipóteses está associada a métodos indutivos ou dedutivos. É o método mais adequado para compreender um problema e introduzir uma nova ideia devido ao seu caráter criativo (PEIRCE, 1932, 1974, 1998; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015). Tende a ser associado ao *design thinking* (DONG et al., 2015) e inclui a experimentação de projetos mais inovadores em estágio inicial de desenvolvimento,

evitando a exclusão prematura de empreendimentos potencialmente lucrativos e inovadores (DONG et al., 2012; DONG et al., 2015).

Nesta tese, as três formas de raciocínio lógico, dedução, indução e abdução foram abordadas, destacando-se a relevância da abdução na seleção de um projeto de desenvolvimento tecnológico de baixa maturidade e projetos de inovação.

4.3 Design Science (DS)

A abordagem *Design Science* (DS) teve início na década de sessenta, 1963, com os trabalhos de Fuller e McHale (DE SORDI et al., 2013). Em 1968, com a obra '*The sciences of the artificial*', a metodologia foi amplamente divulgada. Simon definiu a solução de problemas pela ciência do artificial e destacou que os artefatos construídos a partir das técnicas de pesquisa científica, são essenciais para a tomada de decisão (SIMON, 1996a).

Hevner et al. (2004) definiram a abordagem DS como uma ciência inerente ao processo de resolução de problemas, no qual o princípio fundamental, de onde derivam sete diretrizes, contempla a compreensão do problema e a sua solução, a partir da construção e aplicação de um artefato. As diretrizes são:

- Diretriz 1- Projeto de um artefato: a pesquisa em DS exige a criação de um artefato inovador e útil;
- Diretriz 2 - Relevância do problema: a pesquisa deve ser direcionada para o domínio do problema;
- Diretriz 3 - Avaliação do artefato: a completa avaliação do artefato é de suma importância para a pesquisa, considerando-se que o artefato se relaciona a um problema específico;
- Diretriz 4 - Contribuições da pesquisa: o artefato deve ser inovador, resolver um problema ainda não resolvido, ou um problema conhecido de maneira mais eficaz;

- Diretriz 5 - Rigor da pesquisa: o artefato deve ser rigorosamente definido, formalmente representado, coerente e internamente consistente;
- Diretriz 6 - Design como um processo de pesquisa: o artefato e a sua criação incluem um processo de busca que constitui um espaço sobre o qual se constrói um problema e se implementa uma solução;
- Diretriz 7 - Comunicação da pesquisa: os resultados da pesquisa em DS devem ser comunicados de forma eficaz, tanto para o público técnico como gerencial.

Por meio da metodologia, explora-se o interesse crescente na pesquisa científica e na gestão baseada em evidências. A orientação para a solução da pesquisa em DS pode levar a resultados mais relevantes, e o uso da pesquisa no gerenciamento baseado em evidências pode diminuir a fragmentação da base do conhecimento entre a teoria e a prática, reduzindo a distância entre a pesquisa acadêmica e as necessidades da organização (VAN AKEN; ROMME, 2009).

A relevância da metodologia DS está na abordagem de problemas enfrentados e oportunidades proporcionadas pela interação de pessoas, organizações e tecnologias por envolver profissionais que planejam, gerenciam, projetam, implementam, operam e avaliam sistemas (HEVNER et al., 2004).

4.4 Processo de pesquisa

A Diretriz 6 da metodologia DS, mostra que a construção de um artefato inclui a definição de um problema e a implementação de uma solução (HEVNER et al., 2004).

O processo de pesquisa foi dividido em 5 etapas.

Na primeira etapa foi realizada a revisão de literatura, que buscou explorar as lacunas nesta linha de pesquisa e as principais necessidades da estratégia tecnológica.

Na segunda etapa, o modelo estratégico (artefato) começou a ser estruturado com base nos primeiros estudos de casos.

Na terceira etapa, a primeira versão do modelo estratégico foi apresentada no exame de proposta, conferências nacionais e internacionais e workshops. A partir das contribuições obtidas, novos casos foram selecionados, de forma a complementar as entrevistas e adequar o modelo.

A quarta etapa, defesa preliminar de tese, validou a versão final do modelo estratégico, com novas contribuições de melhoria, como o modelo de simulação. A avaliação da banca permitiu aumentar a confiança no desenvolvimento do modelo.

Para a conclusão da tese final, quinta fase, novas entrevistas foram realizadas, aumentando a maturidade e validade do modelo.

4.5 Análise de dados

A pesquisa qualitativa, que ancora a base de dados (GODOY, 1995a), contempla análise documental, estudo de casos, etnografia, fenomenologia e pesquisa (GODOY, 1995b; DENZIN; LINCOLN, 2005; YIN, 2016). A pesquisa se caracteriza pelo ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento fundamental, caráter descritivo, as diferentes interpretações das pessoas às coisas e o enfoque indutivo na análise de dados (GODOY, 1995a), que pode ocorrer em vários níveis de abstração. As informações precisam ser consolidadas com o objetivo de permitirem análise mais precisas dos dados (STRAUSS, 2003).

Esta pesquisa gerou um grande volume de informações, com a transcrição das entrevistas, dados de relatórios internos, apresentações e publicações. As ferramentas computacionais em pesquisas qualitativas tendem a ser úteis especialmente com grande volume de dados ou quando é necessário cruzar informações (LAGE, 2011). Nesta pesquisa, o NVIVO 12 foi o software utilizado para tratamento e armazenamento dos dados com o objetivo de melhorar a análise, armazenar documentos e organizá-los.

A análise de dados e conteúdo é essencial para as pesquisas baseadas em metodologias qualitativas (LAGE; GODOY, 2008; YIN, 2016) e permite a produção de inferências a partir do teste de hipóteses. O avanço tecnológico permitiu o desenvolvimento de muitas ferramentas computacionais que favorecem as análises de dados, de análises simples

às análises mais complexas, viabilizando a codificação e categorização de grande quantidade de informações (ALVES; FIGUEIREDO FILHO; SILVA, 2015).

Os dados foram classificados por códigos (nós), termos utilizados no software NVIVO para as palavras-chave. Os códigos foram gerados a partir dos artigos considerados na revisão de literatura e dados coletados nas entrevistas (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Sistema de codificação e categorização de informações.

| Categorias | Códigos (Nós) |
|--------------------------------------|---|
| Contexto | Complexidade do ambiente |
| | Frequência de mudança (tecnologias e mercado) |
| | Investimento em P&D |
| | Visão de futuro |
| | Estratégia <i>Inside-out</i> ou <i>Outside-in</i> |
| Contexto | Alerta antecipado |
| | Integração entre áreas nas tomadas de decisão |
| Incertezas e Propriedades emergentes | Tomada de decisão sob incerteza |
| | Propriedades emergentes e aprendizagem organizacional |
| | Benefícios esperados |
| | Criticidade da tecnologia para a organização |
| | Melhor alinhamento entre as estratégias <i>Technology push</i> e <i>demand pull</i> |
| Capacidades Dinâmicas | Propósito geral ou específico |
| | Aprofundamento ou ampliação |
| | Aleatórias ou históricas |

Continua

Tabela 4.1 – Conclusão.

| | |
|--------------------------|---|
| Capacidades Dinâmicas | Investimentos em diferentes capacidades |
| Planejamento estratégico | Foco específico ou global |
| | Horizonte de tempo |
| | Precisão estratégica |
| | Captura de oportunidades |
| | Aproveitamento de oportunidades |
| | Velocidade (frequência) de mudanças |
| | Previsibilidade |
| | Maturidade tecnológica |
| | Regulamentação |
| | Financiamento |
| | Políticas públicas |
| | Eventos impactantes |

Fonte: Produção da autora.

Os estudos de casos permitiram a ampliação e o aprofundamento do conhecimento sobre a estratégia tecnológica em organizações de sistemas complexos. A comparação entre os casos favoreceu a identificação de fatores que podem melhorar os índices de sucesso desse processo.

As diferentes interpretações dos dados, que refletem a subjetividade das análises, torna a validação da pesquisa um grande desafio para os pesquisadores (YIN, 2005; EISENHARDT; GRAEBNER, 2007; LAGE; GODOY, 2008; YIN, 2016).

4.6 “Cebola” de pesquisa para estudos do futuro

Este capítulo consolida as abordagens de pesquisa, incluindo filosofias, teorias e metodologias à estratégia de longo prazo.

A exploração de estudos do futuro não é recente, embora seja nova como pesquisa científica (KUOSA, 2011; DERBYSHIRE, 2017). Os métodos

o desenvolvimento de uma pesquisa do futuro, é importante identificar as etapas lógicas que vinculam as suposições epistemológicas e ontológicas aos métodos de pesquisa e interpretações dos resultados (MELNIKOVAS, 2018).

A primeira camada, filosofia de pesquisa, destaca as estratégias e técnicas de pesquisa (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019). A escolha de uma filosofia apropriada em estudos do futuro tem sua complexidade baseada no fato de que não há evidências empíricas do futuro, que depende do campo operacional da pesquisa e das fontes de dados disponíveis. O positivismo é a filosofia mais indicada para as pesquisas com dados quantitativos. Se a pesquisa focar o uso de dados qualitativos, o interpretivismo ou o realismo crítico podem ser escolhidos como filosofia principal. O interpretivismo se baseia na construção de narrativas de futuros e o realismo crítico para a construção de cenários, que pressupõe a possibilidade de diferentes futuros (MELNIKOVAS, 2018).

A segunda camada define duas abordagens para estudos do futuro, previsão (*forecast*) e prospecção (*foresight*). A previsão está baseada em técnicas quantitativas, como extrapolação e modelagem, e a prospecção em técnicas qualitativas combinadas, mais adequadas para a construção de uma visão complexa de múltiplos futuros (POPPER, 2008; SARITAS, 2013; KARLSEN, 2014; MELNIKOVAS, 2018).

A tese se baseia fundamentalmente em dados qualitativos, que reforçam a importância do interpretivismo e realismo crítico no planejamento de cenários, e prospecção, como base para a construção de múltiplos futuros, detalhados na Seção 2.2.3.

A terceira camada aborda as lógicas de desenvolvimento de teorias, dedutiva, indutiva e abdutiva (MELNIKOVAS, 2018; SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019). A lógica dedutiva se refere ao raciocínio que se move da regra geral para a específica (KUOSA, 2011). Esta abordagem pode ser associada à previsão, porque a teoria desenvolvida pode ser testada e verificada (MELNIKOVAS, 2018). A lógica indutiva começa com uma observação específica da informação para a formulação de uma regra geral. Nos estudos do futuro, o raciocínio indutivo está associado a técnicas

intuitivas, enquanto o raciocínio dedutivo, com base na argumentação física, visa direcionar o conhecimento (KUOSA, 2011).

Um dos erros mais significativos nos estudos do futuro é a demanda para controlar ou prever o futuro, mutável e imprevisível. Uma previsão exata do futuro é frequentemente considerada pelos pesquisadores como falha, devido à falta de base científica para os estudos (KUOSA, 2011). Embora as lógicas dedutivas e indutivas sejam muito utilizadas em estudos do futuro, percebe-se a importância da mudança para o raciocínio abduutivo (KUOSA, 2011; DONG; LOVALLO; MOUNARATH, 2015).

O raciocínio abduutivo é uma forma de inferência, a partir da observação de sinais, que definem o início das pesquisas futuras. Assim, a lógica abduitiva é a melhor suposição com base nas evidências disponíveis (PATOKORPI; AHVENAINEN, 2009; KUOSA, 2011; DONG; LOVALLO; MOUNARATH, 2015; MELNIKOVAS, 2018; CRAMER-PETERSEN; CHRISTENSEN; AHMED-KRISTENSEN, 2019). Esse potencial inovador da lógica abduitiva a torna mais criativa e relevante na geração de ideias originais (DORST, 2011; CRAMER-PETERSEN; CHRISTENSEN; AHMED-KRISTENSEN, 2019). Nem o raciocínio dedutivo nem o indutivo podem propor ideias ou conceitos inteiramente novos porque dependem de dados disponíveis (PEIRCE, 1998).

A tese se baseia nas três formas de raciocínio lógico. No entanto, destaca-se a importância do raciocínio abduutivo, nas fases iniciais do desenvolvimento tecnológico, que envolve metodologias prospectivas, para melhor exploração no novo. A abdução, projetada para o futuro, permite a exploração de novas possibilidades. A dedução e a indução, que se referem a experiências passadas, estão baseadas em dados existentes.

A quarta camada aborda as estratégias de pesquisa, descritiva, normativa e exploratória (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019). A estratégia descritiva descreve os eventos futuros. A estratégia normativa visa moldar o futuro desejável e buscar os caminhos para alcançá-lo. A estratégia exploratória visa os futuros alternativos e os possíveis desenvolvimentos (KOSOW; GAßNER, 2008; CHO, 2013; NIKOLOVA, 2014; MELNIKOVAS, 2018).

A tese está mais direcionada para a estratégia exploratória, por explorar futuros alternativos e possíveis desenvolvimentos.

A quinta camada abrange a escolha metodológica, que se baseia no uso de métodos quantitativos e qualitativos, na combinação simples ou complexa de ambos e no uso de métodos únicos. O método quantitativo envolve números e operações matemáticas, enquanto o método qualitativo implica a coleta de um conjunto de dados descritivos. O método único é usado quando a pesquisa está focada na coleta de dados quantitativos ou qualitativos. Métodos mistos, quantitativos e qualitativos, também são usados dentro da mesma pesquisa para atingir objetivos diferentes e compensar as restrições do uso de métodos únicos (NIKOLOVA, 2014; SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2019). A escolha do método de pesquisa também é relevante para estudos de futuros. Entre os métodos quantitativos, incluem-se as análises temporal, causal e de tendências, e entre os métodos qualitativos, o método de Delphi, futuros alternativos e escaneamento do ambiente. Os métodos mistos incluem a modelagem a o desenvolvimento de cenários (SALE; LOHFELD; BRAZIL, 2002; NIKOLOVA, 2014; MELNIKOVAS, 2018). A escolha dos métodos dentro da pesquisa pode estar implícita na questão do problema de pesquisa e no objetivo geral da pesquisa (MELNIKOVAS, 2018).

Esta tese se baseia em métodos qualitativos e na triangulação de dados, buscando melhorar a precisão e amplitude das análises.

A sexta camada abrange o horizonte de tempo, que varia de acordo com a demanda do estudo (MELNIKOVAS, 2018), pode ser dividida em curto prazo, até 10 anos, médio prazo, até 25 anos e longo prazo, mais de 25 anos (KOSOW; GAßNER, 2008).

Esta tese foca principalmente nos prazos médio e longo.

A sétima camada, técnicas e procedimentos, move o projeto de pesquisa para a coleta e análise de dados. Todas as escolhas anteriores determinam o tipo de coleta de dados e procedimentos de análise, contribuindo para responder à questão da pesquisa (MELNIKOVAS, 2018).

Diferentes métodos criam uma base teórica, mas a incerteza metodológica e a natureza caótica da realidade não contribuem com a coerência dos estudos do futuro. A cebola de pesquisa para estudos futuros pode contribuir como uma abordagem heurística na construção de metodologia e desenvolvimento de projetos de pesquisa (MELNIKOVAS, 2018).

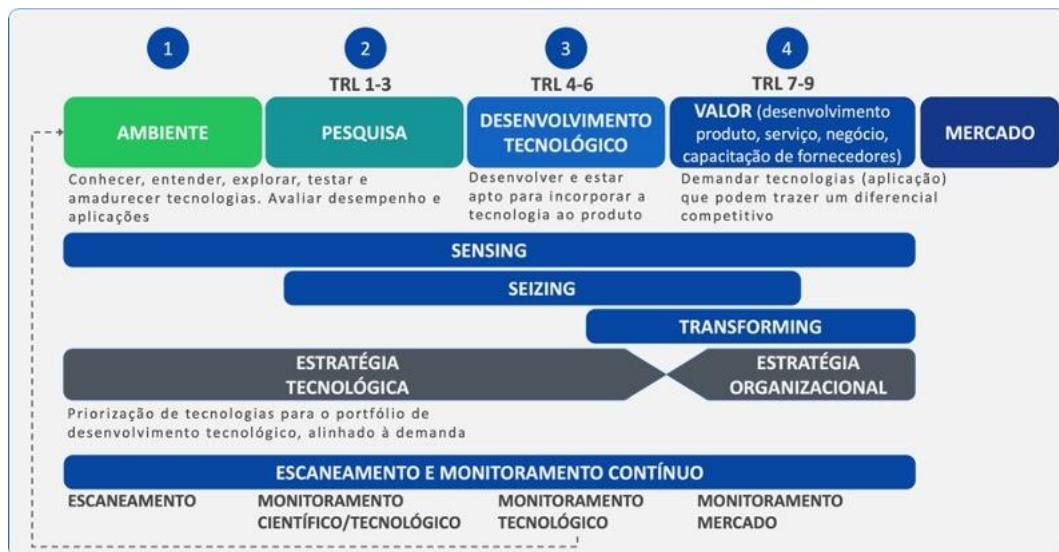
5 MODELO ESTRATÉGICO DINÂMICO ADAPTATIVO (EDA)

5.1 Visão geral do artefato

A metodologia Design Science exige a criação de um artefato inovador e útil – Modelo EDA (Diretriz 1 da metodologia DS) para atendimento aos objetivos da pesquisa (HEVNER et al., 2004).

O artefato, Modelo Estratégico Dinâmico Adaptativo (EDA), busca melhorar a captura e o aproveitamento de oportunidades em organizações aeroespaciais, de sistemas complexos. O desenvolvimento do modelo se baseou na revisão de literatura para identificar os principais critérios utilizados na estratégia tecnológica, e estudos de casos para complementação desses critérios. O resultado é um modelo estruturado em quatro estágios principais (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Modelo Estratégico Dinâmico Adaptativo (EDA).



Fonte: Produção da autora.

O primeiro estágio, 'Análise do Ambiente', contempla a análise dos fatores de contingência e busca melhorar a compreensão das principais lacunas estratégicas e possibilidades de desenvolvimento. É importante que se faça a leitura das principais tendências e desafios por meio da coleta, análise e consolidação das informações. Os recursos são direcionados para o escaneamento e monitoramento de informações, visando identificar, analisar e responder adequadamente às mudanças do ambiente.

O escaneamento e o monitoramento e a análise sistemática do ambiente, permitem que a organização se antecipe às tendências futuras (BEERS, 2016; ROWE; WRIGHT; DERBYSHIRE, 2017) e responda rapidamente às mudanças do ambiente (ROWE; WRIGHT; DERBYSHIRE, 2017). O valor do processo está na formação de uma imagem que contribui para a captura de oportunidades, alertas antecipados (BRITO, 2010).

O escaneamento tem um papel importante em atividades de pesquisa, contribuindo com a exploração de futuros e questões emergentes. As diferentes abordagens buscam melhorar a flexibilidade estratégica, antecipando necessidades (BEERS, 2016; ROWE; WRIGHT; DERBYSHIRE, 2017) e preparando a organização para as mudanças (ROWE; WRIGHT; DERBYSHIRE, 2017; CUHLS, 2019). Procura determinar o que é constante, o que pode mudar e o que muda constantemente no horizonte de tempo em análise, que pode ser de curto, médio ou longo prazos (CUHLS; VAN DER GIESSEN; TOIVANEN, 2015; CUHLS, 2019).

O processo de monitoramento inclui planejamento, coleta, análise e divulgação das informações. No planejamento, o problema é delineado e as fontes de informação são identificadas. A coleta busca informações relevantes para o sistema, incluindo aspectos sociais, políticos, culturais, competitivos e tecnológicos. A análise, etapa mais crítica do ciclo, extrapola e transforma as informações em descrições, explicações e impactos. A divulgação representa a disseminação de fatores relevantes (HERRING, 1999; BRITO, 2010). O processo auxilia não apenas a identificação de tecnologias e tendências futuras, mas uma investigação colaborativa de tecnologias de baixa maturidade, que podem estar na vanguarda do cenário competitivo. O compartilhamento do conhecimento melhora a identificação de mudança e acelera o desenvolvimento das tecnologias (DEKONINCK; MEYTHALER, 2019).

As organizações precisam escolher conscientemente um horizonte de tempo adequado para adaptar suas fontes de informação. As organizações que operam em ambientes de alta volatilidade não podem confiar

inteiramente nas fontes de informações usuais sobre mudanças tecnológicas, como dados de patentes, por exemplo (ROHRBECK, 2010). O horizonte de escaneamento é um fator muito importante no desenvolvimento estratégico da organização. As metodologias visam explorar, monitorar e avaliar de forma contínua e objetiva os desenvolvimentos atuais e suas implicações potenciais para o futuro (MILES; SARITAS, 2012; RAMIREZ; ÖSTERMAN; GRÖNQUIST, 2013; SCHOEMAKER; DAY; SNYDER, 2013; ROWE; WRIGHT; DERBYSHIRE, 2017), melhorando a previsão estratégica da organização (WRIGHT; CAIRNS; BRADFIELD, 2013; WRIGHT et al. 2017).

A inclusão do horizonte de escaneamento permite a modelagem estratégica por proporcionar a colaboração de diferentes participantes, orientar o tomador de decisão para o futuro, trazer as alternativas futuras para o presente, persuadir diferentes públicos em diferentes propósitos e estimular a ação consistente com o futuro previsto (RAMIREZ; ÖSTERMAN; GRÖNQUIST, 2013; IDOKO; MACKAY, 2021).

O segundo estágio se refere à 'Pesquisa' (TRL 1-2-3), e inclui uma classe projetos de tecnologias de baixa maturidade. Esses projetos visam a futura aplicação dos resultados em produtos, processos ou serviços. A partir do escaneamento e monitoramento de informações, pesquisa industrial, levantamentos bibliográficos, provas de conceito, demonstradores e protótipos, muitas possibilidades estratégicas são avaliadas por meio da geração e teste de hipóteses.

O estágio é caracterizado por grandes incertezas, riscos e a possibilidade de se testar as tecnologias nas fases iniciais de desenvolvimento, a custos mais baixos. Tem forte impacto na construção do conhecimento e das capacidades dinâmicas necessárias para evolução da maturidade tecnológica até a sua validação em um ambiente operacional representativo, contribuindo com a composição do portfólio tecnológico e prioridades de desenvolvimento.

O monitoramento tecnológico pode favorecer a tomada de decisão em relação ao desenvolvimento de tecnologias emergentes, que devem ter a

relevância avaliada por setor, em paralelo à classificação da maturidade tecnológica (FERNANDEZ et al., 2016).

Figura 5.2 – Radar de tecnologias por TRL e relevância por setor.



Fonte: Adaptada de Fernandez et al. (2016).

No radar de tecnologias (Figura 5.2), os níveis de TRL avançam, radialmente, de fora (TRL 1-2-3) para dentro (TRL 7-8-9), e os pontos indicam as tecnologias em desenvolvimento. No exemplo, a tecnologia A está relacionada aos interesses da Área A, que pode investir neste desenvolvimento. A tecnologia C, é de interesse apenas da Área C. Mas, a tecnologia B é de interesse das Áreas A e B, que podem investir neste desenvolvimento tecnológico simultaneamente. Antes de selecionar a parceria mais adequada, a organização deve identificar quais tecnologias têm maior potencial de aplicação (FERNANDEZ et al., 2016).

Neste estágio, a força das capacidades dinâmicas, associadas às demandas, determina a velocidade e o grau de alinhamento dos recursos ao negócio (TEECE, 2018). Algumas vezes, a estratégia organizacional determina um modelo de negócios, outras vezes, uma nova tecnologia gera oportunidade para novos modelos de negócios para os quais a estratégia corporativa deve responder (CASADESUS-MASANELL; RICART, 2011; TEECE, 2018). Um modelo de negócios molda a estratégia, à medida que restringe algumas ações e facilita outras. Ao determinar custos e

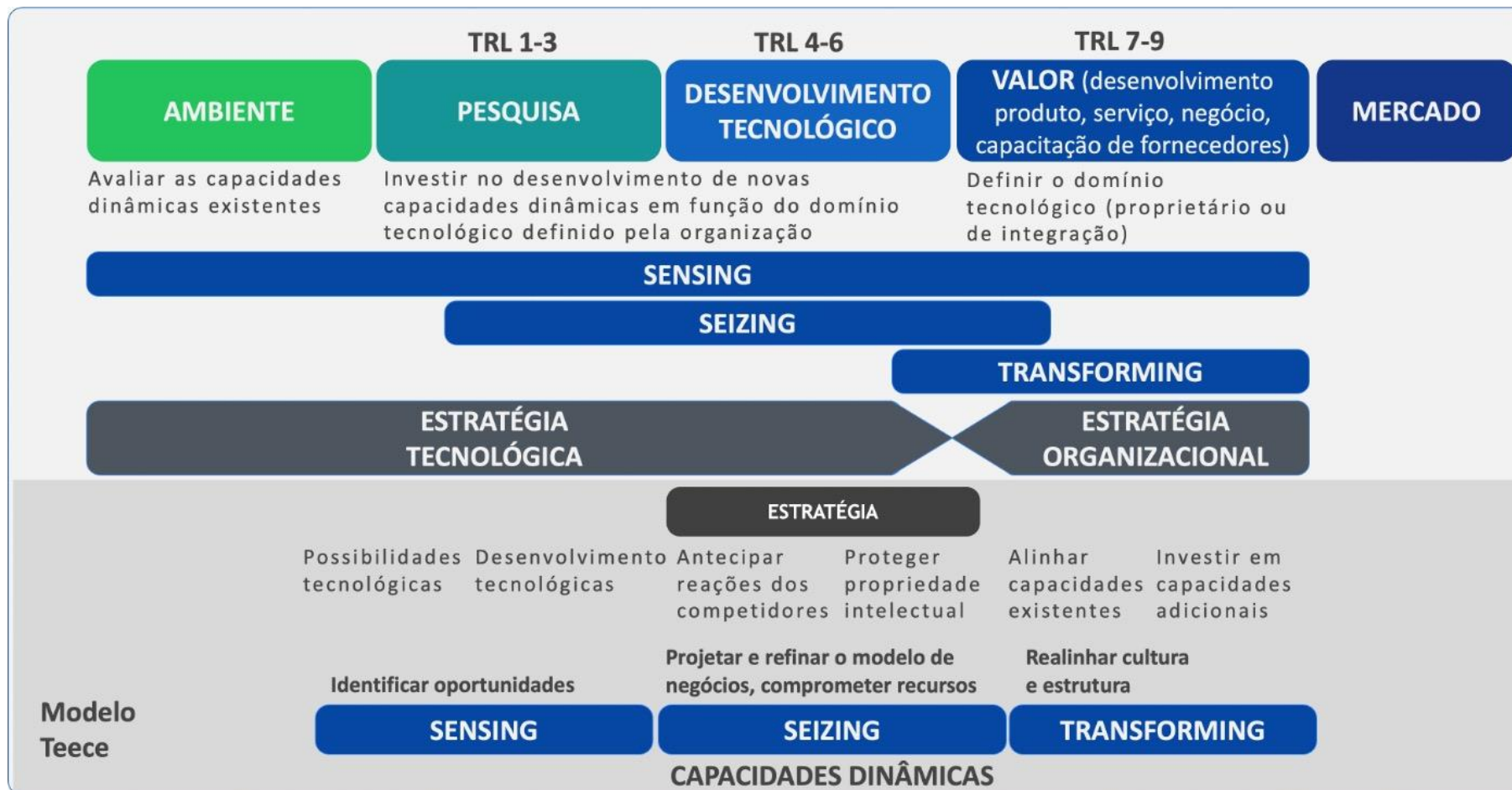
lucratividade, o modelo pode impactar a viabilidade da estratégia (TEECE, 2018).

O terceiro estágio, 'Desenvolvimento Tecnológico' (TRL 4-5-6), representa o principal elo de ligação entre as abordagens *technology push* e *demand pull*. Nesta fase, é importante que a priorização das tecnologias a serem desenvolvidas estejam alinhadas às demandas geradas nos programas, para que o desenvolvimento tecnológico seja direcionado para uma aplicação nos produtos, que representam o quarto estágio (TRL 7-8-9). Os custos do desenvolvimento em TRL 4-5-6 são muito elevados, se comparados ao estágio iniciais, TRL 1-2-3. No desenvolvimento tecnológico a priorização do portfólio de tecnologias deve ser feita com base na consolidação entre os níveis de investimento, potencial de aplicação no produto, níveis de maturidade das tecnologias propostas e tempo de desenvolvimento. O estágio contempla a análise das contribuições da estratégia tecnológica para a estratégia organizacional, com a aplicação da tecnologia no produto.

Ao longo dos estágios do modelo, as informações devem ser monitoradas continuamente, permitindo que as ações estratégicas sejam iniciadas, alteradas, descontinuadas ou expandidas em resposta às informações, aumentando a flexibilidade do sistema. O monitoramento ocorre no âmbito científico, tecnológico e de produtos, envolvendo vários níveis de informações em múltiplos setores.

A fase de pesquisa (TRL 1-2-3), se caracteriza pela construção do conhecimento e desenvolvimento de capacidades. Representa a fase de descoberta, exploração e entendimento, portanto, captura, de oportunidades (*sensing*). O aproveitamento das oportunidades (*seizing*) está no desenvolvimento das tecnologias priorizadas, que podem gerar um diferencial competitivo na organização, com a aplicação da tecnológica no produto (*transforming*). No modelo proposto, *sensing* e *seizing* compõem a estratégia tecnológica, e *transforming*, a aplicação da tecnologia no produto (Figura 5.3).

Figura 5.3 – Comparação entre o Artefato e o esquema de capacidades dinâmicas, modelos de negócios e estratégia de Teece.

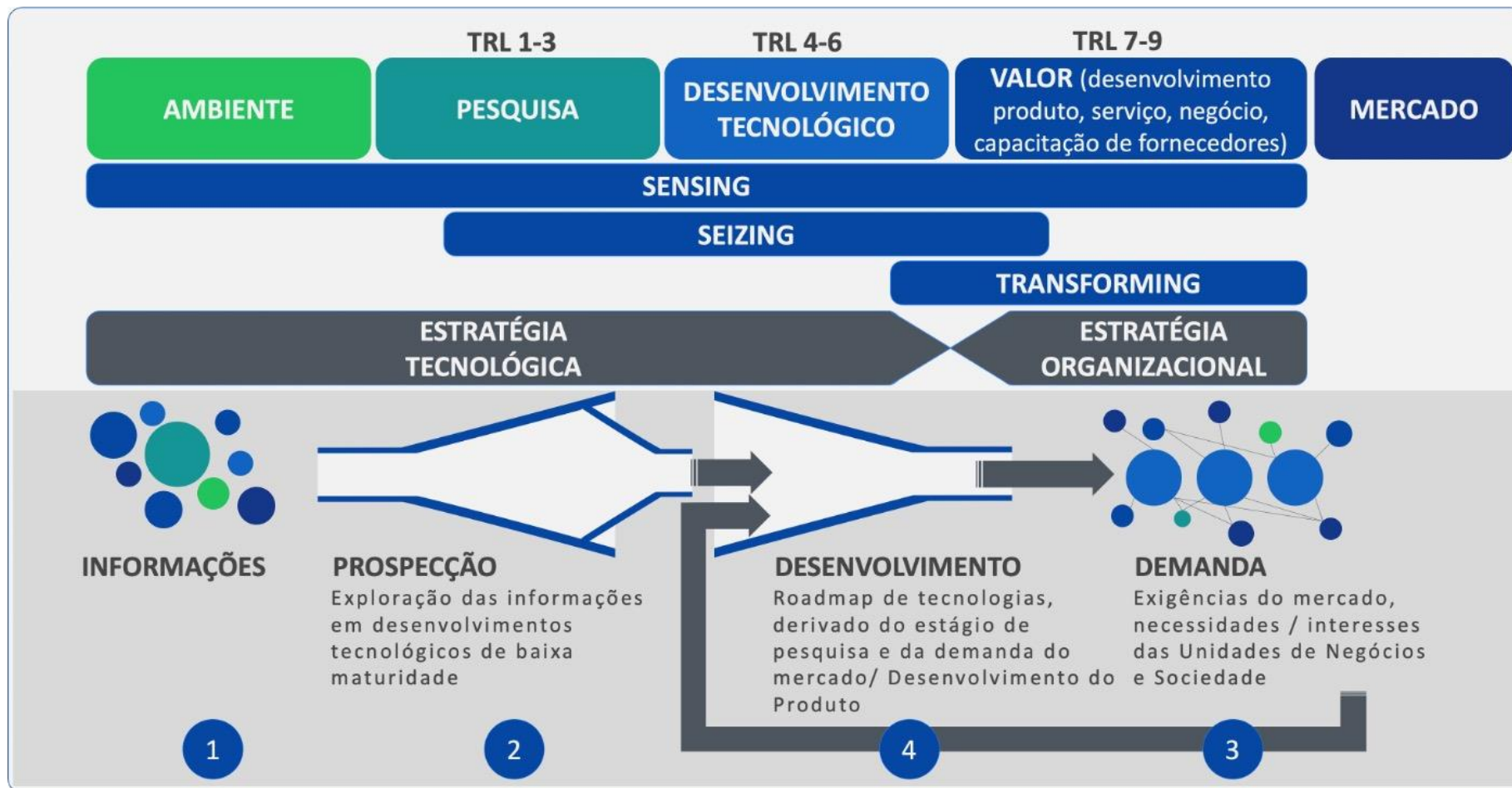


Fonte: Produção da autora.

No fluxo de informação, que ancora a tomada de decisão (Figura 5.4), é importante destacar que a tomada de decisão por continuar ou descontinuar o desenvolvimento de uma tecnologia deve estar vinculado ao direcionamento da fase inicial do desenvolvimento tecnológico, pesquisa, e o desenvolvimento do produto.

O maior acoplamento entre o *sensing*, o *seizing* e o *transforming* pode melhorar o retorno dos investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias, em função da aplicação da tecnologia no produto, serviço, negócio e na capacitação de fornecedores. A partir da análise do ambiente (1) explora-se novas tecnologias no estágio inicial do desenvolvimento tecnológico, TRL 1-2-3 (2), melhorando a captura de oportunidades. O resultado deste estágio, associado às necessidades e interesses das unidades de negócios responsáveis pelo desenvolvimento de produto, tendências do mercado e interesse da sociedade (3) direcionam a construção do *roadmap* tecnológico (4), que deve ser realimentado continuamente em função das novas informações capturadas no escaneamento e monitoramento (científico, tecnológico, produtos), assegurando a adaptação estratégica de acordo com a dinâmica do ambiente.

Figura 5.4 – Fluxo de informações para as tomadas de decisão.



Fonte: Produção da autora.

O levantamento de informação pode melhorar a tomada de decisão em condição de incerteza, por aumentar o peso dos argumentos (KEYNES, 2004).

As estratégias empregadas para estimular a inovação são frequentemente divididas em dois grupos: *technology push*, que reflete o modelo tradicional de inovação, com a descrição dos estágios sequenciais de pesquisa, desenvolvimento, demonstração e difusão (GALLAGHER et al., 2012) e *demand pull* que pode expandir mercados para aumentar o retorno em uma inovação bem-sucedida (NEMET, 2009). As opções de *technology push* incluem P&D público e privado, e o apoio de universidades e institutos de pesquisa. As opções de *demand pull* incluem subsídios para compras de novas tecnologias, compras governamentais diretas e proteção à propriedade intelectual (LEIBOWICZ, 2016).

Apesar do consenso sobre a dependência mútua dos fatores de *technology push* e *demand pull*, suas interações dependem do ciclo de vida da indústria e do ambiente. O desenvolvimento tecnológico precede a demanda do mercado em muitos setores caracterizados por sistemas complexos. Isso mostra a importância da tecnologia empurrada na liderança do mercado em setores emergentes (CHOI, 2018).

Os entrevistados destacaram que a integração entre inteligência tecnológica, desenvolvimento tecnológico e desenvolvimento de produto na tomada de decisão pode minimizar a incerteza, melhorando o alinhamento entre as estratégias *technology push* e *demand pull* e, portanto, o acoplamento entre o *sensing*, *seizing* e *transforming*. Este alinhamento pode melhorar as tomadas de decisão sobre o investimento em P&D e a priorização dos projetos de desenvolvimento tecnológico.

O mercado caracterizado por mudanças está remodelando o cenário de negócios, com a geração de novas e abundantes oportunidades e novos modelos de negócios. A ação estratégica que responde a este cenário é fundamental para a sobrevivência e crescimento da organização (GUO; WANG; WANG, 2020).

Esta tese propõe melhorar a orientação estratégica de organizações de sistemas complexos. Os estudos de casos avaliados mostram que a priorização de tecnologias orientada pela demanda é benéfica para o resultado da organização.

A integração entre as áreas na tomada de decisão também permite ações estratégicas mais consistentes com a identificação mais precisa dos investimentos em tecnologias de ruptura e melhorias tecnológicas, além de maior equilíbrio na distribuição dos recursos para P&D. As organizações não devem se basear apenas nas lacunas tecnológicas para planejar as atividades de P&D. Alguns entrevistados também apontaram o *roadmap* tecnológico como uma importante ferramenta para ações direcionadas ao desenvolvimento de capacidades, atualização e balanceamento do portfólio tecnológico.

5.2 Construção do artefato

A Diretriz 5 da metodologia DS trata do rigor da pesquisa na definição do artefato (HEVNER et al., 2004), explorado nesta Seção.

Esta pesquisa evoluiu para a construção do artefato, denominado modelo EDA, que busca melhorar as respostas e a sustentabilidade de organizações aeroespaciais inseridas em ambientes complexos e incertos. Os estudos de casos múltiplos permitiram avaliar diversos fatores que sustentam a captura e o aproveitamento de oportunidades na construção de uma estratégia tecnológica mais alinhada à estratégia organizacional. Dentre os fatores explorados, é importante destacar que: (1) uma estratégia baseada em capacidades dinâmicas favorece a flexibilidade das organizações em ambientes de sistemas complexos e; (2) a cultura organizacional deve incentivar os investimentos nas fases iniciais do desenvolvimento tecnológico e a diversificação das capacidades dinâmicas para melhorar a captura e o aproveitamento de oportunidades.

As principais barreiras relacionadas ao desenvolvimento da estratégia tecnológica, capturadas nas pesquisas e entrevistas, são:

- Falta de integração entre as áreas nas tomadas de decisão, impactando a definição isolada dos critérios de seleção de tecnologias (portfólio de desenvolvimento);
- Investimentos intermitentes na fase de pesquisa (TRL 1-2-3);
- Gerenciamento de projetos muito similar nas fases de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

Estas questões sustentam o desenvolvimento do artefato, ampliando o modelo conceitual de Teece (2018) para a aplicação em organizações de sistemas complexos, como detalhado na Seção 5.1, Figura 5.3. O modelo estratégico dinâmico adaptativo associa o *sensing* e o *seizing*, com as etapas de análise do ambiente, pesquisa e desenvolvimento tecnológico à estratégia tecnológica. Teece (2018) relaciona a estratégia ao modelo de negócios, portanto, uma etapa subsequente ao desenvolvimento tecnológico, como considerado neste modelo.

No modelo EDA, as tomadas de decisão estão vinculadas à maturidade tecnológica (TRL), ao longo da evolução das capacidades dinâmicas da organização.

5.2.1 Falta de integração entre as áreas nas tomadas de decisão e definição isolada dos critérios de seleção de tecnologias

Muitos entrevistados concordaram com a capacidade da organização em capturar informações sobre grandes rupturas do mercado mundial e tendências em relação ao mercado aeroespacial. Expressaram também a confiança nos trabalhos realizados pelos grupos de inteligência tecnológica. No entanto, demonstraram preocupação com a falta de integração entre as áreas, em diferentes níveis hierárquicos, na captura de sinais fracos e identificação de mudanças tecnológicas emergentes. Este fator pode impactar negativamente os alertas antecipados e a capacidade de avaliação dos investimentos no desenvolvimento de tecnologias de baixa maturidade.

Alguns entrevistados mencionaram a falta de um processo que consiga envolver as pessoas chave, ao longo de todo o desenvolvimento tecnológico, na análise e interpretação de mudanças emergentes e na

tomada de decisão relacionada à estratégia tecnológica. Esta falta de integração pode comprometer o tempo de resposta da organização.

Alguns entrevistados da área de desenvolvimento tecnológico reconhecem, valorizam e confiam nas informações das equipes de inteligência e pesquisa. No entanto, relataram a evolução dos métodos e critérios usados para apoiar o processo de seleção de tecnologias para desenvolvimento e demonstraram preocupação com a falta de alinhamento entre as áreas para que as demandas sejam atendidas. Algumas tecnologias são descontinuadas já com um nível de maturidade alto, podendo comprometer todo o investimento pregresso e impactando prejuízos significativos para a organização.

5.2.2 Investimentos intermitentes na fase de pesquisa (TRL 1-2-3)

A intermitência dos investimentos pode comprometer a manutenção das redes de parcerias, a captura de oportunidades e o desenvolvimento de capacidades. Alguns entrevistados declararam que é melhor ter poucos recursos de investimentos, mas constantes e previsíveis, do que investimentos que variam muito ao longo dos anos.

Um ponto relevante é que esta área deveria ser a principal responsável pela geração de oportunidades tecnológicas e definição de tecnologias potenciais. Os custos dos estágios iniciais de desenvolvimento tecnológico (até TRL 1-2-3) chegam a ser de dez a até cem vezes menores do que os estágios mais avançados do desenvolvimento tecnológico (TRL 4-5-6). Isso acontece porque os estágios iniciais de desenvolvimento tecnológico exploram conceitos, testes em laboratórios e bancadas, protótipos em escala, favorecendo a avaliação do impacto de uma tecnologia potencial.

A organização deve incentivar a pesquisa de tecnologias de baixa maturidade para assegurar uma rede global de parcerias estratégicas, com universidades, institutos de pesquisas e consórcios tecnológicos. Embora as mudanças do ambiente sejam percebidas, muitas vezes a equipe não consegue influenciar o tomador de decisão sobre sua relevância. Esse desvio de percepções pode resultar em questões estratégicas

negligenciadas pela organização, destacando novamente a importância da integração entre as áreas no desenvolvimento da estratégia tecnológica.

5.2.3 Gerenciamento de projetos muito similar nas fases de pesquisa e desenvolvimento tecnológico

Esta questão foi mencionada, principalmente pelos pesquisadores, que se mostraram desconfortáveis com o gerenciamento tradicional de projetos, para projetos de pesquisa.

Nesta etapa, o número de tecnologias exploradas, de baixa maturidade, alto risco e grandes incertezas, é bastante alto. A etapa envolve a geração de ideias, erros, acertos, construção de conhecimento, e desenvolvimento de capacidades dinâmicas. O gerenciamento de projetos, neste caso, deve ser mais flexível por envolver muitas indefinições, hipóteses, testes e experimentos. Os projetos de pesquisa tecnológica, por não terem uma definição precisa dos resultados a serem atingidos, e por demandarem longo tempo de maturação, impactam grande incertezas, dificultando o controle de resultados, da maneira tradicional.

5.3 Detalhamento da estrutura do artefato

O artefato, apresentado na Figura 5.1, foi construído com base em 4 estágios, que serão detalhados e complementados por ferramentas e metodologias aderentes aos respectivos conceitos.

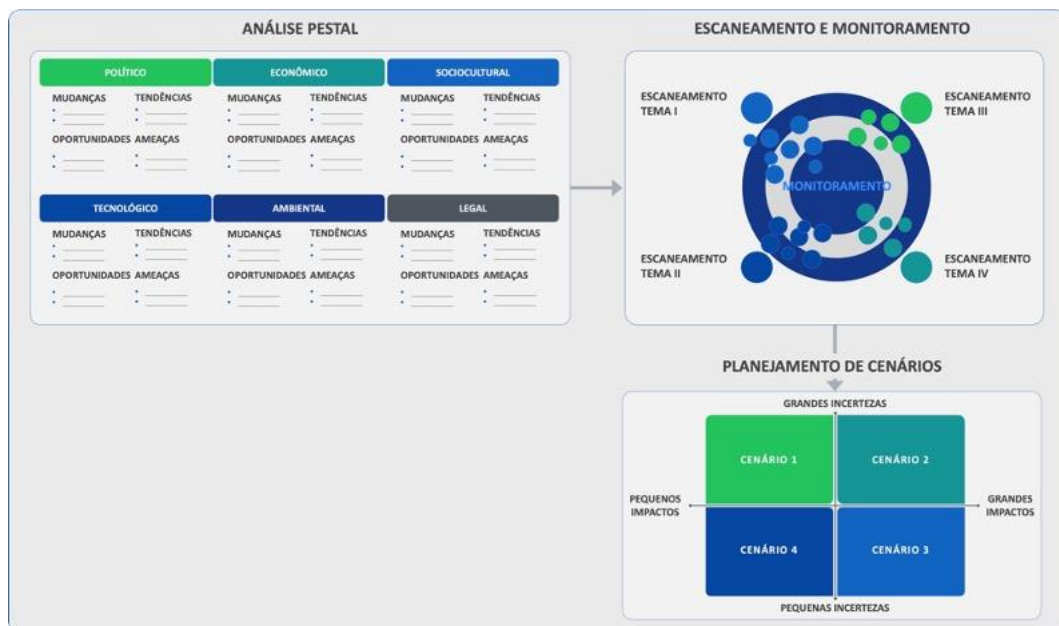
5.3.1 Análise do ambiente

- Análise PESTAL: a análise dos ambientes interno e externo que, por meio da análise PESTAL, identifica as mudanças ou tendências de fatores políticos, econômicos, socioculturais, tecnológicos, ambientais e legais. A análise PESTAL é uma ferramenta de gestão estratégica que determina o potencial ou risco de um projeto, produto ou serviço em seu ambiente. Trata-se de uma ferramenta analítica, com origem na gestão de negócios, e que teve sua aplicação ampliada para outras áreas, dada a sua importância na avaliação do impacto do ambiente externo no ambiente interno das organizações (JOHNSON; SCHOLLES; WHITTINGTON, 2011; RASTOGI; TRIVEDI, 2016; ZAHARI; ROMLI, 2019).

- Escaneamento e monitoramento de informações (Capítulos 2.2.2 e 4.6): a partir da análise PESTAL, inicia-se o escaneamento de informações, que busca questões relevantes para a organização, conhecidas ou não. Os temas identificados como relevantes para a organização, no escaneamento, passam a ser monitorados.
- Planejamento de cenários (Capítulos 2.2.3 e 4.6): com o resultado da análise PESTAL, escaneamento e monitoramento do ambiente, pode-se iniciar a modelagem dos cenários. Estas informações e as narrativas geradas por meio da lógica intuitiva (LI), favorecem as tomadas de decisão (DERBYSHIRE, 2016; DERBYSHIRE; GIOVANNETTI, 2017). A LI trata a incerteza ontológica por meio da geração de futuros alternativos (DESBYSHIRE; WRIGHT, 2014), ou projeção de possibilidades. Desta maneira, pode-se associar a LI à geração de hipóteses e à exploração de novas ideias, que caracterizam o raciocínio abdutivo (PEIRCE, 1974), ampliando e melhorando a percepção dos tomadores de decisão (DERBYSHIRE, 2019).

As ferramentas e metodologias aplicadas à análise do ambiente estão representadas na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Análise do Ambiente.



Fonte: Produção da autora.

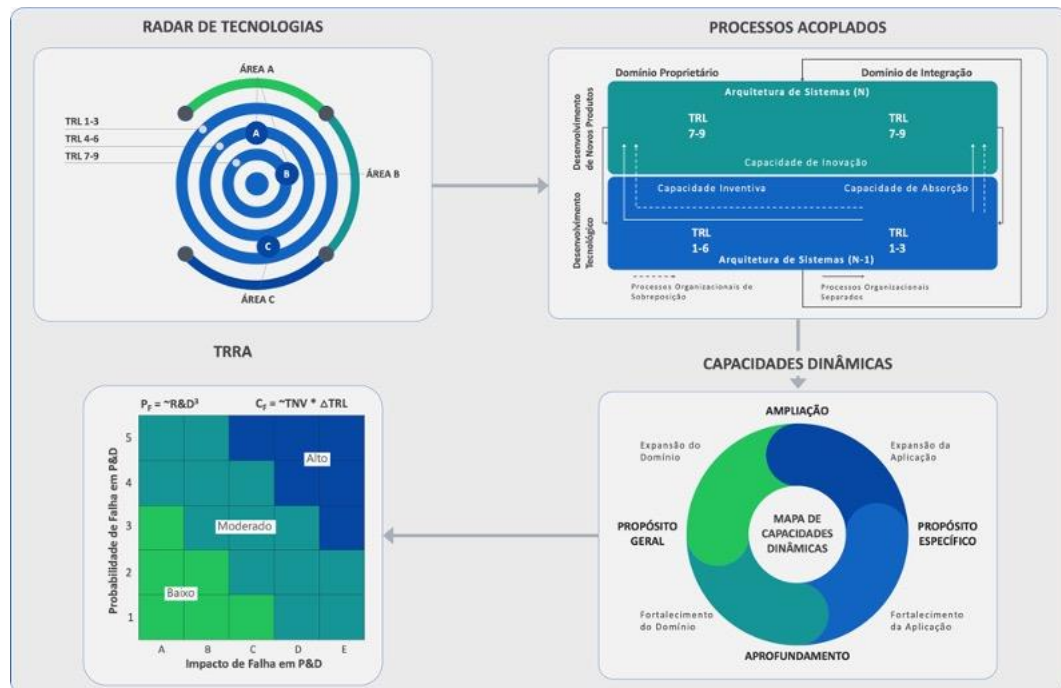
5.3.2 Pesquisa

- Radar de Tecnologias: a metodologia (Figura 5.2) contribui com a otimização dos recursos e investimentos, que podem ser direcionados para desenvolvimentos conjuntos entre as áreas da organização. Desta forma, a metodologia também contribui com a identificação das tecnologias com maior potencial de aplicação.
- Processos Acoplados (Capítulo 3.4): processo baseado no fluxo de conhecimento, que tem o objetivo de direcionar a definição do domínio tecnológico, proprietário ou de integração. A definição do domínio tecnológico deve estar alinhada com a estratégia organizacional.
- Capacidades dinâmicas: a formação de capacidades dinâmicas resulta de múltiplos investimentos, como projetos de P&D, tecnologias, capital físico e humano, experimentação, revisão de processos e aprendizado. As escolhas de capacidades de propósito geral ou específico pode ter consequências importantes, tanto para sua posição competitiva atual quanto futura (PISANO, 2016).
- TRRA: o indicador (MANKINS, 2009b) deve ser considerado nos estágios 2 e 3 do modelo EDA. O TRRA consolida as incertezas e os riscos no amadurecimento da tecnologia e a importância do desenvolvimento para o sucesso do programa.

O estágio de pesquisa, em função de seu caráter exploratório, também se baseia na combinação das lógicas intuitiva (LI) e abdutiva. Este estágio inclui a prospecção tecnológica, com a prototipagem, testes de bancada, geração e testes de hipóteses, tentativa e erro, que são meios importantes para a criação de novos conhecimentos, percepções, e geração de novas ideias. Com as lógicas intuitiva e abdutiva, o tomador de decisão pode abordar a solução de problemas com base em uma estrutura existente ou reformulando e desafiando as práticas e suposições, contribuindo, desta maneira, com a inovação organizacional.

As ferramentas e metodologias aplicadas à pesquisa estão representadas na Figura 5.6.

Figura 5.6 – Pesquisa.



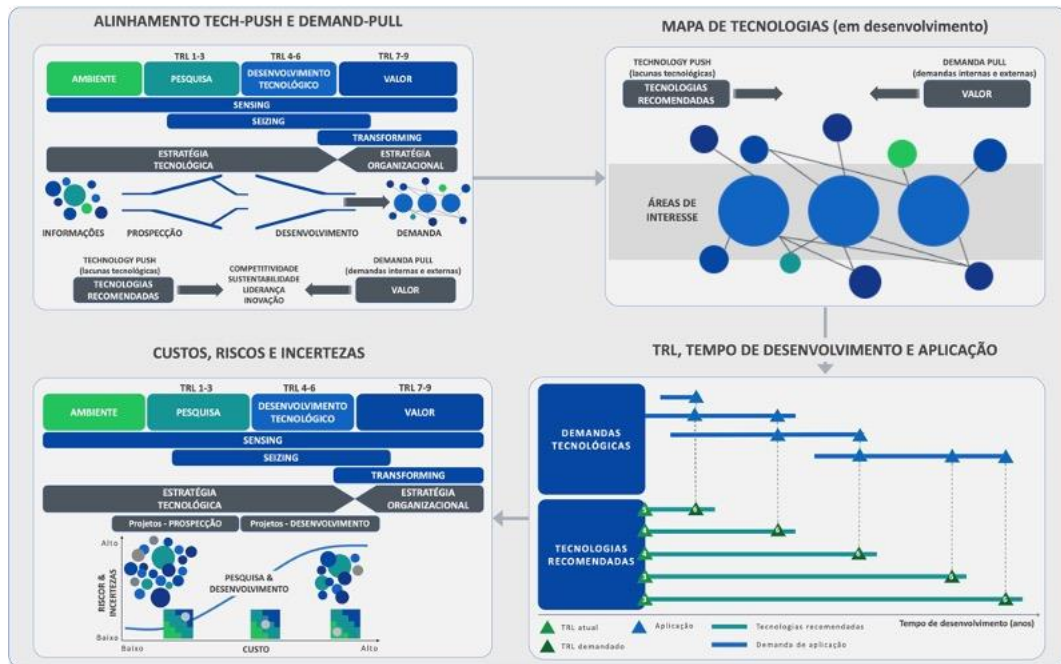
Fonte: Produção da autora.

5.3.3 Desenvolvimento

- Alinhamento *technology push* e *demand-pull*: neste momento inicia-se o processo de priorização, com a seleção das tecnologias a serem aceleradas, mantidas ou descontinuadas.
- Mapeamento das tecnologias: semelhante ao radar de tecnologias, o mapeamento de tecnologias avalia interesses comuns no desenvolvimento, buscando melhorar o acoplamento entre o *sensing*, *seizing* e *transforming*.
- Análise de maturidade: as tecnologias que compõem o mapa devem ser detalhadas quanto ao nível de maturidade tecnológica e tempo de desenvolvimento, direcionando o portfólio de tecnologias.
- Análise de custos e TRRA: a análise integrada de custos, associada ao TRRA favorece o direcionamento dos investimentos, por interesses comuns de aplicação das respectivas tecnologias.

As ferramentas e metodologias aplicadas à pesquisa estão representadas na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Desenvolvimento tecnológico.



Fonte: Produção da autora.

6 ESTUDOS DE CASOS E SIMULAÇÃO

Alguns casos, da Embraer e do INPE, foram detalhados para melhorar compreensão de questões estratégicas relevantes ao longo do desenvolvimento tecnológico, da identificação de ideias à transformação organizacional. Uma simulação, com algumas tecnologias selecionadas, busca destacar a importância do modelo para o resultado da organização.

6.1 Estudos de casos

6.1.1 Embraer

Na Embraer, três casos foram selecionados para análise mais detalhada e simulação: *Fly By Wire* (FBW), *Structural Health Monitoring* (SHM) e *Friction Stir Welding* (FSW).

6.1.1.1 Fly by Wire (FBW)

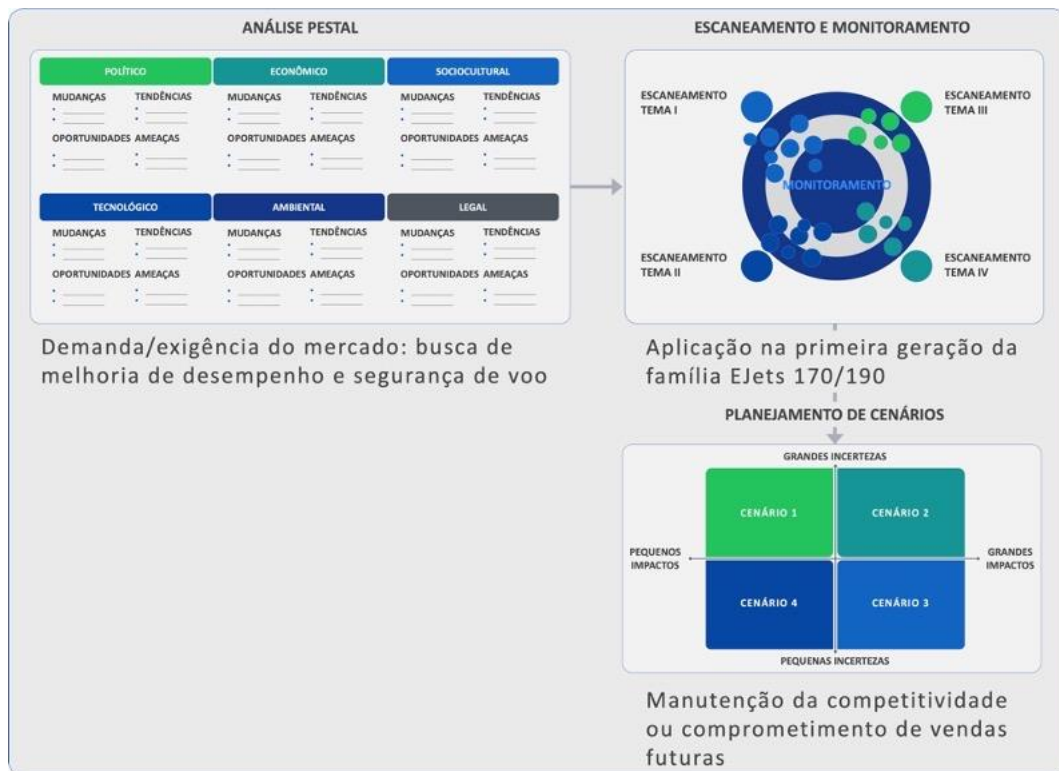
O FBW é um sistema que controla as superfícies de controle de voo de aeronaves por meio de software embarcado (SPITZER, 2011). A substituição dos controles mecânicos e hidráulicos por conexões elétricas pela Airbus, no final da década de 1980, tornou o uso do FBW essencial e irreversível para os fabricantes de aeronaves (NIEDERMEIER; LAMBREGTS, 2012; GARG; LINDA; CHOWDHURY, 2013).

Esta tecnologia se tornou um fator chave para a primeira geração da família EMBRAER 170/190, melhorando desempenho e segurança de voo. Para assegurar sua competitividade, a Embraer assumiu os riscos e incertezas do desenvolvimento do FBW em resposta às demandas do mercado, mesmo sem pleno domínio da tecnologia. Devido às ameaças do mercado, a organização passou de uma estratégia onde concebeu e era responsável pela integração do subsistema ao sistema (domínio de integração), para uma estratégia proprietária (domínio proprietário), onde passou a participar ativamente no desenvolvimento e estabelecer os mecanismos de exclusão de terceiros do uso dessa tecnologia, devido às ameaças de mercado (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

O projeto buscou o desenvolvimento das capacidades relacionadas à aplicação de softwares embarcados para comando e controle das aeronaves.

Uma análise mais detalhada deste caso, à luz do modelo EDA, mostra que o projeto foi iniciado em função de uma exigência do mercado, que tornou esta tecnologia essencial no setor de aviação. Desta forma, a Embraer decidiu iniciar o projeto com o objetivo de desenvolver um sistema de comandos de voo FBW para otimizar os benefícios técnicos e econômicos e criar uma identidade própria para a tecnologia (Figura 6.1).

Figura 6.1 – FBW no estágio de Análise do Ambiente.

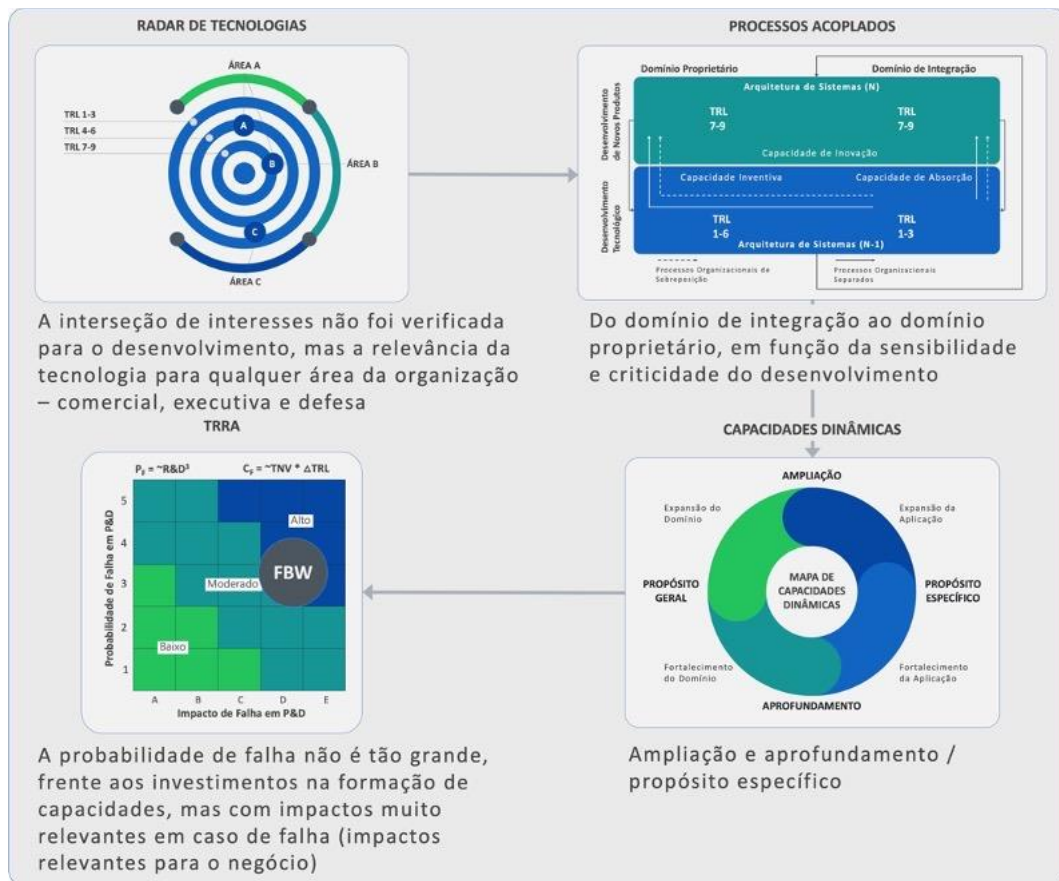


Fonte: Produção da autora.

A substituição de controles mecânicos por conexões elétricas tornou-se uma forte tendência de mercado. A Embraer percebeu que atender essa necessidade seria um fator chave para a manutenção da sua competitividade, ao conceber a primeira geração da família Embraer 170/190. Sem a tecnologia FBW, os cenários apontavam para a dificuldade nas vendas futuras (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

O projeto foi estruturado em 3 fases. A primeira fase estava associada à exploração de um novo conhecimento, pesquisa, com a definição dos requisitos, arquitetura, funções (leis de controle) e capacidades (Figura 6.2). Não houve a aplicação de um radar de tecnologias, para avaliação do potencial de aplicação e interesses comuns entre as unidades de negócios, mas com a análise realizada no estágio anterior, a aplicação da tecnologia FBW ocorreria inicialmente em toda a família de aeronaves do programa Embraer 170/190. A Embraer, que tinha o domínio completo sobre o comportamento dinâmico, decidiu inicialmente pelo domínio de integração, porque não tinha o conhecimento em relação à implantação do sistema.

Figura 6.2 – FBW no estágio de Pesquisa.



Fonte: Produção da autora.

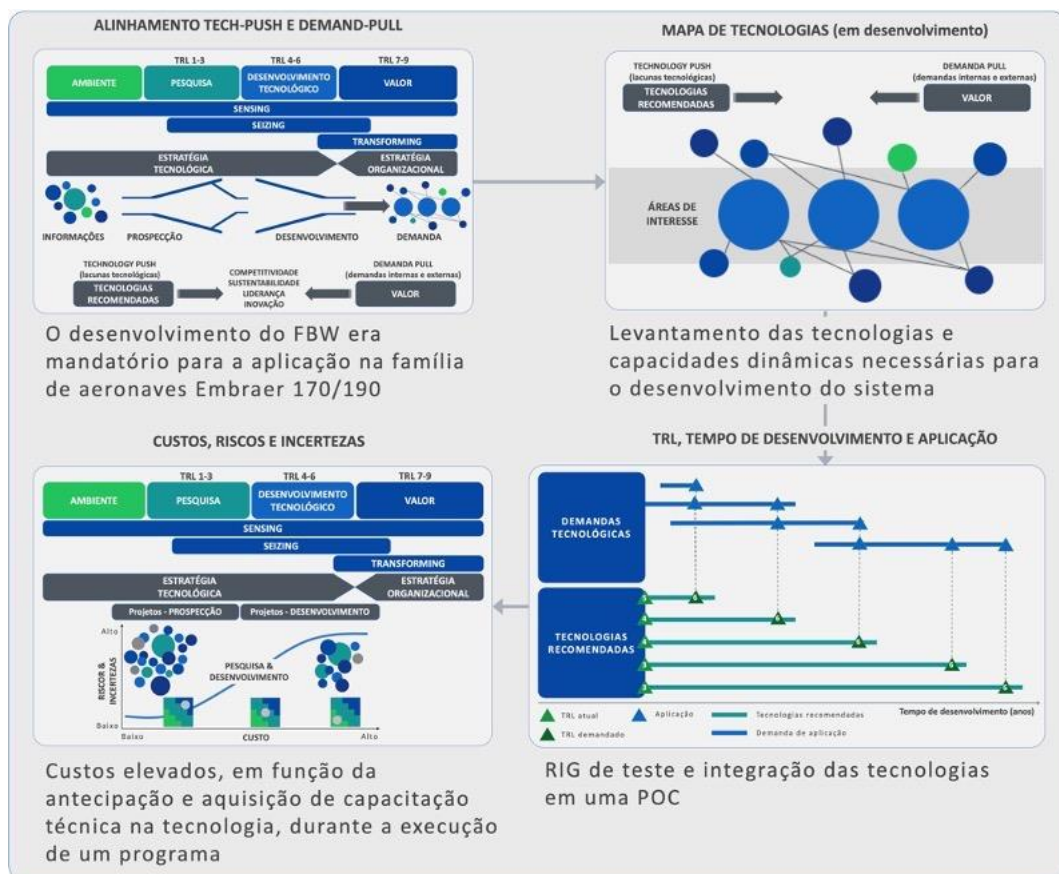
A sensibilidade da tecnologia interferiu na tomada de decisão da organização pela capacitação interna, transformando a FBW de domínio de integração em domínio proprietário. Esta decisão teve grande impacto no processo de aprendizagem da organização e foi fundamental para sua

competitividade e crescimento. Inicialmente, a Embraer comprou conhecimento, depois desenvolveu o conhecimento. Após a construção desta capacidade, a organização pode transformar esse conhecimento em negócio (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

A formação de capacidades dinâmicas resultou em altos investimentos, especialmente na formação de pessoas e contratação de especialista. Havia riscos no desenvolvimento da tecnologia, mas os riscos associados à falta de domínio do FBW eram considerados maiores, por poderem comprometer as vendas futuras.

As fases 2 e 3 do desenvolvimento podem ser associadas ao desenvolvimento da tecnologia e aplicação no produto, também em desenvolvimento (Figura 6.3).

Figura 6.3 – FBW no estágio de Desenvolvimento Tecnológico.



Fonte: Produção da autora.

Na fase 2, um RIG de teste foi desenvolvido para amadurecimento das tecnologias recomendadas. Foi possível realizar o desenvolvimento e a

integração do software e do hardware, além dos sensores. Esta fase gerou um sistema FBW desenvolvido, testado e integrado para instalação no produto, comprovando os requisitos definidos.

A fase 3 foi responsável pela instalação do sistema FBW testado em uma plataforma voadora (POC, Embraer 170), e resultou na validação do voo e análise de desempenho do sistema.

Desta maneira, as fases 2 e 3 consolidaram o alinhamento *technology-push* e *demand-pull*, validando e integrando as tecnologias recomendadas.

Os custos e investimentos foram elevados, em função da aquisição de capacitação técnica na tecnologia, durante a execução de um programa avião. Neste sentido, houve muitos riscos relacionados à falta de recursos financeiros. Esta condição se justificava pelo retorno e benefícios, que poderiam ser potencializados pela tecnologia FBW.

Este desenvolvimento teve início na primeira geração dos E-Jets, com FBW no leme, profundor e *spoiler*, parceria da Embraer com a Honeywell, leis de controle da Embraer e certificação do software com apoio da Embraer. A construção desse conhecimento, na aviação comercial, permitiu a evolução da tecnologia para *full* FBW, totalmente digital, embarcados no Legacy 450/500 (aviação executiva), C-390 Millennium (aviação de defesa) e segunda geração dos E-Jets (aviação comercial). O desenvolvimento permitiu uma identidade Embraer nos sistemas de comando de voo, desenvolvimento e expansão de capacidades dinâmicas, melhoria do desempenho do avião, otimização da operação, conforto, segurança e a geração de novos negócios, com a possibilidade de fornecimento de serviços.

O estudo de caso reforça a importância da ambidestria, entre as capacidades dinâmicas da organização (TUSHMANN; O'REILLY III, 2002; O'REILLY III; TUSHMANN, 2004). Outro fator importante, observado neste estudo, é o conceito de dependência da trajetória, ou *path dependence* (TEECE et al., 1997), em que o desenvolvimento da arquitetura do sistema de comando de voo FBW evoluiu, transformando o domínio de integração em domínio próprio da tecnologia. Esta evolução do aprendizado

organizacional, refletido na evolução dos domínios tecnológicos, também está associada aos processos acoplados (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017). Os investimentos na formação do conhecimento constituíram elementos essenciais para desenvolvimentos posteriores, criando valor e melhorando a competitividade da organização.

6.1.1.2 Structural Health Monitoring (SHM)

Structural Health Monitoring (SHM) é um sistema integrado para garantir a integridade de uma estrutura com base no desenvolvimento da capacidade de identificação automática e reparação de avarias, através da ativação de uma rede de sensores (SILVA et al., 2016, 2017, 2018, 2020). Existem patentes concedidas nos Estados Unidos, Europa e China, e patentes submetidas no Brasil, Rússia e Austrália.

O SHM surgiu como um conjunto multidisciplinar de tecnologias na década de 1990, para reduzir custos de manutenção em estruturas de aeronaves, por meio da implantação de sistemas de detecção automática de danos, capazes de detectar trincas incipientes abaixo do tamanho crítico e quase sem intervenção humana (GÜEMES, 2013).

As equipes de desenvolvimento tecnológico da Embraer estavam orientadas para a detecção de danos e melhoria de inspeção em estruturas aeronáuticas, cumprindo o *roadmap* tecnológico de melhoria da manutenção de aeronaves, com as tecnologias SHM (RULLI; SILVA, 2010; DOTTA et al., 2018).

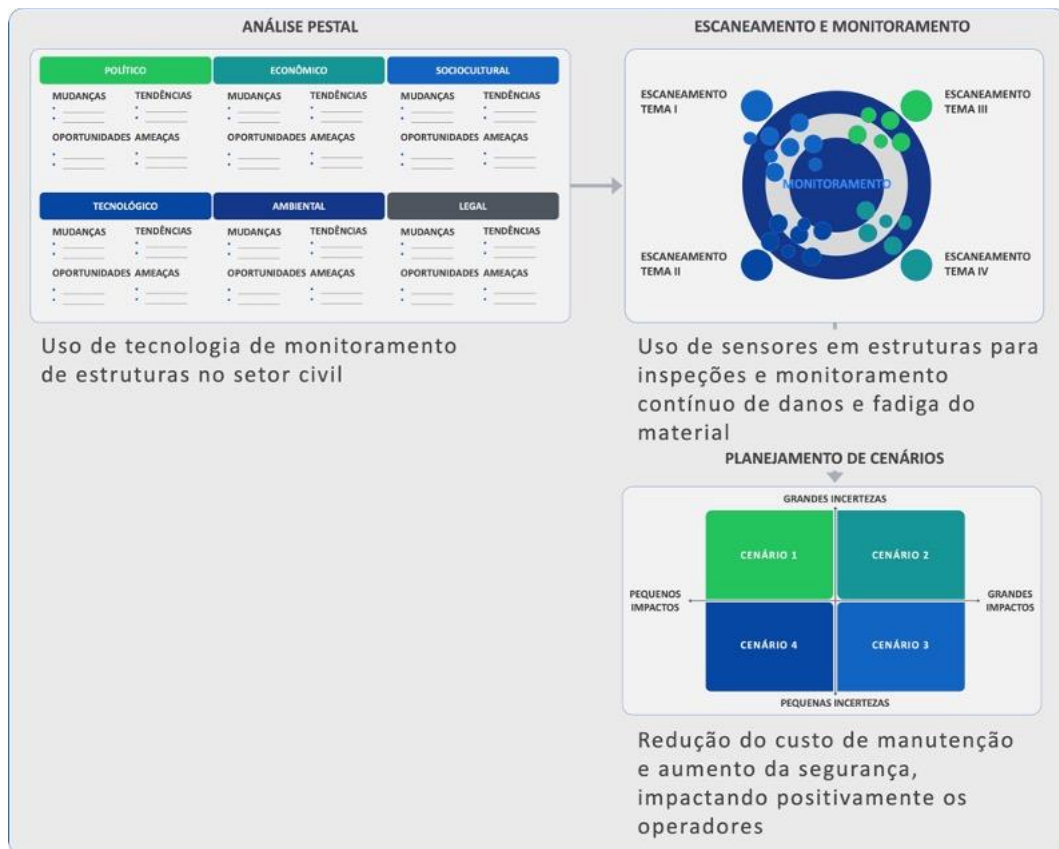
Todos os dados foram consolidados e analisados pela Embraer e submetidos à aprovação da agência reguladora brasileira (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC) quando foi estabelecido um processo formal para a implementação do SHM, e a viabilidade e durabilidade dos sistemas de detecção de danos também foram demonstradas para apoiar a validação (DOTTA et al., 2018).

A submissão de patentes é essencial na formulação de uma estratégia proprietária. É um mecanismo clássico de proteção da propriedade intelectual estabelecido para se apropriar do valor econômico gerado pelo desenvolvimento tecnológico. No caso do SHM, a formulação de uma

estratégia proprietária fica mais evidente com a aprovação do processo de certificação pela ANAC. Esses mecanismos de apropriação do valor econômico gerado são fortalecidos na formulação da estratégia proprietária (domínio proprietário) e mostram a evolução do processo de inovação tecnológica.

A análise mais detalhada do SHM, de acordo com o modelo EDA, mostrou a possibilidade de desenvolvimento do sistema de monitoramento estrutural no setor aeroespacial, com redução importante de custos de manutenção de aeronaves e aumento da segurança, impactando positivamente os operadores (Figura 6.4).

Figura 6.4 – SHM no estágio de Análise do Ambiente.



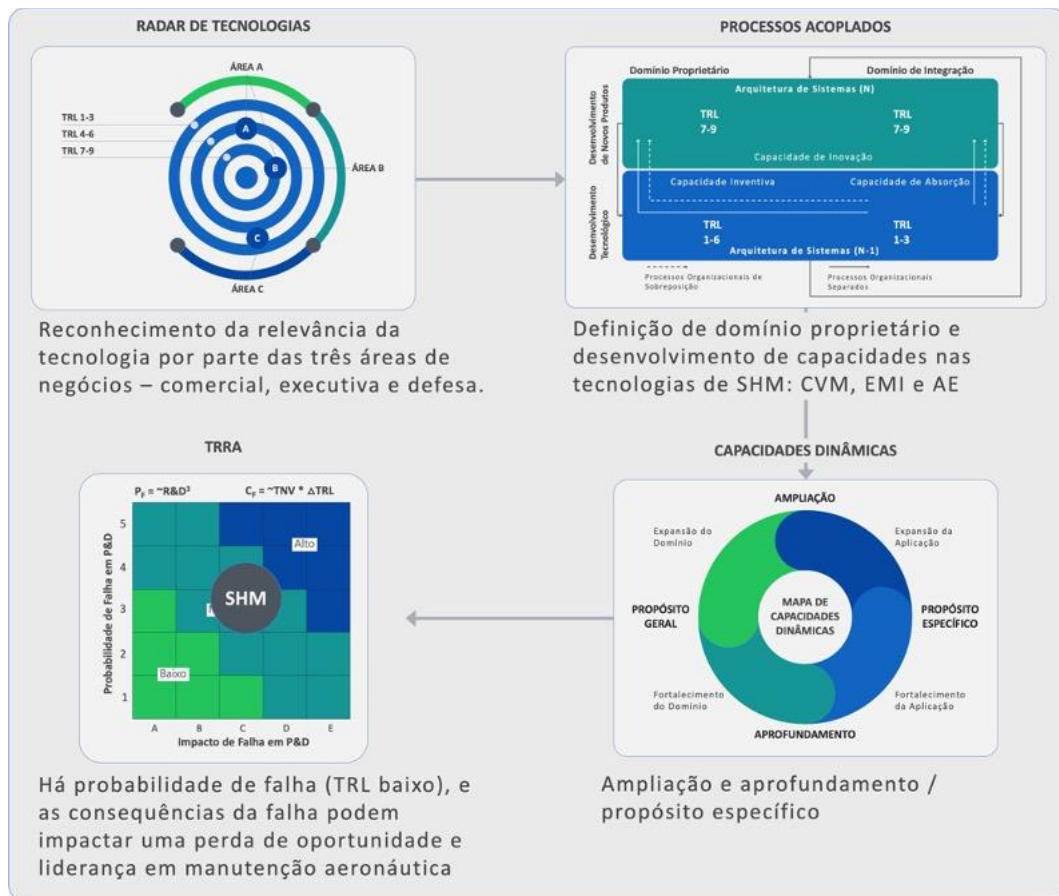
Fonte: Produção da autora.

Os engenheiros de pesquisa e desenvolvimento detectaram a oportunidade no setor aeroespacial a partir da informação referente ao uso desta tecnologia em infraestruturas civis com danos causadas por cargas contínuas, condições ambientais críticas e terremotos. Os materiais destas estruturas mostravam sinais de fadiga que exigiam inspeções e

monitoramentos contínuos, antecipando as manutenções, realizadas apenas caso alguma falha ou fadiga estrutural fosse detectada, minimizando o custo e prolongando a vida da estrutura.

No estágio de pesquisa (Figura 6.5), a Embraer desenvolveu um *roadmap* tecnológico com foco na melhoria da manutenção de aeronaves. A organização definiu domínio proprietário, demandando o aprofundamento e a ampliação de capacidades dinâmicas, com propósito específico no setor aeronáutico. A partir deste amadurecimento, as capacidades dinâmicas poderiam evoluir para propósito geral, com outras aplicações, até mesmo em outros setores e novos modelos de negócios.

Figura 6.5 – SHM no estágio de Pesquisa.



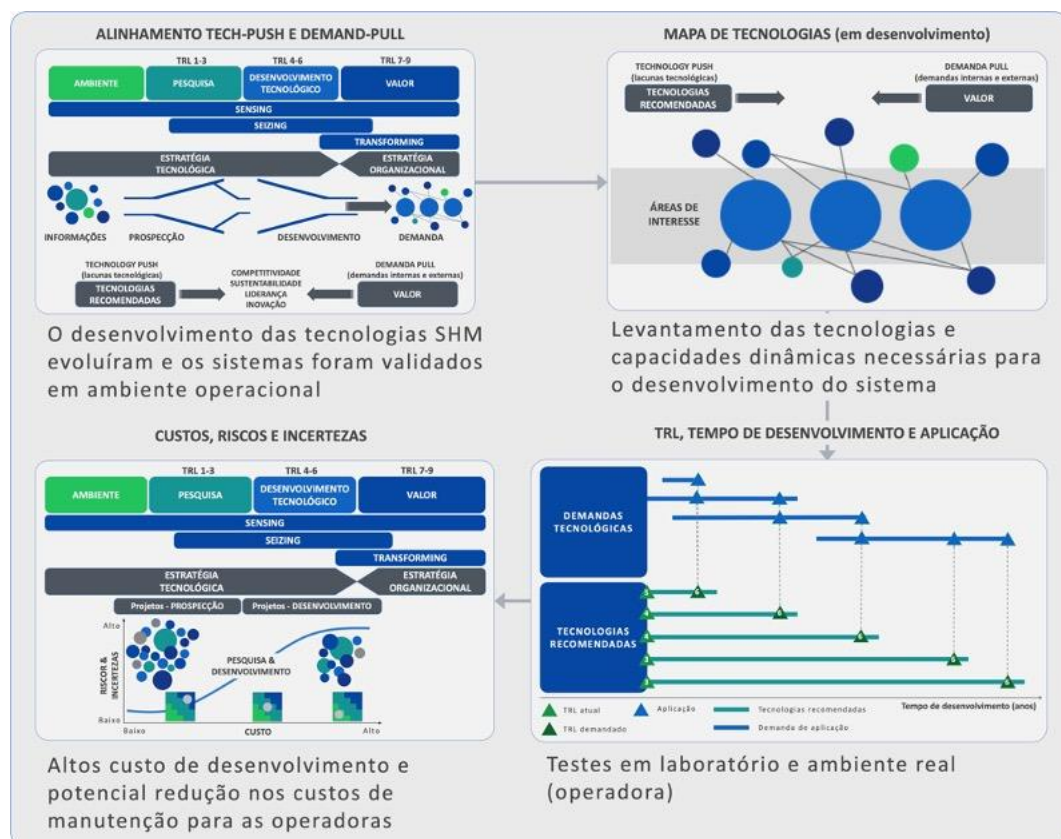
Fonte: Produção da autora.

O desenvolvimento dessas capacidades dinâmicas foi direcionado para algumas tecnologias de SHM: CVM (Monitoramento Comparativo de Vácuo), Impedância Eletromecânica (EMI), Emissão Acústica (AE), Lamb Waves (LW) e cenários estruturais de aplicação para a detecção de danos

e melhoria das inspeções. Foram realizados testes em laboratório da tecnologia CVM, teste de fadiga em escala real, em diferentes locais dos E-Jets, como cliques de cisalhamento, juntas de emenda, molduras de janelas e furos para rebites, e aplicação em componentes estruturais. Também foram realizados testes de laboratório com tecnologia LW em componentes estruturais metálicos e compostos (RULLI; SILVA, 2010; RULLI; SILVA, 2011; DOTTA et al., 2011). Após os testes de laboratório, as tecnologias foram instaladas em um avião Embraer-190 para ensaios em solo e em voo, com inspeções periódicas (DOTTA et al., 2018).

A análise de TRRA mostrou a probabilidade de falha, em função das tecnologias de baixa maturidade. As consequências das falhas não seriam críticas para a organização, mas poderiam impactar a perda de oportunidades, de vantagem competitiva e da liderança em manutenção aeronáutica. A demonstração de bons resultados neste estágio, resultaram na evolução dos desenvolvimentos dessas tecnologias (Figura 6.6).

Figura 6.6 – SHM no estágio de Desenvolvimento Tecnológico.



Fonte: Produção da autora.

Os desenvolvimentos evoluíram no esforço de colocar as tecnologias SHM nos procedimentos de manutenção de aeronaves (*technology-push*), direcionados para a realização de um processo de qualificação de sistemas de detecção de danos, verificação de durabilidade e testes com sistemas instalados em várias aeronaves do operador para verificar o comportamento operacional e a estabilidade dos sistemas.

Os dados foram consolidados e analisados pela Embraer e submetidos à aprovação da ANAC. Um processo formal para a implementação do SHM foi estabelecido e a viabilidade e durabilidade dos sistemas de detecção de danos foram demonstrados para apoiar a validação (DOTTA et al., 2018).

É importante destacar os diferentes níveis de maturidade das tecnologias para aplicação nas aeronaves, dificultando a compreensão das variáveis que poderiam afetar as respostas do sistema e o desenvolvimento dos procedimentos de instalação e operação. Os custos do sistema SHM incluíram desenvolvimento, certificação e novas capacidades dinâmicas. No entanto, os sistemas SHM demonstraram grande potencial para melhorar os processos de manutenção, minimizando eventos não programados e gerando maior disponibilidade da frota e redução de custos para as operadoras (SANTOS; MALERE, 2013).

O estudo mostrou muitos benefícios das tecnologias SHM como economia no tempo de manutenção, manutenção preditiva, maior disponibilidade da frota e redução de custos para as operadoras. No entanto, outras variáveis precisariam ser avaliadas, detalhadas e mensuradas, para minimizar o impacto das mudanças tecnológicas no modelo de negócio vigente (SANTOS; MALERE, 2013).

O desenvolvimento tecnológico evoluiu até um nível de maturidade alto, TRL 6/7, chegou a ser aplicado em alguns produtos de operadoras, mas não ganhou escala. Com isso, o projeto foi descontinuado. O estudo de caso SHM destaca a importância de um acoplamento mais robusto entre o *sensing*, *seizing* e *transforming* para melhorar o retorno dos investimentos em P&D, com a aplicação da tecnologia no produto. Neste caso, pode-se perceber um desacoplamento entre o *seizing* e o *transforming* e múltiplas incertezas, que podem ter impactado as tomadas de decisão quanto a

implementação do sistema SHM, por parte da Embraer e por parte das operadoras.

As incertezas deste estudo de caso envolvem não somente as tecnologias SHM, mas o negócio. As questões envolvidas dependem da quantificação de variáveis com alto grau de incerteza, como custos de desenvolvimento e certificação, tempo de colocação no mercado, tamanho do mercado, aceitação por autoridades regulatórias e clientes, preço e outras condições comerciais, riscos técnicos, benefícios tangíveis para os clientes e fabricantes e nível de concorrência. As incertezas também incluem a operação dos sistemas logísticos das operadoras, o nível mais adequado de automação, a capacidade dos recursos de manutenção e gerenciamento de manutenção, o processamento de dados e informações *on-board* e *off-board*, mudanças no tratamento dos componentes, mudanças contratuais entre fabricantes, operadoras e fornecedores e, principalmente, em relação a como maximizar o benefício proporcionado pelo sistema com a minimização de eventuais custos de *retrofit* da frota (SANTOS; MALERE, 2013).

O estudo explora as incertezas do sistema SHM quanto à inovação tecnológica e inovação do modelo de negócio, passando pela dificuldade de quantificação dos ganhos e resistência às mudanças trazidas pelas tecnologias.

6.1.1.3 Friction Stir Welding (FSW)

Friction Stir Welding (FSW) é um processo de soldagem em estado sólido que nos últimos anos ganhou atenção na pesquisa e na indústria desde sua introdução em 1991, quando foi patenteado pelo *The Welding Institute* (TWI) (THOMAS et al., 1991). Patentes, nacionais e internacionais (WIPO), foram submetidos pela Embraer para proteção do processo (FERNANDEZ; CRUZ, 2010).

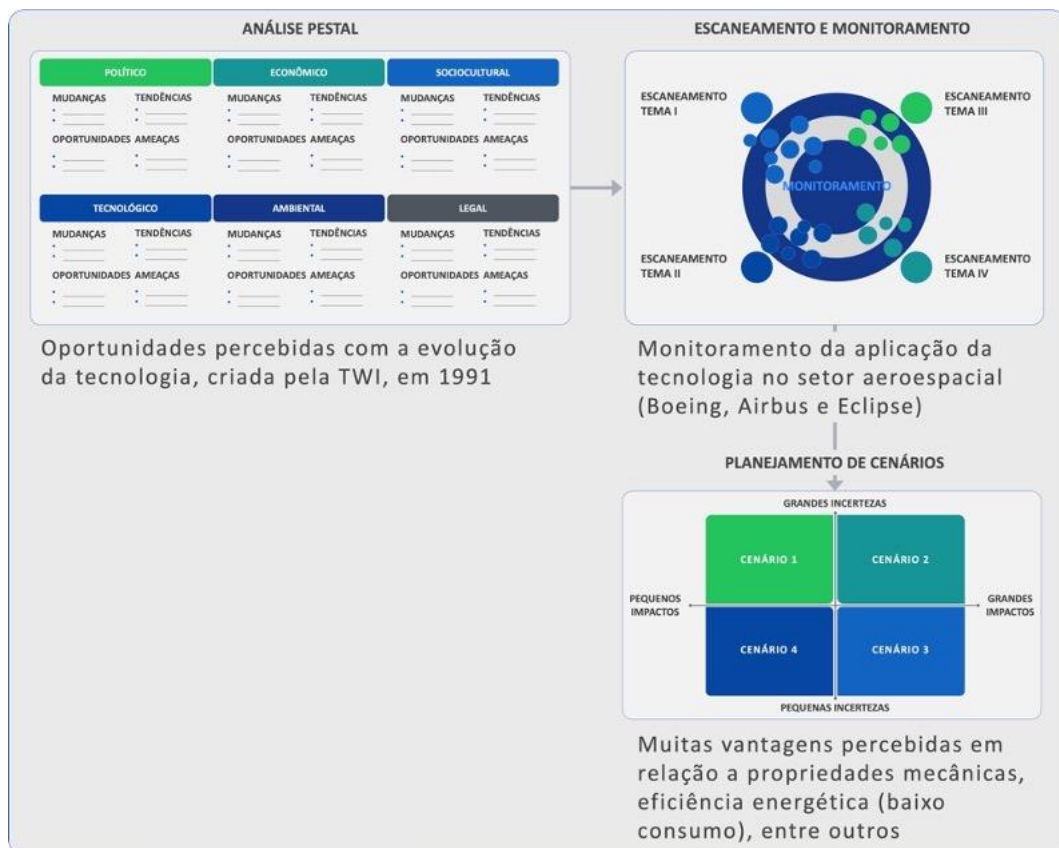
O processo, que combina extrusão e forjamento, é uma nova técnica de fabricação verde devido à sua eficiência energética e respeito ao meio ambiente (*green technology*) e oferece muitas vantagens sobre o processo

de soldagem convencional, devido a seu baixo aporte de calor (SINKA, 2014; MISTRY; MARATHE, 2016; MARATHE; MISTRY; RAVAL, 2016).

O FSW foi considerado para aplicações aeronáuticas para substituir juntas rebitadas com vantagens em relação à resistência, impermeabilidade e peso, além de custos de fabricação e manutenção.

O detalhamento do FSW mostra que a oportunidade foi percebida pelas equipes de pesquisa e inteligência, que passaram a monitorar a evolução da tecnologia. Em 1994 a Boeing iniciou um desenvolvimento, seguido pela Airbus, em 1996. A empresa Eclipse iniciou o desenvolvimento em 1998, realizou o primeiro voo em 2002 e certificou o Eclipse 500 em 2006 no FAA. Muitas vantagens foram percebidas no setor aeroespacial, como produtividade, propriedades mecânicas, baixos níveis de empenamento e alta eficiência energética, além de não implicar emissões de gases, emissões ultravioleta e radiação eletromagnética (Figura 6.7).

Figura 6.7 – FSW no estágio de Análise do Ambiente.

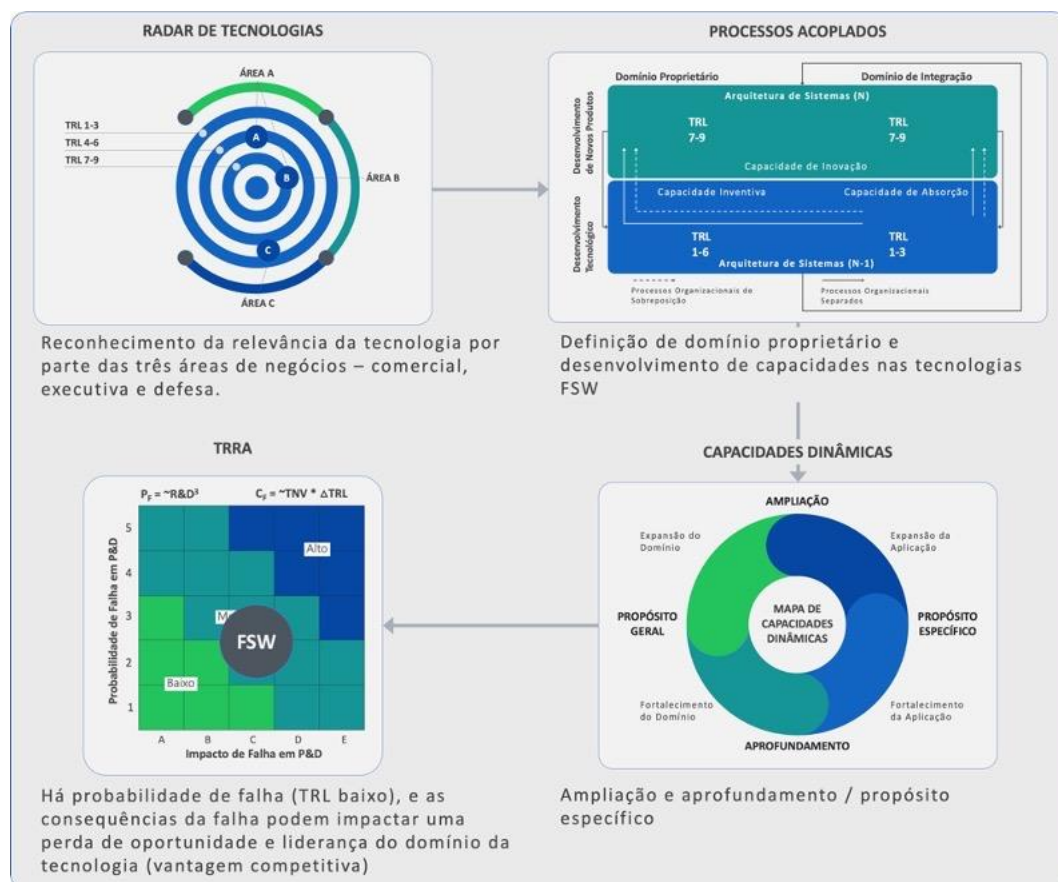


Fonte: Produção da autora.

No estágio de pesquisa (Figura 6.8), houve ampla revisão de literatura, estabelecimento de parcerias com universidades e empresas, nacionais e internacionais, e participação em consórcios. Estes modelos podem favorecer o desenvolvimento pre-competitivo em tecnologias FSW, reduzindo os custos e os riscos de desenvolvimento de tecnologias inovadoras.

A Embraer direcionou o desenvolvimento para domínio proprietário e as capacidades dinâmicas começaram a ser desenvolvidas. O processo incluiu a participação em consórcios nos Estados Unidos, Reino Unido e Cingapura e o envolvimento de diversos parceiros internacionais, porque não havia esta capacidade no Brasil. Em 2002, a empresa fez *benchmarking* na Eclipse e iniciou a capacitação de profissionais na TWI. Ainda na fase de pesquisa, em 2004 iniciou-se o projeto de um painel plano, e em 2005 a implantação de controle de força e realização do primeiro teste do processo.

Figura 6.8 – FSW no estágio de Pesquisa.



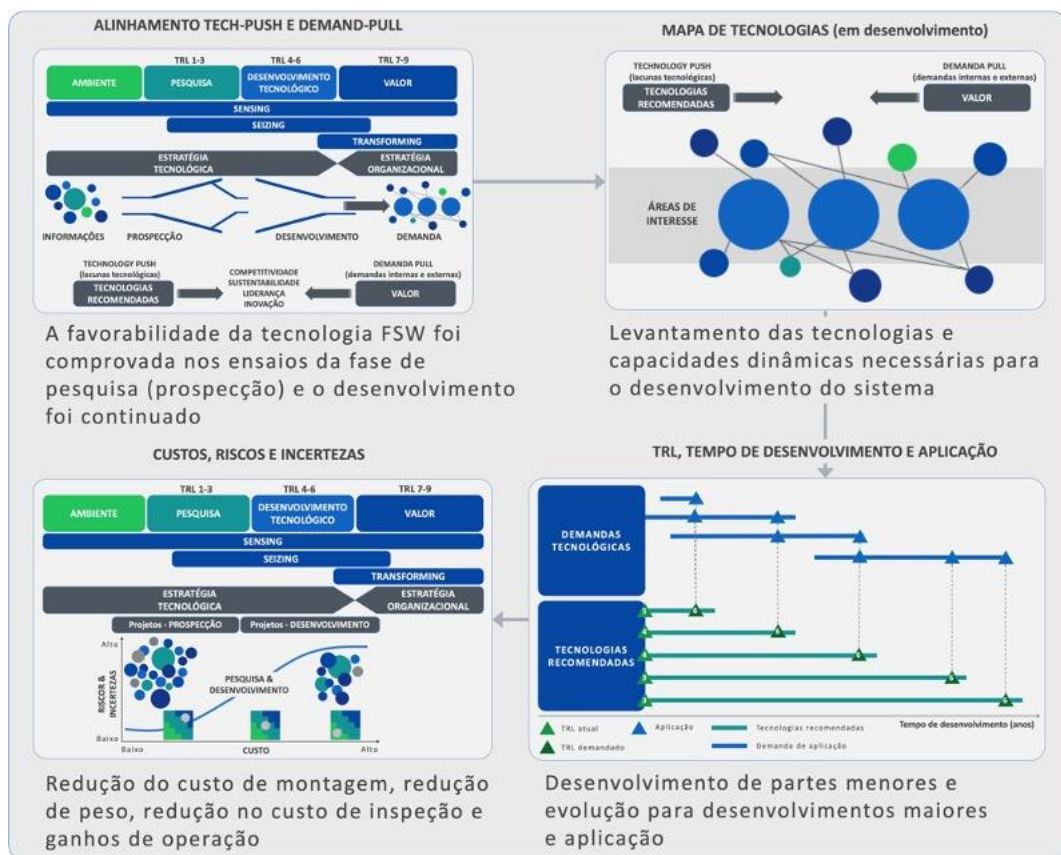
Fonte: Produção da autora.

A favorabilidade da tecnologia FSW foi comprovada nos ensaios realizados na fase de pesquisa (prospecção tecnológica) e o desenvolvimento foi continuado. Em 2006 iniciou-se o projeto do barril, apresentado em 2009 na Conferência Aeromat e aplicado em 2010 em uma aeronave Legacy 500.

O processo FSW foi demonstrado na fabricação de painéis conceito, planos e curvos, ensaios de impacto de pássaros e demonstração da viabilidade da aplicação em painéis de fuselagem através da fabricação e ensaio estático e fadiga (TRL 6). Os desenvolvimentos evoluíram para a proposta de aplicação da tecnologia na junção de topo dos revestimentos de fuselagem no Legacy 450/500 e na asa e fuselagem do avião Embraer C-390 Millennium (TRL9).

Durante o desenvolvimento da tecnologia (Figura 6.9), a Embraer comprovou os ganhos esperados, mas a aplicação ficou restrita a partes menores dos aviões.

Figura 6.9 – FSW no estágio de Desenvolvimento Tecnológico.



Fonte: Produção da autora.

Este estudo de caso também comprova fragilidades no acoplamento entre o *seizing* e o *transforming*. Os benefícios da aplicação da tecnologia foram mensurados e detalhados, e poderiam gerar ganhos representativos para a organização, competitividade e a possibilidade de ampliação da aplicação para outros setores e novos modelos de negócios.

As condições apresentadas nos estudos SHM e FSW reforçam a importância dos conceitos de Keynes (1936) nas tomadas de decisão, que associam a incerteza a um atributo do conhecimento (ANDRADE, 2011).

Outro fator relevante destes estudos de casos se refere à identificação de capacidades dinâmicas que poderia levar a organização a uma vantagem competitiva (PISANO, 2016). Pisano (2016) identificou lacunas estratégicas importantes no desenvolvimento de capacidades dinâmicas, que puderam ser percebidas nestes estudos de casos. Houve a escolha da organização sobre os investimentos nas capacidades dinâmicas, a partir de uma oportunidade de desenvolvimento tecnológico. Mas, após a organização investir nos desenvolvimentos até um alto nível de maturidade tecnológica (TRL 6/7), a organização optou por não implementar o sistema em seus produtos. Segundo Pisano (2016), trata-se de uma lacuna estratégica relacionada às tomadas de decisão sobre a preservação das capacidades, que pode impactar o desempenho de longo prazo da organização (TEECE; PISANO; SHUEN, 1997; TEECE, 2007). Esta lacuna também reflete o vale da morte que existe entre o desenvolvimento tecnológico e a aplicação da tecnologia no produto (MARKHAM et al., 2010; MAINE; LUBIK; GARNSEY, 2012; SLAYTON; SPINARDI, 2016).

O estudo das tecnologias SHM e FSW na Embraer evidencia o processo de desenvolvimento de capacidades dinâmicas, com diferentes investimentos em pesquisa, desenvolvimento, investimento em capital físico e humano, experimentação, com testes em laboratório e ensaios em solo e em voo, revisão dos processos de manutenção e aprendizado. No entanto, a construção de capacidades dinâmicas também deve considerar os resultados a serem alcançados com as novas capacidades, mesmo que esta decisão seja tomada em condições de incerteza (FUJIMOTO, 1999; PISANO, 2016).

6.1.1.4 Análise – estudos de caso da Embraer

A Embraer é uma organização que tem um envolvimento histórico com a tecnologia, em função do desenvolvimento de produtos de alto conteúdo tecnológico. Ao longo dos anos houve um aumento da complexidade do conteúdo tecnológico embarcado nas aeronaves, acompanhado por desenvolvimentos integrados. Desta forma, a organização percebeu a necessidade de integrar a inteligência de tecnologias, visão e foco da organização, direcionamento dos investimentos, construção de capacidades, e desenvolvimento de parcerias, dentro e fora do país, para acelerar os desenvolvimentos.

O desenvolvimento tecnológico evoluiu com a organização, a partir de forças e dificuldades de se avançar melhor em tomadas de decisão que contribuam com a competitividade e sustentabilidade da organização. Uma lacuna observada está no desacoplamento entre a visão estratégica da organização e a tomada de decisão relacionada aos investimentos em P&D. Esta lacuna impactou a perda de oportunidades de investimentos em tecnologias que tivessem uma aplicação e produzissem um diferencial competitivo nos produtos com o retorno dos investimentos.

As condições do país e da organização não permitem investimentos maiores, mas alguns entrevistados observaram que a organização teria condições de investir melhor, se houvesse maior acoplamento entre as estratégias tecnológica e organizacional, portanto, maior acoplamento entre o *sensing*, *seizing* e *transforming*. As principais dificuldades estão nas perdas de oportunidades de investimentos em tecnologias que tivessem uma aplicação, e que produzissem um diferencial de curto prazo nos produtos. Este acoplamento pode trazer um diferencial, reduzindo as distâncias entre a visão do negócio, em relação aos desenvolvimentos tecnológicos que estão nascendo e a forma como isso poderia ser transformado em negócio, e melhor leitura das necessidades do produto e mercado para direcionamento dos investimentos em tecnologias.

6.1.2 INPE

No INPE, dois estudos de caso foram selecionados para análise: as câmeras MUX e WFI.

Os satélites de sensoriamento remoto são responsáveis pela obtenção de dados e imagens da superfície terrestre, por meio da captura da radiação emitida ou refletida (RAUEN, 2017). Na década de 1970, esses satélites passaram por uma revolução, em função dos seus benefícios, que representaram uma oportunidade de desenvolvimento para uma série de satélites de sensoriamento remoto no INPE, os satélites CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

Os satélites CBERS 1 e 2 foram equipados com a câmera WFI brasileira e câmeras chinesas. A câmera WFI tinha tecnologias óticas em domínio de integração. Os satélites CBERS 3 e 4 foram equipados com a segunda geração da câmera brasileira WFI, a câmera MUX, de resolução média, e câmeras chinesas. Nesta etapa as câmeras WFI e MUX estavam em domínio proprietário, desenvolvidas e fabricadas no Brasil. A integração das câmeras e as tecnologias eletrônicas estavam em um alto nível de TRL, mas as tecnologias óticas estavam em TRL 3. Os desenvolvimentos dessas tecnologias buscavam a capacidade de desenvolver e integrar câmeras de resolução média, lentes óticas e componentes (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

6.1.2.1 Wide Field Imager (WFI) e Câmera Mux

A câmera WFI (*Wide Field Imager*) foi a primeira câmera brasileira de baixa resolução, usada no CBERS 1 e 2 para a detecção de incêndios e desmatamentos, em parceria com a Equatorial Sistemas. As organizações focaram na integração de sistemas e no desenvolvimento de tecnologias de circuitos eletrônicos, gerando conhecimento sobre a integração de câmeras em satélites de sensoriamento remoto. No CBERS 3 e 4 houve um acordo de que a parte brasileira seria responsável pelo desenvolvimento de uma nova versão para a câmera WFI e desenvolvimento da câmera, que substituiria a câmera usada no CBERS 1

e 2. A segunda geração da câmera WFI foi desenvolvida pelo consórcio Opto Eletrônica e Equatorial Sistemas, e a câmera MUX, em um contrato exclusivo com a Opto Eletrônica (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017). Na câmera MUX, a Opto Eletrônica foi responsável pelo desenvolvimento de todos os subsistemas, e na WFI, a Opto Eletrônica desenvolveu a parte ótica e a Equatorial Sistemas, líder do consórcio, a parte mecânica e eletrônica.

A câmera MUX pode ser considerada um desenvolvimento de sucesso, tanto do ponto de vista tecnológico como estratégico. O projeto buscou internalizar o desenvolvimento de uma tecnologia considerada sensível para o país (PELLEGRINI et al., 2017).

O desenvolvimento da câmera MUX é um exemplo importante de aprendizado. O processo de política industrial buscou transferir para a indústria a maior parte dos desenvolvimentos de equipamentos do CBERS 3 e 4, trazendo grandes contribuições, tanto para a instituição, país e governo, como para a indústria nacional, que foi um lado importante desse processo.

No processo de desenvolvimento da MUX e WFI segunda geração, foi feita uma licitação pública. A preparação da documentação de um projeto deste nível, com a especificação técnica e contratual, representou um grande aprendizado. A WFI, usada no CBERS 1 e 2 tinha uma configuração bem mais simples, e a segunda geração já tinha um nível de especificação parcialmente definido. Mas, no caso específico da MUX, foi a primeira vez que se contratou um subsistema que estava em um estágio bem atrasado em termos de desenvolvimento tecnológico (TRL baixo). Era uma câmera totalmente inovadora para o Brasil. O desenvolvimento da câmera MUX teve início em um nível de TRL 2 (estimado), representando um desafio enorme, tanto do lado da instituição contratante, INPE, como para a empresa contratada, que teria que se basear na capacidade adquirida em outros desenvolvimentos para poder se adaptar e aprimorar novos conceitos e novos requisitos.

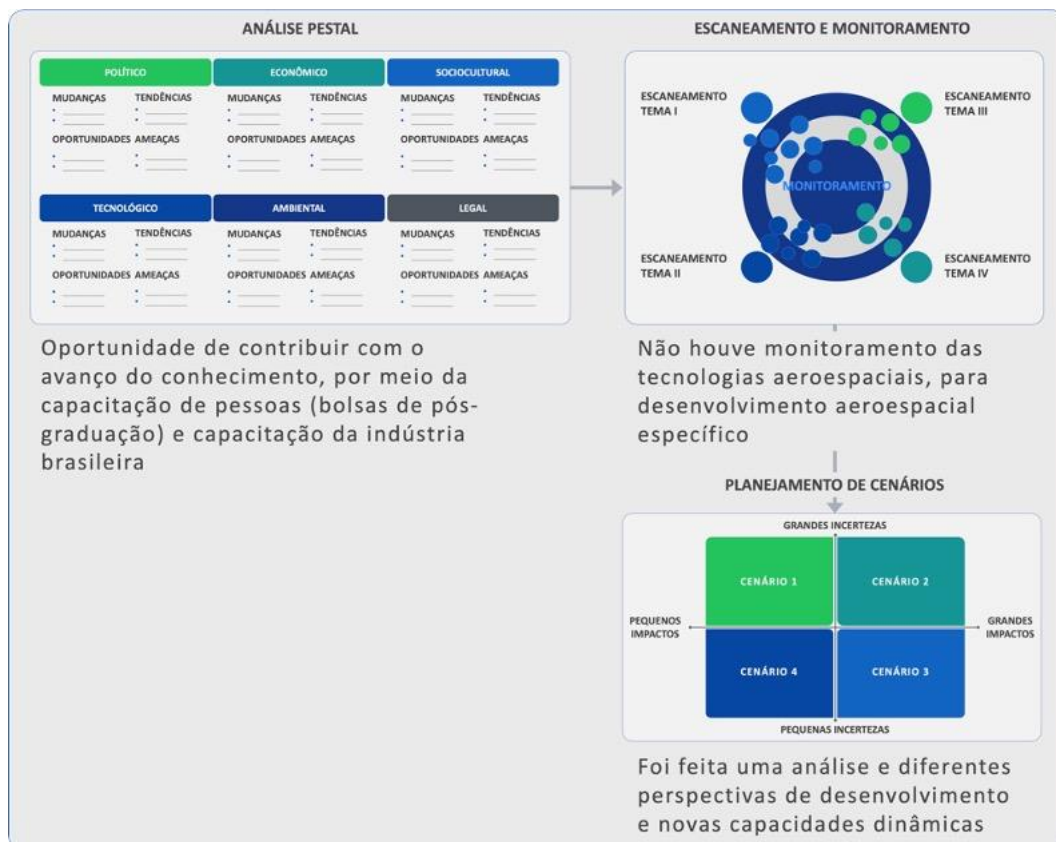
Entre os principais pontos, que justificaram a relevância do desenvolvimento da câmera MUX, estão a questão da política industrial e

a soberania nacional, fomentando a indústria brasileira a se desenvolver nesta área. O desafio tecnológico foi muito grande. O CBERS gerou capacidades e inovação na indústria espacial nacional, e empregos em um setor de alta tecnologia, essencial para o país.

O detalhamento dos estudos de caso das câmeras de média resolução, MUX e WFI, associado ao modelo EDA, mostra a oportunidade de contribuir com o avanço do conhecimento, por meio da capacitação de pessoas, da concessão de bolsas de pós-graduação e desenvolvimento de novas capacidades dinâmicas na indústria brasileira para atender à necessidade do país na detecção de incêndio e desmatamento.

O INPE não aplicou metodologias específicas de escaneamento, monitoramento e planejamento de cenários, mas houve uma análise para diferentes perspectivas de desenvolvimento tecnológico e de novas capacidades dinâmicas (Figura 6.10).

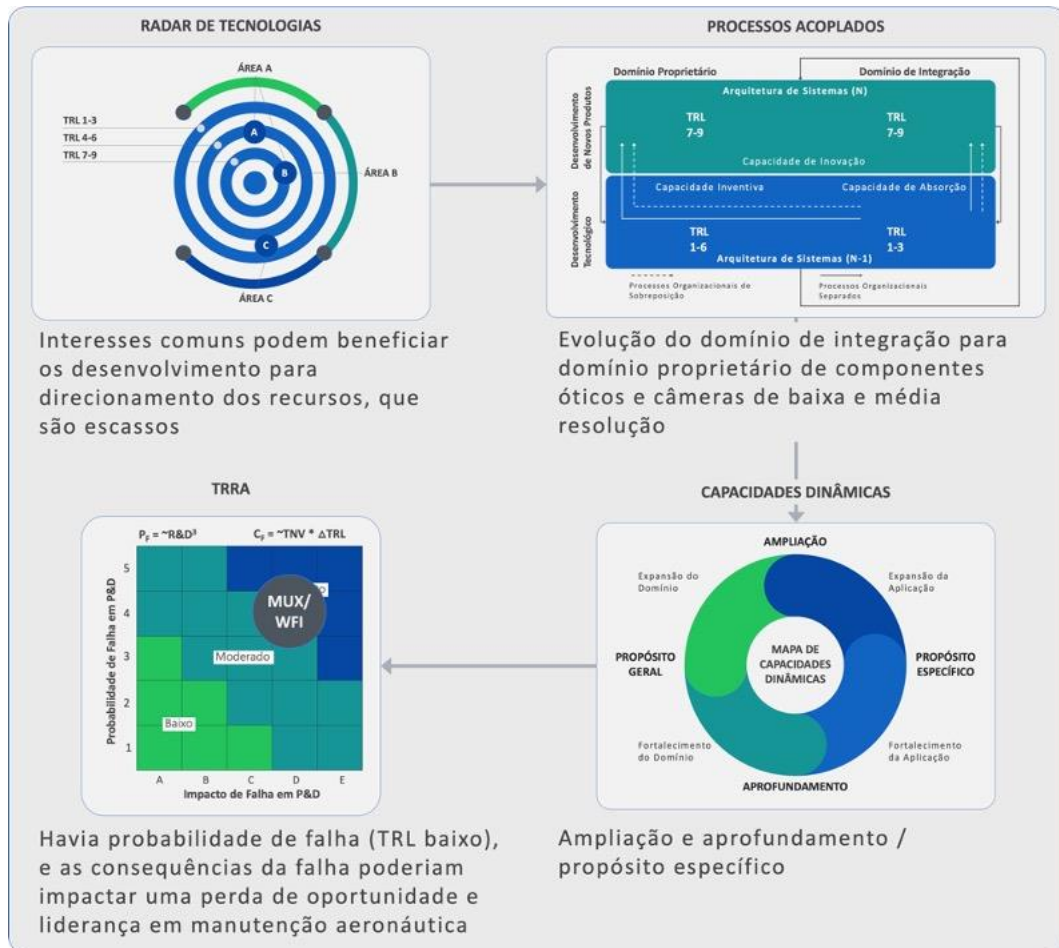
Figura 6.10 – MUX e WFI no estágio de Análise do Ambiente.



Fonte: Produção da autora.

No estágio de pesquisa (Figura 6.11), o INPE poderia se beneficiar de um radar de tecnologias, que evidencia interesses comuns de desenvolvimento, podendo favorecer os investimentos em P&D, limitados pelas restrições orçamentárias.

Figura 6.11 – MUX e WFI no estágio de Pesquisa.



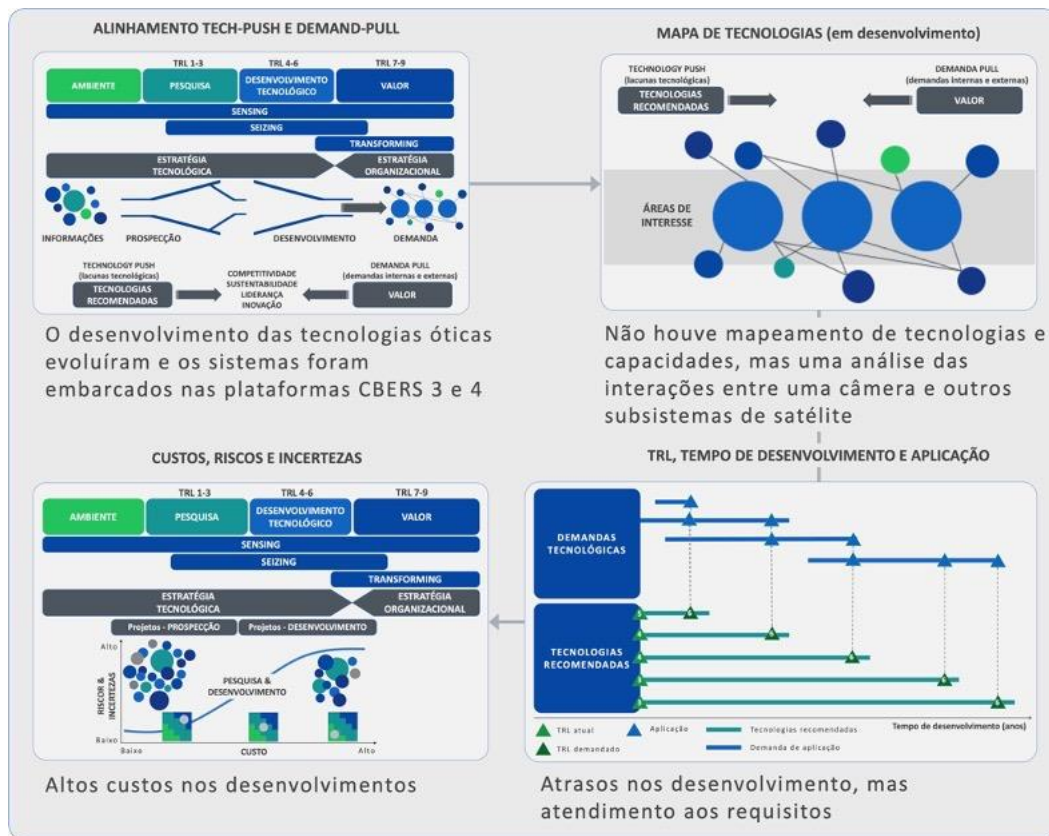
Fonte: Produção da autora.

A análise dos processos acoplados pode direcionar o desenvolvimento tecnológico de domínio de integração para domínio proprietário, com a evolução do conhecimento. Os desenvolvimentos estavam focados na integração de sistemas e desenvolvimento tecnológico de circuitos eletrônicos, enquanto os componentes óticos eram adquiridos de fornecedores estrangeiros. O desenvolvimento de lentes e componentes óticos estavam no nível de testes analíticos e simulações (TRL 3). A câmera WFI foi a primeira câmera brasileira de baixa resolução, desenvolvida para os projetos CBERS 1 e 2, com a contratação da empresa

Equatorial. Com o conhecimento adquirido o INPE identificou uma oportunidade nos projetos CBERS 3 e 4 para desenvolvimento e fabricação de lentes óticas e componentes para o próximo conjunto de câmeras, em parceria com fornecedores brasileiros (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

A evolução dos desenvolvimentos tecnológicos avançou junto com o amadurecimento das capacidades dinâmicas (Figura 6.12). Com as parcerias de desenvolvimento estabelecidas, houve ampliação e aprofundamento das capacidades em mercado específico.

Figura 6.12 – MUX e WFI no estágio de Desenvolvimento Tecnológico.



Fonte: Produção da autora.

A análise TRRA mostrou que havia probabilidade de falha (TRL baixo), e as consequências da falha poderiam impactar a perda desta janela de oportunidade, tanto no desenvolvimento de novas capacidades do INPE como na capacitação de fornecedores nacionais. Os resultados das pesquisas, resultaram na evolução dos desenvolvimentos das tecnologias óticas, para as plataformas CBERS 3 e 4.

O INPE aproveitou esta janela de oportunidade identificada para os desenvolvimentos das tecnologias óticas para as plataformas CBERS 3 e 4. A parte brasileira seria responsável pelo desenvolvimento de uma nova versão da câmera WFI e pelo desenvolvimento da câmera MUX, de média resolução. O consórcio Opto-Equatorial desenvolveu, pela primeira vez, lentes óticas e componentes para aplicações espaciais. INPE, Opto e Equatorial conseguiram desenvolver as câmeras MUX e WFI de segunda geração para a plataforma CBERS, lançada em 2014 (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

Não houve um mapeamento de tecnologias e de capacidades dinâmicas, mas, a partir da identificação desta oportunidade de desenvolvimento, uma análise das múltiplas interações entre uma câmera e os outros subsistemas de satélite, e melhor compreensão das propriedades emergentes derivadas destas interações (CHAGAS JUNIOR; LEITE; JESUS, 2017).

As câmeras MUX e WFI foram entregues dentro dos requisitos estabelecidos, mas com atraso de 6 anos em relação ao cronograma original e com adicionais de custos.

6.1.2.2 Análise – estudos de caso do INPE

Os desenvolvimentos no INPE têm um histórico de aprendizado e bons resultados, a exemplo dos painéis solares. As capacidades geradas nos satélites SCD, por exemplo, foram ampliadas em novos desenvolvimentos para os satélites CBERS 1, 2, 3, 4 e Amazônia. Os casos explorados reforçam a tese de que a posição do INPE sempre foi qualificar fornecedores e fomentar a produção de sistemas espaciais, alavancando a indústria aeroespacial brasileira.

Além de alavancar a indústria, o INPE, por estar na vanguarda das tecnologias espaciais, busca promover a atualização profissional com o programa de pós-graduação. Da mesma forma como observado nos casos explorados na Embraer, o INPE também demonstra a prática da ambidestria organizacional.

Um instituto de pesquisa deve fazer a pesquisa básica, a pesquisa aplicada e o desenvolvimento, para se diferenciar da universidade. Deve fazer o elo

entre o conhecimento e a atividade econômica, em desenvolvimentos que impactem a sociedade, por meio da aplicação da tecnologia ou mesmo capacitação de fornecedores.

6.1.3 Análise dos casos Embraer e INPE

Uma tecnologia nova pode gerar diferenciais competitivos para a organização. No entanto, em muitos casos há dificuldade em se monetizar os benefícios dos desenvolvimentos.

Normalmente o foco do planejamento estratégico da organização é muito específico e centrado nas competências existentes, na melhoria dos produtos, na redução de custos, mas também deve focar no desenvolvimento de novos produtos e negócios. Isto mostra a importância de um acoplamento mais robusto entre o *sensing*, *seizing* e *transforming*, em desenvolvimentos focados no curto, médio e longo prazos.

O aproveitamento de oportunidades por meio de desenvolvimentos de modelos, provas de conceitos e desenvolvimentos de baixa maturidade deve ser contínuo, independente da existência de novos produtos. O setor aeroespacial não para, portanto, não se pode buscar novas tecnologias apenas em função da existência de novos produtos.

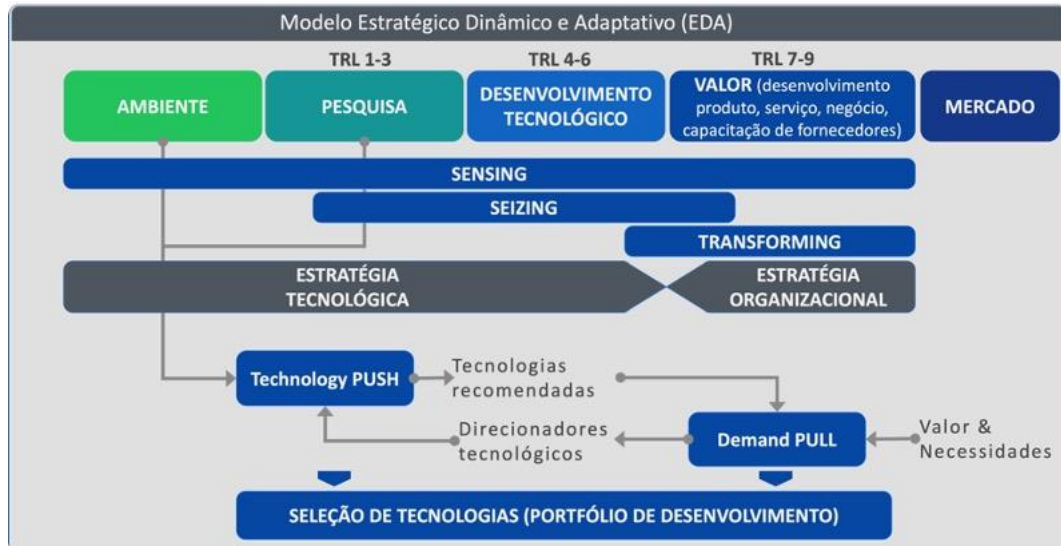
A análise destes estudos de caso mostram dois vales da morte ao longo do ciclo de desenvolvimentos de uma tecnologia emergente. O primeiro acontece durante o desenvolvimento da tecnologia e está relacionado aos custos e interesses nos investimentos. O segundo está no interesse pela aplicação da tecnologia no produto.

O conceito de vale da morte se tornou um marco para a dificuldade de implementação de tecnologias emergentes e eficácia da gestão de P&D (MARKHAM et al. 2010), que inclui a conexão dos esforços de transição de uma tecnologia existente ou emergente para a criação de um novo negócio (MARCZEWSKI, 1997; MARKHAM, 2002; BARR et al., 2009; MARKHAM et al., 2010; HUDSON; KHAZRAGUI, 2013; KLITSIE; PRICE; DE LILLE, 2018). No vale da morte são tomadas decisões críticas que se referem ao desenvolvimento tecnológico, de negócios e de produtos ou serviços (MARKHAM, 2013; KLITSIE; PRICE; DE LILLE, 2018).

6.2 Aplicação do artefato – simulação

O artefato busca melhorar o acoplamento entre o *sensing*, o *seizing* e *transforming* (Figura 6.13).

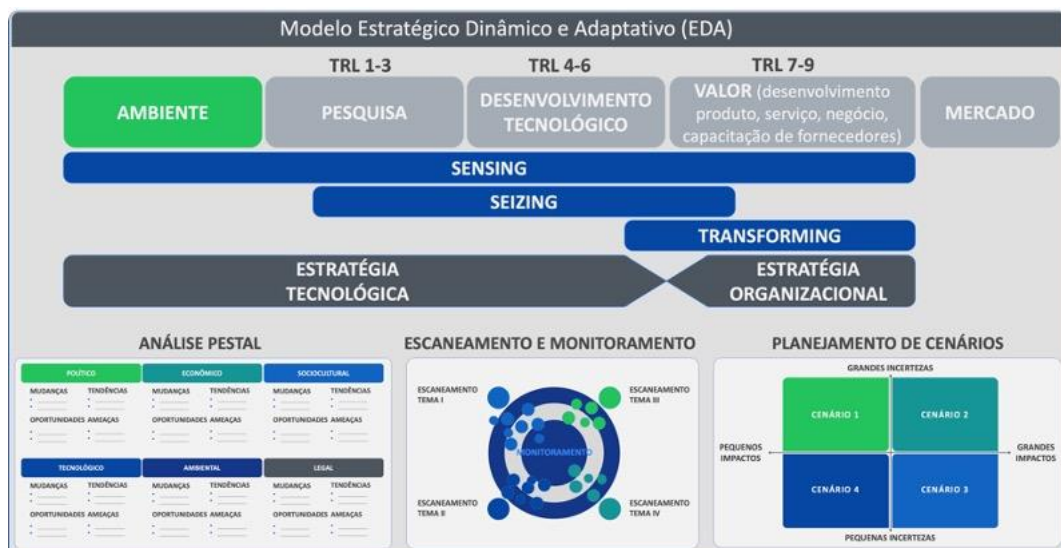
Figura 6.13 – Processo de aplicação do artefato (Visão geral).



Fonte: Produção da autora.

As recomendações tecnológicas têm início com a análise do ambiente (Figura 6.14).

Figura 6.14 – Análise do ambiente.



Fonte: Produção da autora.

Faz-se uma análise PESTAL, com a exploração de fatores políticos, econômicos, socioculturais, tecnológicos, ambientais e legais. Estes

fatores direcionam o escaneamento de tópicos relacionados e não relacionados à organização. A partir do escaneamento, podem-se definir itens mais específicos a serem monitorados.

O levantamento robusto e estruturado destas informações busca melhorar o nível de conhecimento das situações reais do ambiente em curto, médio e longo prazos, e desta forma, contribuir com as expectativas do tomador de decisão. Segundo Keynes (1936), a tomada de decisão não depende da previsão mais provável, mas da confiança com que se faz esta previsão. Dentro deste conceito, a incerteza está relacionada ao grau de crença racional (confiança).

Outro fator importante, relacionado a este estágio do modelo, é que a probabilidade de uma proposição resulta da qualidade de evidências (RUNDE, 1990), cuja relevância está relacionada ao peso dos argumentos, que representa a quantidade de conhecimento relevante (KEYNES, 2004). Desta maneira, quanto maior o conjunto de evidências disponíveis, maior o peso dos argumentos (KEYNES, 2004), representado pela completude de informações.

Estes conceitos justificam a importância da análise do ambiente, por meio da ferramenta PESTAL, escaneamento e monitoramento do ambiente. A exploração destas informações, em profundidade, favorece a detecção de oportunidades, podendo envolver todas as áreas relacionadas ao ciclo de desenvolvimento do produto e/ou serviço.

A análise do ambiente se completa com a exploração de diferentes futuros que, se associados às forças e fraquezas das organizações, contribuem com um direcionamento estratégico mais robusto. Trata-se do planejamento de cenários, ferramenta que favorece a ligação entre os mundos interno e externo à organização.

Em condições de incertezas cada vez mais profundas, a adaptação a uma ampla variedade de futuros se faz necessária (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013), na elaboração do planejamento estratégico. Cada vez mais o tomador de decisão enfrenta as incertezas profundas, que exigem uma abordagem de planejamento que considera uma ampla variedade de

futuros e que devem ser adaptados ao longo do tempo (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013), a exemplo do planejamento de cenários (VAN DER HEIJDEN, 2005) associado ao método *Dynamic Adaptive Policy Pathways* (DAPP) (HAASNOOT et al., 2013; KWAKKEL; HAASNOOT; WALKER, 2016).

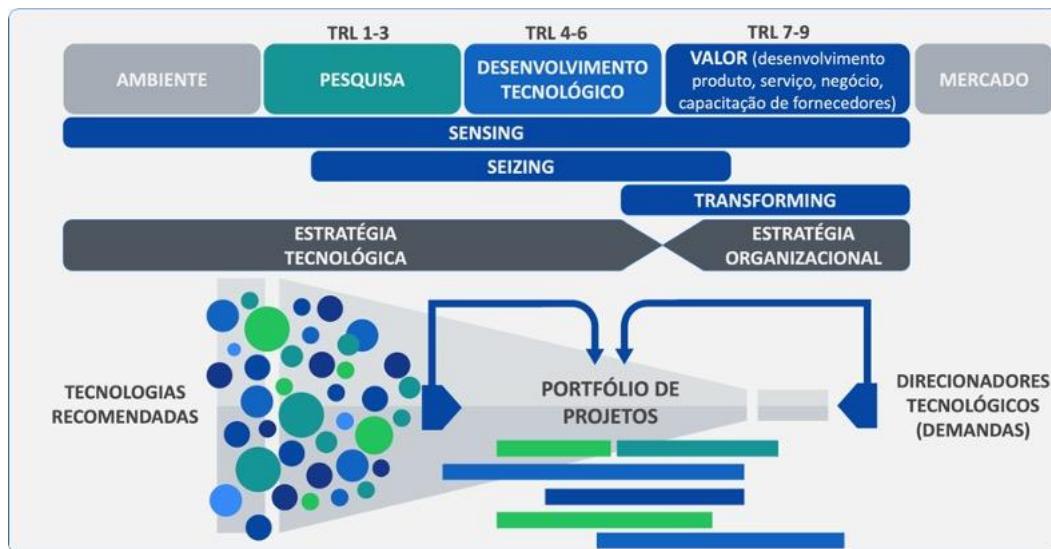
Os resultados da análise do ambiente (interno e externo) devem orientar a fase de pesquisa (TRL 1-2-3), na qual acontece a prospecção de tecnologias. Nesta fase executa-se muitos projetos, que permitem a exploração e recomendação de múltiplas tecnologias e a otimização de riscos e incertezas dos investimentos em futuros projetos de desenvolvimento tecnológico, bem como a reavaliação da estratégia referente aos desenvolvimentos correntes. O estágio envolve a análise do mercado (demandas externas) e a análise das lacunas tecnológicas de projetos e programas (demandas internas).

O crescimento exponencial de tecnologias e mercados está forçando as organizações a intensificarem seus esforços de desenvolvimento. No entanto, é importante observar que a demanda aumenta continuamente, mas as organizações não têm recursos suficientes para assegurar a execução de todas as iniciativas. Com um orçamento limitado e tendo que manter a sua competitividade, é necessário selecionar e balancear a sua estratégia tecnológica em curto, médio e longo prazos.

Por um lado, tem-se uma recomendação tecnológica, *technology push*, cujo resultado contribui com a identificação de oportunidades e tendências tecnológicas (*sensing*). Do outro lado, a demanda por tecnologias, *demand pull*, define os requisitos e objetivos tecnológicos (*transforming*). As tecnologias recomendadas, alinhadas aos direcionadores tecnológicos, geram o escopo estratégico (*seizing*), consolidado por meio do portfolio de tecnologias que podem ser aceleradas, mantidas ou descontinuadas (Figura 6.15).

O desenvolvimento de tecnologias envolve alto grau de inovação, concretizadas por meio dos projetos. Os diferentes tipos de inovação devem ser estruturados de acordo com o tipo de gerenciamento de projeto (SHENHAR et al., 2020) e perfil de liderança mais adequado (LEITE, 2013).

Figura 6.15 – Alinhamento *Technology-Push* e *Demand-Pull* na formação do portfólio de tecnologias.



Fonte: Produção da autora.

As demandas devem ser levantadas interna e externamente, por meio das informações da fase anterior, além de oitivas e entrevistas. As demandas são associadas às tecnologias recomendadas por meio de pesos, onde 1 reflete a baixa e 5 a alta relação da tecnologia com a demanda. Para facilitar a análise em relação à aceleração, manutenção ou descontinuação dos investimentos nos desenvolvimentos tecnológicos, foram estabelecidas três faixas (ranges) com a somatória de aplicação (Figura 6.16).

Figura 6.16 – Alinhamento entre recomendações e demandas tecnológicas.

Modelo Estratégico Dinâmico e Adaptativo (ED&A)

Atribuir pesos de 1-5 para o alinhamento das tecnologias recomendadas às demandas.

Baixa relação recomendação tecnológica - demanda 1 5 Alta relação recomendação tecnológica - demanda

| Tecnologia | ÁREA A | ÁREA B | ÁREA N | MERCADO | GRAU DE ALINHAMENTO | | |
|------------|--------|--------|--------|---------|---------------------|----|---|
| T1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 | ● | |
| T2 | 5 | 5 | 4 | 5 | 19 | ● | |
| T3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 10 | ● | |
| T4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 15 | ● | |
| T5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 13 | ● | |
| T6 | 3 | 5 | 3 | 3 | 11 | ● | |
| T7 | 5 | 5 | 4 | 3 | 17 | ● | |
| SHM | T8 | 2 | 3 | 3 | 5 | 13 | ● |
| T9 | 4 | 5 | 4 | 4 | 17 | ● | |
| FBW | T10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 | ● |
| FSW | T11 | 3 | 3 | 4 | 4 | 14 | ● |

● Acelerar >13
● Manter 6<=13
● Descontinuar <=6

Fonte: Produção da autora.

Para melhorar o entendimento deste item, foram incluídas as tecnologias SHM (T8) e FBW (T10), detalhadas nos estudos de caso da Embraer. A planilha é uma forma de ilustrar o radar de tecnologias, com a interseção de interesses entre as áreas. O radar de tecnologias (Figura 5.2; Seção 5.1) relaciona o desenvolvimento de tecnologias emergentes ao valor das tecnologias para as diferentes áreas da organização e ao nível de maturidade tecnológica (FERNANDEZ et al., 2016).

As tecnologias recomendadas devem ser detalhadas (Figura 6.17) em relação a objetivo, escopo, potenciais parceiros, etapa de aplicação no ciclo de desenvolvimento do produto, nível de maturidade tecnológica atual e almejado (TRL atual e TRL meta), custos de desenvolvimento e aplicação (ordem de grandeza), riscos, domínio tecnológico (proprietário ou de integração) e mapa de capacidades dinâmicas (ampliação, aprofundamento, propósito geral ou específico). O domínio tecnológico e o domínio das capacidades melhoram o entendimento sobre o desenvolvimento de cada tecnologia, afetando diretamente o tempo e a capacidade de desenvolvimento.

Figura 6.17 – Detalhamento das tecnologias recomendadas.

| Modelo Estratégico Dinâmico e Adaptativo (EDA) | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|--|-----------|----------|--------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|--|
| Detalhar as tecnologias recomendadas. | | | | | | | | | |
| Tecnologia | Descrição | Etapa de Aplicação | TRL Atual | TRL Meta | Δ TRL | Tempo de evolução da maturidade | Domínio tecnológico | Domínio capacidades | |
| T1 | • Definição | PROT – Manufatura do protótipo e certificação | 4 | 6 | 2 | 4,2 | INTEGRAÇÃO | AP, PG | |
| T2 | • Objetivos | | 3 | 6 | 3 | 6 | INTEGRAÇÃO | AM, AP, PE | |
| T3 | • Escopo | | 2 | 6 | 4 | 7,4 | INTEGRAÇÃO | AM, PG, PE | |
| T4 | • Custo de desenvolvimento | | 5 | 6 | 1 | 2,6 | PROPRIETÁRIO | AM, AP, PE | |
| T5 | | | 4 | 6 | 2 | 4,2 | INTEGRAÇÃO | AM, AP, PE | |
| T6 | • Custo de aplicação | | 2 | 6 | 4 | 7,4 | INTEGRAÇÃO | AM, AP, PE | |
| T7 | | | 4 | 6 | 2 | 4,2 | INTEGRAÇÃO | AM, AP, PE | |
| SHM | • Riscos | | 3 | 6 | 3 | 6 | PROPRIETÁRIO | AM, AP, PE | |
| T9 | • Potencial de aplicação | | 2 | 6 | 4 | 7,4 | INTEGRAÇÃO | AM, AP, PE | |
| FBW | T10 | | 3 | 6 | 3 | 6 | PROPRIETÁRIO | AM, AP, PE | |
| FSW | T11 | | 5 | 6 | 1 | 2,6 | PROPRIETÁRIO | AM, AP, PE | |

AM – Ampliação
 AP – Aprofundamento
 PG – Propósito Geral
 PE – Propósito Específico

Fonte: Produção da autora.

O domínio tecnológico, proprietário ou de integração, é definido com base no fluxo de conhecimento da organização, por meio dos processos acoplados (Figura 3.8; Seção 3.4).

O mapa de capacidades dinâmicas, segundo Pisano (2016) sugere que fortes complementaridades entre as capacidades de propósito geral e específico existentes em uma organização e novas capacidades necessárias para diversificar em novos mercados pode explicar parcialmente os aspectos da diversificação de Penrose. A “Teoria do Crescimento da Firma”, de Penrose (2006), envolve a redistribuição de ativos, que incluem os recursos, de um setor para outro. No entanto, Pisano (2016) explica que a diversificação quase nunca é puramente um processo de exploração ou readequação de recursos existentes, e geralmente requer a criação de novos recursos (PISANO, 2016).

Este detalhamento permite avaliar se a tecnologia recomendada atende aos direcionadores tecnológicos na fase exigida pelo desenvolvimento do produto. Permite também a avaliação das capacidades dinâmicas correntes e a serem desenvolvidas. A etapa de aplicação se refere à fase, no ciclo de desenvolvimento do produto, em que a tecnologia deverá estar disponível para aplicação. Nesta simulação, foi considerada a necessidade da tecnologia na fase PROT (Manufatura do Protótipo e Certificação), conforme ciclo de desenvolvimento de produto utilizado na Embraer.

A análise estimativa de custos de desenvolvimento e aplicação das tecnologias incluem não somente o desenvolvimento da tecnologia, mas o desenvolvimento das capacidades dinâmicas, competências, infraestrutura, *softwares* e ferramental, correntes e a serem desenvolvidos.

Os sistemas, que dependem de novas tecnologias enfrentam grandes desafios durante o desenvolvimento, como desempenho, propriedades emergentes, cronograma e orçamento. Se a P&D inicial for mal implementada, os novos desenvolvimentos de sistema que planejam empregar tecnologias avançadas podem resultar em desvios de custos, prazos e desempenho. É muito importante que o tomador de decisão seja capaz de fazer avaliações claras e bem documentadas da maturidade e riscos da tecnologia, em pontos chave do ciclo de vida do programa (MANKINS, 2009b).

O detalhamento da tecnologia deve contemplar a estratégia organizacional quanto aos domínios tecnológicos, proprietário ou de integração, que afeta

análise mostra, mais uma vez, a importância de maior integração entre as estratégias tecnológica e organizacional.

Na Embraer, o ciclo de desenvolvimento do produto começa na fase de estudos conceituais (EC), que desenvolve o conceito do produto, e estudos preliminares (EP), que detalha a viabilidade do desenvolvimento (FERREIRA; SALERNO; LOURENÇÃO, 2011).

As fases EC e EP são seguidas pelas fases: *Initial Definition* (IDP), *Joint Definition* (JDP), *Detail Design* (DDP), *Prototype* (PROT), *Certification* (CERT), *Serialization* (SERIE) e *Phase-out*. Na IDP, são definidos os requisitos de alto nível e a configuração básica do produto. Na JDP o objetivo é refinar e validar a configuração escolhida. O detalhamento e interfaces são definidos na DDP e podem impactar todo o ciclo de vida do produto. Nesta fase, os objetos de projeto serão detalhados e incluem os modelos geométricos, roteiros e ferramentas, como CAD, CAE, PDM, entre outras. Os protótipos (PROT) são fabricados, testados e o produto é certificado pelas autoridades competentes (CERT). A fase de serialização (SERIE) corresponde à fase em que a organização vai fabricar, vender e entregar o produto aos clientes. A fase de PHASE-OUT corresponde à parada de fabricação da aeronave, mas ainda com frota em operação (ARAUJO; CRUZ, 2000; MARTINI; CRUZ; TRABASSO, 2003; RIBEIRO, 2017).

De acordo com o padrão ECSS-M-ST-10C, *Space Project Management, Project Planning and Implementation* (ECSS, 2009), utilizado pelo INPE, as fases do desenvolvimento de projetos de sistemas espaciais são sete, da análise de missão ao descarte.

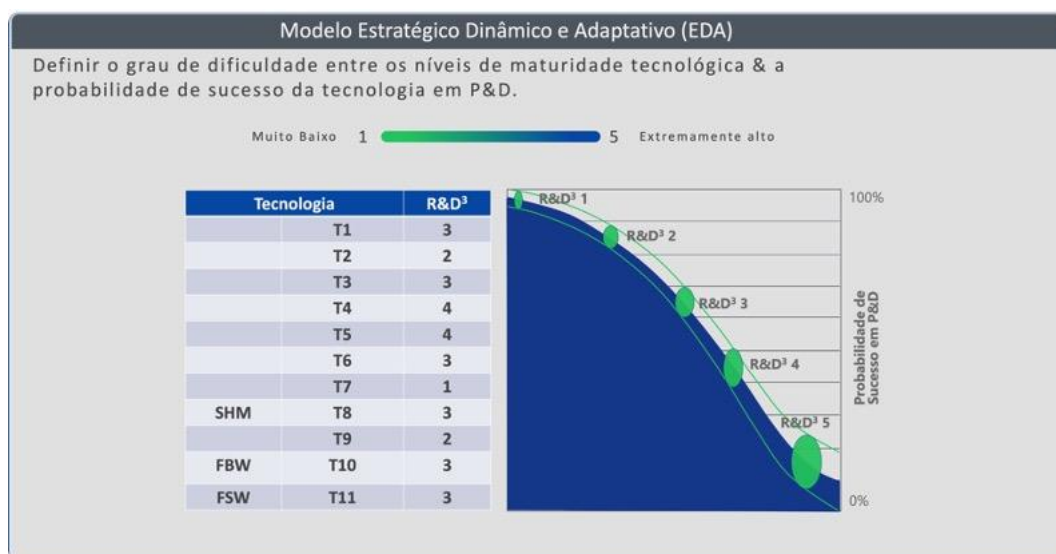
A Fase 0, análise de missão, define os principais requisitos da missão. A Fase A, análise de viabilidade, avalia a viabilidade técnica, compatibilidade com o plano e análise das restrições. A Fase B, definição preliminar do projeto, consolida as configurações de sistemas e operações. A Fase C, definição detalhada do projeto, visa a finalização do conceito do sistema, inclusão dos planos de fabricação e integração, testes de sistemas e componentes, detalhamento do desenvolvimento e demonstração da viabilidade das soluções adotadas para o projeto. A Fase D, produção e

qualificação, se refere ao modelo de qualificação (modelo de voo) dos equipamentos e subsistemas. A Fase E, operação, inclui as atividades de preparação, lançamento e procedimentos iniciais da operação do sistema. Na Fase F, os planos de descarte são implementados (ECSS, 2009).

O estudo mostra que as fases relacionadas ao ciclo de desenvolvimento de produto da Embraer e do INPE podem ser análogas.

Sugere-se que as tecnologias que atendem ao fator de disponibilidade, também sejam avaliadas em relação ao grau de dificuldade do amadurecimento da tecnologia (R&D³), o valor da aplicação da tecnologia para o sistema (TNV) e o nível de maturidade tecnológica e avaliação de risco (TRRA). A integração dessas metodologias constitui uma contribuição importante para a tomada de decisão (MANKINS, 2009b). O grau de dificuldade entre os níveis de maturidade e a probabilidade de sucesso ou fracasso em P&D (R&D³, *Research and Development Degree of Difficulty*) é uma medida do grau de risco (probabilidade) do esforço planejado no desenvolvimento da tecnologia. O R&D³ é uma medida da dificuldade esperada na maturação da tecnologia, complementando a escala de TRL, que não inclui esta análise (MANKINS, 2009b). A análise da medida R&D³, nesta simulação, está detalhada na Figura 6.19.

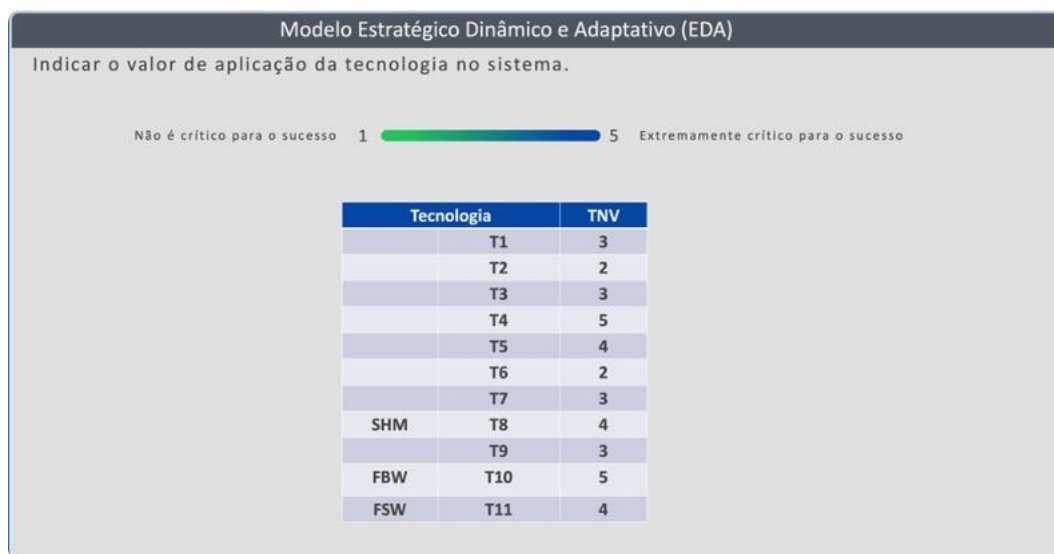
Figura 6.19 – Dificuldade entre os Níveis de Maturidade & Probabilidade de Sucesso em P&D (R&D³).



Fonte: Produção da autora.

O TNV (Figura 6.20) avalia o potencial de aplicação da tecnologia no sistema. Desta maneira, a avaliação da criticidade indicada na planilha avalia se a tecnologia promove a integração com projetos de desenvolvimento tecnológico em andamento e projetos realizados, se a tecnologia pode agregar valor em diferentes fases do ciclo de vida de produtos em desenvolvimento, se pode ser utilizada em diferentes unidades de negócios ou diferentes mercados e se existe potencial de desdobramento em novos negócios.

Figura 6.20 – Valor da tecnologia para aplicação no sistema (TNV).



Fonte: Produção da autora.

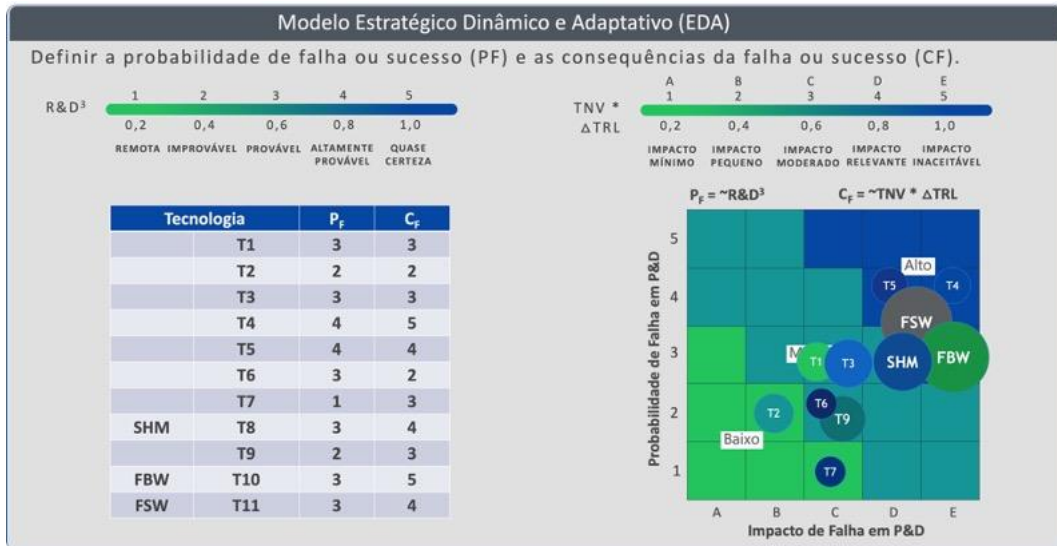
Os fatores considerados para a classificação, na simulação, são: TNV 1 - não é crítico para o sucesso do produto / programa, TNV 2 - útil para o sucesso do produto, TNV 3 - importante para o sucesso do produto, TNV 4 - muito importante para o sucesso do produto, TNV 5 - criticamente importante para o sucesso do produto (diferencial).

As tecnologias utilizadas em um conceito específico podem ser críticas para as características funcionais do sistema. Algumas são habilitadoras (*enabling*), outras constituem melhorias (*enhancing*) em diferentes graus e podem ser substituídas por tecnologias com apenas pequenas mudanças de desempenho e custo do sistema a ser desenvolvido (MANKINS, 2009b).

A abordagem TRRA define uma matriz integrada de risco (Figura 6.21), que detalha os impactos esperados na maturação da tecnologia. A matriz

integra três métricas: $R\&D^3$, que reflete a probabilidade de sucesso ou falha das tecnologias, e $\Delta TRL \times TNV$, que representa as consequências desse sucesso ou falha. Essa abordagem gera uma única matriz que consolida diferentes riscos tecnológicos para comparação imediata (MANKINS, 2009b).

Figura 6.21 – Nível de maturidade tecnológica e avaliação de risco (TRRA).



Fonte: Produção da autora.

Ao se tratar das demandas, que refletem a estratégia organizacional, é importante definir os critérios que representam valor para a organização e mercado. Esses critérios podem ser desdobrados em fatores, classificados de acordo com uma escala de ponderação (grau de importância). Esta classificação inclui competitividade, crescimento, eficiência, sustentabilidade, competências e capacidades dinâmicas (correntes e novas), além de considerar uma forma de responder adequadamente às demandas e mudanças do ambiente.

Os critérios são alterados de acordo com as mudanças do ambiente, buscando colocar a organização à frente de seus competidores, à frente do mercado e em novos mercados.

Após a definição desses critérios e fatores de classificação, associa-se as tecnologias recomendadas. Desta forma, fecha-se o acoplamento entre o *sensing*, o *seizing* e o *transforming* (Figura 6.22).

Figura 6.22 – Classificação das tecnologias recomendadas conforme critérios da organização.

Modelo Estratégico Dinâmico e Adaptativo (EDA)

Classificar as tecnologias recomendadas em uma escala de 1 a 10 em relação aos critérios.

Alinhamento Fraco 1  10 Alinhamento Forte

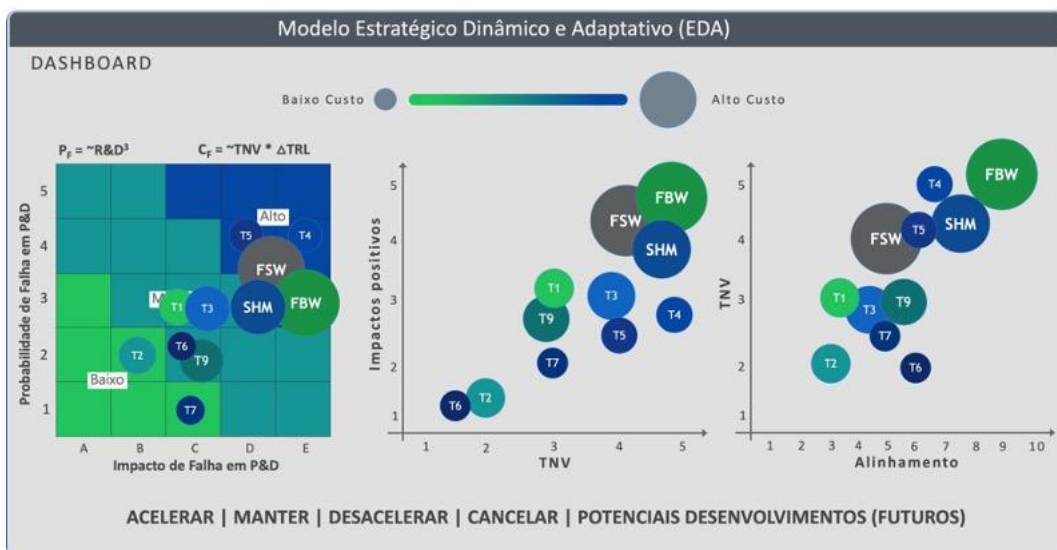
PESO

| Tecnologia | Critério 1 | Critério 2 | Critério 3 | Critério 4 | Critério 5 | Critério 6 | Critério 7 | Critério 8 | Critério N | TOTAL Ponderado | ORDEM |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|-------|
| T1 | 5 | 7 | 6 | 3 | 2 | 6 | 3 | 4 | 8 | 4,85 | 9º |
| T2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3,3 | 11º |
| T3 | 5 | 5 | 6 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4,05 | 10º |
| T4 | 10 | 8 | 8 | 5 | 6 | 10 | 6 | 8 | 5 | 7,25 | 3º |
| T5 | 6 | 7 | 8 | 4 | 5 | 8 | 10 | 8 | 6 | 6,8 | 4º |
| T6 | 5 | 6 | 6 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5,75 | 5º |
| T7 | 8 | 7 | 7 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 7 | 5,4 | 6º |
| SHM | T8 | 7 | 6 | 8 | 8 | 9 | 8 | 7 | 7 | 7,6 | 2º |
| | T9 | 6 | 9 | 8 | 4 | 2 | 6 | 1 | 5 | 5,3 | 7º |
| FBW | T10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 8 | 9 | 8 | 9 | 9,1 | 1º |
| FSW | T11 | 5 | 9 | 8 | 4 | 2 | 5 | 1 | 5 | 5,2 | 8º |

Fonte: Produção da autora.

A consolidação e combinação cruzada dessas informações geradas na simulação buscam contribuir com as escolhas dos líderes, nas tomadas de decisão (Figura 6.23).

Figura 6.23 – Consolidação cruzada de informações.



Fonte: Produção da autora.

Associando o TNV aos impactos positivos das respectivas tecnologias na aplicação, tem-se uma visão muito importante. Na simulação, pode-se observar que as tecnologias FBW, SHM e FSW, além das tecnologias T3 e

T4, apresentam os valores mais representativos tanto em relação aos impactos positivos das tecnologias no sistema como aplicabilidade.

A matriz integrada de riscos (TRRA) compara a probabilidade de falha com as consequências dessa falha para a organização. Mankins (2009b) associa a probabilidade de falha ao grau de dificuldade na evolução dos níveis de maturidade tecnológica. Desta forma, focando-se nas tecnologias exploradas nos estudos de caso, pode-se observar que as tecnologias SHM, FSW e FBW têm probabilidade de falhas inerentes ao desenvolvimento de uma nova tecnologia. No entanto, os impactos das falhas, nas tecnologias SHM e FSW podem representar o não aproveitamento de oportunidades na competitividade da organização e até mesmo liderança tecnológica. Nas tecnologias FBW, as falhas poderiam impactar o negócio, com prejuízo nas vendas dos aviões.

A combinação das tecnologias recomendadas e demandadas, que reflete o acoplamento do *sensing*, *seizing* e *transforming*, com a aplicabilidade da tecnologia (TNV) e com os custos também podem gerar análise muito robustas em relação ao direcionamento estratégico quanto a acelerar, manter, desacelerar ou cancelar, e ainda a indicação de potenciais desenvolvimentos. A simulação mostra que entre as tecnologias mais relevantes, que justificam uma aceleração dos investimentos, são SHM, FBW e a tecnologia T4. As tecnologias que apresentam baixo alinhamento estratégico e baixo valor normalmente são descontinuadas. As tecnologias de alto valor, mas com baixo alinhamento estratégico, podem ser mantidas, ou indicadas para os desenvolvimentos futuros (investimentos futuros).

6.3 Avaliação do Artefato

A qualidade e eficácia de um artefato deve ser demonstrada, por meio de um processo de avaliação, considerado uma parte muito importante da pesquisa (Diretriz 3 da metodologia DS). Avalia-se a funcionalidade, integridade, consistência, precisão, desempenho, confiabilidade, usabilidade e conformidade em relação a atributos considerados relevantes pela organização (HEVNER et al., 2004).

As principais formas de avaliação são: observacional, analítica, experimental, teste e descritiva (HEVNER et al., 2004; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015):

- A avaliação observacional inclui estudos de caso, que envolve a análise da aplicação do artefato na própria organização ou estudos de campo, que trata da aplicação do artefato em outros setores do mercado.
- A avaliação analítica contempla análise estática, que avalia a estrutura do artefato, análise da arquitetura, que envolve a estrutura de adaptação do artefato à arquitetura do sistema, otimização, que busca demonstrar as propriedades do artefato ou análise dinâmica, que trata do desempenho do artefato.
- A avaliação experimental inclui o estudo do artefato em ambiente controlado para avaliar suas qualidades ou a simulação, que avalia o artefato a partir de dados artificiais.
- Os testes podem ser funcionais, ao executar as interfaces do artefato para identificar falhas, ou estruturais, ao executar testes com algumas métricas na implementação do artefato.
- A avaliação descritiva pode ser realizada por meio de informações de bases relevantes para a construção de um argumento que justifique a utilidade do artefato ou a construção de cenários em torno da utilidade do artefato.

Nesta tese, a avaliação no artefato inclui:

- Avaliação observacional: estudos de caso;
- Avaliação analítica: análise documental, entrevistas;
- Avaliação experimental: simulação;
- Testes: funcionais;
- Avaliação descritiva: informações de bases relevantes.

7 CONCLUSÕES

Na metodologia DS, a Diretriz 4 exige a construção de um artefato inovador, para resolver um problema ainda não resolvido ou um problema conhecido de maneira mais eficaz (HEVNER et al., 2004).

7.1 Conclusões e contribuições

Esta tese apresentou um artefato, modelo estratégico dinâmico adaptativo (EDA), que representa uma nova abordagem para a estratégia tecnológica de organizações aeroespaciais. O modelo, principal objetivo desta tese, amplia o conceito de capacidades dinâmicas, de Teece (2018), para organizações de sistemas complexos.

Com base nos estudos de casos analisados na Embraer e no INPE, duas organizações aeroespaciais do Brasil, buscou-se o enriquecimento do desenvolvimento estratégico, explorando-se caminhos de adaptação para melhorar o aproveitamento de oportunidades em ambientes de grande volatilidade. Os casos mostraram que estas organizações têm uma capacidade de pesquisa bem estruturada e orientadas para a captura de oportunidades, realizando o *sensing* com sucesso. Em alguns casos as tecnologias evoluíram (*seizing*), mas não foram aplicadas em produtos correntes ou futuros, impactando um retorno desfavorável em relação aos investimentos no desenvolvimento tecnológico (*transforming*). Os desenvolvimentos tecnológicos que não ganharam escala, evidenciaram a importância de um acoplamento mais estreito entre o *sensing*, o *seizing* e o *transforming* para melhorar o aproveitamento das oportunidades e a agilidade das respostas organizacionais.

A sustentabilidade das organizações de sistemas complexos, em condições de incertezas, está associada ao atendimento das demandas presentes e futuras, exigindo mais flexibilidade e a antecipação das ações estratégicas. Esta flexibilidade expressa a capacidade organizacional de incluir novas ações estratégicas, adaptar, abandonar ou estender ações correntes.

O modelo EDA define a maior integração entre as estratégias tecnológica e organizacional e busca a definição de um plano capaz de atingir as metas

organizacionais atuais e futuras, combinando projetos mais arriscados e benefícios mais significativos, promissores e inovadores, com projetos de baixo risco e de inovações incrementais.

A tese também explora como diferentes formas de raciocínio lógico podem afetar a identificação e seleção de tecnologias e os desafios de converter capacidades dinâmicas em recursos operacionais mais lucrativos. Alguns casos mostram tecnologias que permitiram desenvolver uma nova plataforma para o mercado por meio do raciocínio dedutivo. Outras propuseram conceitos tecnológicos inovadores, destacando o raciocínio abduutivo. O método abduutivo é o mais adequado para compreender um problema e introduzir uma nova ideia (PEIRCE, 1932; PEIRCE, 1974; PEIRCE, 1998; DRESCH et al., 2015), como acontece no estágio de pesquisa do modelo. O uso da lógica abduativa neste estágio, associado ao *design thinking* (DONG et al., 2015), busca gerar novos conhecimentos, novas capacidade e evitar a exclusão prematura de empreendimentos potencialmente lucrativos e inovadores (DONG et al., 2012; DONG et al., 2015).

O modelo EDA associa a geração de diferentes opções tecnológicas a múltiplos futuros, buscando fortalecer a capacidade de adaptação e a ambidestria organizacional (TUSHMANN; O'REILLY III, 2002; O'REILLY III; TUSHMANN, 2004). Desta forma, o modelo contribui com a identificação de oportunidades ao longo do tempo, melhorando as tomadas de decisão em condições de mudanças e incertezas.

A abordagem apresentada busca estimular os tomadores de decisão a incluírem a adaptação ao longo do tempo em seus planos estratégicos, mantendo o futuro sempre aberto (KEYNES, 1936) para novas oportunidades.

As principais contribuições desta tese são:

- O modelo estratégico dinâmico adaptativo (EDA) estruturado com base nas capacidades dinâmicas e nos níveis de maturidade tecnológica (TRL) como parâmetro de tomada de decisão;

- Ampliação da abordagem de capacidades dinâmicas para organizações de sistemas complexos.

7.2 Comunicação da pesquisa

A Diretriz 7 da metodologia DS está relacionada à comunicação dos resultados da pesquisa, tanto para o público técnico como para o público gerencial (HEVNER et al., 2004). Resultados parciais desta tese foram publicados e/ou aprovados para publicação em revista e congressos nacionais e internacionais:

(1) Revista de Administração de Empresas (RAE), FGV EAESP (2017):

- CHAGAS JUNIOR, M. F.; LEITE, D. E. S.; JESUS, G. T. “Coupled Processes” as Dynamic Capabilities in Systems Integration. Revista de Administração de Empresas, v. 57, n. 3, p. 245-257, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-759020170305>.

(2) Scenario Planning and Foresight, conferência realizada na Warwick Business School, Coventry, Reino Unido, (2018) - apresentação plenária:

- Prospective Scenarios: Dynamic and Adaptive Technological Strategies for Enhancing Opportunities Generation in R&D under Uncertainty
(https://warwick.ac.uk/fac/soc/wbs/subjects/orms/ormsevents/scenario2018/presentations/c6.leite_scenarios_2018_wbs_embraer_inp_e_dinahleite_final.pdf).

(3) 10º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE), INPE, foram apresentados dois trabalhos, apresentação plenária e banner (2019):

- LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Modelo Generative Sensing and Seizing (GSS) para a melhoria da estratégia tecnológica sob incerteza no setor aeroespacial. In: Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE), 2019, São José dos

Campos. 10^o Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais, 2019. v. 10. <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/435FLPS>.

- LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Uma proposta de conciliação dos pensamentos de Keynes e Peirce para lidar com tomada de decisão sob incerteza em longo prazo. In: Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE), 2019, São José dos Campos. 10^o Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais, 2019. v. 10. <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/435FLPS>.

(4) XXII Seminário em Administração (SEMEAD), FEAUSP. Trabalho foi aprovado para apresentação plenária, publicado nos anais do evento e indicado no fast-track para a revista Future Studies Research Journal (2019):

- LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Uso de um modelo de desenvolvimento dinâmico e adaptativo (DDA) como ferramenta para a orientação estratégica em organização do setor aeroespacial. In: SemeAd 2019 - XXII Seminários em Administração, São Paulo: FEAUSP, 2019.
- <http://login.semead.com.br/22semead/anais/arquivos/957.pdf>.

(5) Future Studies Research Journal:

- LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Desenvolvimento de um modelo dinâmico e adaptativo como ferramenta para a orientação estratégica em organizações do setor aeroespacial. Future Studies Research Journal - Future, v. 12, p. 242-263, 2020. <http://dx.doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2020.v12i2.472>
- <https://futurejournal.org/FSRJ/article/view/472/461>.

(6) Artigo aprovado para apresentação plenária e publicação na 29^a Conferência Internacional - International Association for Management of Technology (IAMOT), 2020 - Paper #214, artigo completo aceito/aprovado.

- LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Generative sensing and seizing (GSS) model: an adaptive dynamic development model as a

tool for strategic orientation in aerospace organizations. In: International Association for Management of Technology (IAMOT), Nile University, Egypt, 2020.

- <http://www.iamot2020.com/wp-content/uploads/2020/09/IAMOT-2020-Abstract-Book-2Sept20updated.pdf>.

(7) Artigo aprovado para apresentação plenária e publicação na conferência Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET) (2020):

- LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Generative Sensing and Seizing Model: an adaptive dynamic development framework as a tool for strategic orientation in aerospace organizations. In: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), Daejeon, Coréia do Sul, 2020.
- <https://www.picmet.org/db/submission.asp?code=1>.

As publicações (6) e (7) abordam conteúdos e casos diferentes.

7.3 Consolidação das diretrizes DS

A Tabela 7.1 consolida as sete diretrizes (HEVNER et al., 2004), abordadas ao longo desta tese.

Tabela 7.1 – Consolidação das Diretrizes.

| Diretriz | Capítulo | Descrição |
|----------------------------|-----------------------------|--|
| 1 – Projeto de um artefato | 5.1 Visão Geral do Artefato | Modelo estratégico dinâmico adaptativo (EDA). |
| 2 – Relevância do problema | 1.3 Problema | Consequências enfrentadas pelas organizações, quando despreparadas ou lentas para responderem a mudanças. |
| 3 – Avaliação do artefato | 6.3 Avaliação do artefato | Considera a avaliação observacional (estudos de caso), avaliação analítica (análise estática e de arquitetura), avaliação experimental (simulação), testes funcionais, avaliação descritiva (informações de bases relevantes). |

Continua

Tabela 7.1 – Conclusão.

| | | |
|--|-----------------------------|---|
| 4 – Contribuições da pesquisa | 7. Conclusões | O artefato representa um modelo integrado de desenvolvimento tecnológico baseado na escala de TRL como referência de tomada de decisão, que amplia o conceito de capacidades dinâmicas em organizações de sistemas complexos. |
| 5 – Rigor da pesquisa | 5.2 Construção do artefato | A pesquisa evoluiu para a construção do artefato, que busca melhorar as respostas das organizações de sistemas complexos. |
| 6 - <i>Design</i> como um processo de pesquisa | 4.4 Processo de pesquisa | O processo de pesquisa inclui 4 etapas: revisão de literatura, estudos de casos, estruturação e validação do modelo. |
| 7 - Comunicação da pesquisa | 7.2 Comunicação da pesquisa | Resultados parciais da tese foram publicados em revista e congressos nacionais e internacionais. |

Fonte: Produção da autora.

7.4 Limitações da pesquisa e sugestões de pesquisas futuras

Qualquer pesquisa, por sua própria natureza, tem divergências nas interpretações e limitações em relação à generalização dos resultados. Essas divergências e limitações normalmente geram sugestões para as pesquisas futuras.

A tese buscou avançar os conceitos das capacidades dinâmicas, a partir da exploração de elementos relevantes para a estratégia tecnológica no setor aeroespacial. A amostra, abrangendo estudos de casos múltiplos, da identificação de ideias à transformação organizacional, incluindo vários níveis hierárquicos da Embraer e do INPE, buscou melhorar o grau de confiança nos resultados alcançados.

Espera-se que estas ideias, fatores críticos e limitações possam contribuir com outros pesquisadores, como desafios para projetos de pesquisa que contribuam ainda mais com a estratégia tecnologia, pesquisas e capacidades dinâmicas.

Sugestão 1: Ampliar a pesquisa, que focou na estratégia tecnológica de organizações aeroespaciais, para outros setores, melhorando o nível de generalização dos resultados. Esta análise pode favorecer o entendimento da construção e evolução de capacidades dinâmicas e seus impactos na competitividade e sustentabilidade da organização.

Uma limitação das entrevistas realizadas está da subjetividade das declarações, que podem ter limitado a interpretação e a generalização dos resultados. Seria importante coletar dados sobre a estratégia tecnológica, formação de capacidades dinâmicas e a posição competitiva da organização antes e depois de uma mudança relevante, seja em uma tecnologia específica, no modelo de negócio ou no ambiente.

Sugestão 2: Aprofundar as pesquisas referentes à distribuição dos investimentos (budget) entre pesquisa e desenvolvimento.

As diferenças entre os investimentos destinados às fases de pesquisa e desenvolvimento são relevantes e se justificam, em função dos diferentes custos, que aumentam proporcionalmente à evolução da maturidade tecnológica. Mas, os investimentos em pesquisa normalmente são intermitentes, dificultando a evolução das pesquisas, a manutenção das parcerias e a continuidade da participação em consórcios de desenvolvimento tecnológico.

Sugestão 3: Melhorar a adequação do gerenciamento entre projetos de pesquisa e projetos de desenvolvimento.

As particularidades e complementaridades de cada tipo de projeto devem ser consideradas nos diferentes gerenciamentos. Os projetos, na fase de pesquisa, normalmente não têm objetivo e escopo bem definidos, e são caracterizados por altos riscos e múltiplas incertezas, por envolverem a exploração de algo novo. São projetos que dependem de variáveis, algumas vezes, não controláveis. Os projetos de desenvolvimento tecnológico, por outro lado, podem ser gerenciados por métodos convencionais, por envolverem variáveis controláveis. Esta questão pode derivar de um aprofundamento do modelo NTCR, de Shenhar e Dvir (2007).

Espera-se que esta tese contribua para melhorar com os tomadores de decisão a investir melhor e de maneira mais consistente nas fases iniciais do desenvolvimento tecnológico (TRL 1-2-3) e desenvolvimento de capacidades. Esta fase, que corresponde à exploração de novas tecnologias, mostra a importância dos investimentos na construção de novas capacidades dinâmicas, como diferencial competitivo para a organização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERNATHY, W. J.; UTTERBACK, J. M. Patterns of innovation in industry. **Technology Review**, v. 80, n. 7, p. 40-47, 1978.
- AFFONSO, W.; SILVA, R. G. A.; SILVA, F. S.; THOMAS, G.; KESSLER, S.; DOMINGOS, R. H. Carbon Nanotube (CNT) based Ice Protection System applied to a small aircraft. In: AIAA AVIATION TECHNOLOGY, INTEGRATION, AND OPERATIONS CONFERENCE, 2017. **Proceedings...** 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2514/6.2017-3069>.
- AHLQVIST, T.; UOTILA, T. Contextualising weak signals: Towards a relational theory of futures knowledge. **Futures**, v. 119, 102543, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102543>.
- ALEMOUR, B.; BADRAN, O.; HASSAN, M. R. A review of using conductive composite materials in solving lightning strike and ice accumulation problems in aviation. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 11, e1919, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5028/jatm.v11.1022>.
- ANDRIANI, P.; CATTINI, G. Exaptation as a source of creativity, innovation, and diversity: introduction to the special section. **Industrial and Corporate Change**, v. 25, n. 1, p. 115-132, 2016.
- ANTHONI, E.; VAN LEEMPUT, M.; SCHOFFELEN, J.; HANNES, K. Futures studies. In: ATKINSON, P.; DELAMONT, S.; CERNAT, A.; SAKSHAUG, J. W.; WILLIAMS, R. A. (Ed.). **Foundation**. [S.l.]: SAGE Research Methods, 2020. Disponível em: <https://www.doi.org/10.4135/9781526421036949493>.
- ALAVI, M.; LEIDNER, D. E. Knowledge management and knowledge management systems: conceptual foundations and research issues. **MIS Quarterly**, v. 25, n. 1, p. 107-136, 2001.
- ALBRECHTS, L. Strategic (spatial) planning reexamined. **Environment and Planning B**, v. 31, n. 5, p. 743-758, 2004.

ALBRECHTS, L.; BALDUCCI, A. Practicing strategic planning: in search of critical features to explain the strategic character of plans. **The Planning Review**, v. 43, n. 3, p. 16-27, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02513625.2013.859001>.

ALVES, D. P.; FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA, A. H. O poderoso NVivo: uma introdução a partir da análise de conteúdo. **Revista Política Hoje**, v. 24, n. 2, p. 119-134, 2015.

ANDRADE, R. P. A construção do conceito de incerteza: uma comparação das contribuições de Knight, Keynes, Shackle e Davidson. **Revista Nova Economia**, p. 171-195, 2011.

ANDRIOPOULOS, C.; LEWIS, M. W. Exploitation-exploration tensions and organizational ambidexterity: managing paradoxes of innovation. **Organization Science**, v. 20, n. 4, p. 696-717, 2009.

ANDRIOPOULOS, C.; LEWIS, M. W. Managing innovation paradoxes: ambidexterity lessons from leading product design companies. **Long Range Planning**, v. 43, n. 1, p.104-122, 2010.

ANSOFF, H. I. Managing strategic surprise by response to weak signals. **California Management Review**, v. 18, n. 2, p. 21-33, 1975.

ANSOFF, H. I. Strategic issue management. **Strategic Management Journal**, v. 1, n. 2, p. 131-148, 1980.

ARAÚJO, C. S.; CRUZ, J. L. A view of the practice of integrated product development at Embraer. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON HIGH TECHNOLOGY, 5., 2000, Piracicaba. **Proceedings...** 2000.

ARTINGER, F.; PETERSEN, M.; GIGERENZER, G.; WEIBLER, J. Heuristics as adaptive decision strategies in management. **Journal of Organizational Behavior**, v. 36, n. S1, p. 33-53, 2015.

ASHER, D.; POPPER, M. Tacit knowledge as a multilayer phenomenon: the “onion” model. **The Learning Organization**, v. 26, n. 4, p. 264-265, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/TLO-06-2018-0105>.

AUGIER, M. S. E.; SARASVATHY, S. D. **Simon on altruism, near decomposability, and design**: extensions on a behavioral approach to

strategic management. 2016. Disponível em:

https://www.effectuation.org/sites/default/files/research_papers/simonsmj-altruism.pdf.

AUSTER, E.; CHOO, C. W. How senior managers acquire and use information in environmental scanning. **Information Processing and Management**, v. 30, n. 5, p. 607-618, 1994.

AZIZIAN, N.; SARKANI, S.; MAZZUCHI, T. A comprehensive review and analysis of maturity assessment approaches for improvement decisions support to achieve efficient defense acquisition. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2009, São Francisco. **Proceedings...** 2009. p. 1-8.

BARBARINO, S.; BILGEN, O.; AJAJ, R. M.; FRISWELL, M. I.; INMAN, D. A review of morphing aircraft. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, v. 22, n. 9, p. 823-877, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1045389X11414084>.

BARNEY, J. B. Firm resources and sustained competitive advantage. **Journal of Management**, v. 17, n. 1, p. 99-120, 1991.

BARR, S. H.; BAKER, T.; MARKHAM, S. K.; KNGON, A. I. Bridging the valley of death: lessons learned from 14 years of commercialization of technology education. **Academy of Management Learning and Education**, v. 8, n. 3, p. 370-388, 2009.

BARROS, G. H. A. Simon and the concept of rationality: boundaries and procedures. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 3, p. 455-472, 2010.

BARROS, M. T.; NEVES, J. A. S.; NEGRÃO, J. R. P.; PENNA, S. D.; ORTIZ, M. A. A. **Distributed integrated modular avionics**. [S.l.]: STO, 2018. (STO-MP-IST-166).

BAXTER, P.; JACK, S. Qualitative case study methodology: study design and implementation for novice researchers. **The Qualitative Report**, v. 13, n. 4, p. 544-556, 2008.

BAZERMAN, M.; MOORE, D. A. **Judgment in managerial decision making**. 8.ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.

- BEAL, R. Competing Effectively: environmental scanning, competitive strategy, and organizational performance in small manufacturing firms. **Journal of Small Business Management**, v. 38, n. 1, 2000.
- BEERS, H. **Horizon scanning**: making sense of the future. SHP - Health and Safety News, Legislation, PPE, CPD and Resources, 2016.
Disponível em: <https://www.shponline.co.uk/horizon-scanning-making-sense-of-the-future/>. Acesso em: 27 out. 2020.
- BELL, W. **Foundations of futures studies**: history, purposes and knowledge: human science for a new era. New Brunswick; London: Transaction Publishers, 2003.
- BETZ, F. **Managing technological innovation**: competitive advantage from change. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 2011.
- BIEDENBACH, T.; SÖDERHOLM, A. The challenge of organizing change in hypercompetitive industries: a literature review. **Journal of Change Management**, v. 8, n. 2, p. 123-145, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14697010801953967>.
- BIEMANS, W. G.; HUIZINGH, K. R. E. Rethinking the valley of death: an ecosystem perspective on the commercialization of new technologies. **Technovation**, 2020.
- BIMBER B; POPPER S. W. **What is a critical technology?** Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1994.
- BOTEZ, R. M.; MOLARET, P.; LAURENDEAU, E. Laminar flow control on a research wing project presentation covering a three year period. In: CANADIAN AERONAUTICS AND SPACE INSTITUTE ANNUAL GENERAL MEETING, 2007. **Proceedings...** 2007.
- BRADFIELD, R.; WRIGHT, G.; BURT, G.; CAIRNS, G.; VAN DER HEIJDEN, K. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. **Futures**, v. 37, n. 8, p. 795-812, 2005.
- BRANDOLINI S. M. D.; SCAZZIERI R. Introduction: fundamental uncertainty and plausible reasoning. In: BRANDOLINI, S. M. D.;

SCAZZIERI, R. (Ed.). **Fundamental uncertainty**. London: Palgrave Macmillan, 2011.

BREM, A.; NYLUND, P. A.; SCHUSTER, G. Innovation and de facto standardization: the influence of dominant design on innovative performance, radical innovation, and process innovation. **Technovation**, v. 50-51, p. 79-88, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2015.11.002>.

BRITO, M. A. M. **Proposta de método para subsidiar a avaliação, a priorização e a seleção de novas tecnologias de baixa maturidade em uma organização aeroespacial**. Dissertação (Mestrado em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2010.

BROOKE, G. T. F. Uncertainty, profit and entrepreneurial action: Frank Knight's contribution reconsidered. **Journal of the History of Economic Thought**, v. 32, n. 2, p. 221-235, 2010.

BROWN, S. L.; EISENHARDT, K. The art of continuous change: linking complexity theory and time-paced evolution in relentlessly shifting organizations. **Administrative Science Quarterly**, v. 42, n. 1, p. 1-34, 1997.

BUCHERER, E.; EISERT, U.; GASSMANN, O. Towards systematic business model innovation: lessons from product innovation management. **Creativity and Innovation Management**, v. 21, n. 2, p. 183-198, 2012.

BUSENITZ, L. W.; BARNEY, J. B. Differences between entrepreneurs and managers in large organizations: biases and heuristics in strategic decision-making. **Journal of Business Venturing**, v. 12, n. 1, p. 9-30, 1997.

CAIRNS, G.; GOODWIN, P.; WRIGHT, G. A decision-analysis-based framework for analysing stakeholder behaviour in scenario planning. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 3, p. 1050-1062, 2016.

CAIRNS, G.; WRIGHT, G. **Scenario thinking**: preparing your organization for the future in an unpredictable world, 2.ed. Cham: Springer, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49067-0>.

CAMPITELLI, G.; GOBET, F. Herbert Simon's decision-making approach: investigation of cognitive processes in experts. **Review of General Psychology**, v. 14, n. 4, p. 354-364, 2010.

CAPAZ, R. S. et al. Environmental trade-offs of renewable jet fuels in Brazil: Beyond the carbon footprint. **Science of the Total Environment**, v. 714, 2020.

CARVALHO, M. M. **Inovação**: estratégias e comunidades de conhecimento. São Paulo: Atlas. 2009.

CASADESUS-MASANELL, R.; RICART, J. E. How to design a winning business model. **Harvard Business Review**, v. 89, n. 1/2, p. 100-107, 2011.

CHAGAS JUNIOR, M. F. **Criação e exercício de capacitações em integração de sistemas**: explorando interações entre formas de aprendizagem tecnológica - o caso do programa CBERS. Tese (Doutorado em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2009.

CHAGAS JUNIOR, M. F.; CAMPANARIO, M. A.; SILVA, M. M. Propriedades emergentes, aprendizagem interativa e refinamento de design: um estudo de caso na indústria espacial. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 26, 2010, Vitória. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2010.

CHAGAS JUNIOR, M. F.; CABRAL, A. S. Criação de capacitações em integração de sistemas: o caso do programa CBERS. **Revista de Administração e Inovação (RAI)**, v. 7, n. 2, p. 34-59, 2010.

CHAGAS JUNIOR, M. F.; CABRAL, A. S.; CAMPANARIO, M. A. Firmas integradoras de sistemas, suas capacitações e fontes de tecnologia: o caso da empresa brasileira de aeronáutica (Embraer). **Revista de Ciências da Administração (RCA)**, v. 13, n. 29, p. 63-87, 2011.

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

CHAGAS JUNIOR, M. F.; LEITE, D. E. S.; JESUS, G. T. "Coupled Processes" as dynamic capabilities in systems integration. **Revista de Administração de Empresas (RAE)**, v. 57, n. 3, p. 245-257, 2017.

CHANDLER, A. D. **Strategy and structure: chapters in the history of the industrial enterprise**. MIT: Cambridge, 1962.

CHANDY, R. K.; TELLIS, G. J. Organizing for radical product innovation: the overlooked role of willingness to cannibalize. **Journal of Marketing Research**, v. 35, n. 4, p. 474-487, 1998.

CHERMACK, T. J. The mandate for theory in scenario planning. **Futures Research Quarterly**, v. 18, n. 2, p. 25-28, 2002.

CHERMACK, T. J. Improving decision-making with scenario planning. **Futures**, v. 36, p. 295-309, 2004a.

CHERMACK, T. J. A theoretical model of scenario planning. **Human Resource Development Review**, v. 3, p. 301-325, 2004b. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1534484304270637>.

CHERMACK, T. J. Studying scenario planning: theory, research suggestions, and hypotheses. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 72, n. 1, p. 59-73, 2005.

CHERMACK, T. J.; SWANSON, R. A. Scenario planning: human resource development's strategic learning tool. **Advances in Developing Human Resources**, v. 10, n. 2, p. 129-146, 2008.

CHERMACK, T. J.; NIMON, K. The effects of scenario planning on participant decision-making style. **Human Resource Development Quarterly**, v. 19, n. 4, p. 351-372, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hrdq.1245>.

CHESBROUGH, H. W. Towards a dynamics of modularity. In: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBDA, M. (Ed.) **The business of systems integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003a. p. 174-199.

CHESBROUGH, H. W. The era of open innovation. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 3, p. 35-41, 2003b.

CHESBROUGH, H. Bringing open innovation to services. **MIT Sloan Management Review**, v. 52, n. 2, p. 84-91, 2011.

CHO, Y. Investigating the merge of exploratory and normative technology forecasting methods. In: PICMET TECHNOLOGY MANAGEMENT IN THE IT-DRIVEN SERVICES, 2013, San Jose, CA, USA. **Proceedings...** 2013. p. 2083-2092.

CHOI, H. Technology-push and demand-pull factors in emerging sectors: evidence from the electric vehicle market. **Industry and Innovation**, v. 25, n. 7, p. 655-674, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13662716.2017.1346502>.

CHOI, T. Y.; KRAUSE, D. R. The supply base and its complexity: implications for transaction costs, risks, responsiveness, and innovation. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 5, p. 637-652, 2006.

CHOO, C. W. The knowing organization: how organizations use information to construct meaning, create knowledge and make decisions. **International Journal of Information Management**, v. 16, n. 5, p. 329-340, 1996.

CHOO, C. W. Environmental scanning as information seeking and organizational learning. **Information Research**, v. 7, n. 1, 2001.

CHOO, C. W. The art of scanning the environment. **Bulletin of the American Society for Information Science and Technology**, v. 25, n. 3, 2005

CHRISTENSEN, C. M.; BOWER, J. L. Customer power, strategic investment, and the failure of leading firms. **Strategic Management Journal**, v. 17, n. 3, p. 197-218, 1996.

- CHRISTENSEN, C. M. Making strategy: learning by doing. **Harvard Business Review**, p. 141-156, 1997.
- CHRISTENSEN, C. M.; OVERDORF, M. Meeting the challenge of disruptive change. **Harvard Business Review**, v. 78, n. 2, p. 66-76, 2000.
- CIGOLINI, R.; COZZI, M.; PERONA, M. A new framework for supply chain management: conceptual model and empirical test. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 24, n. 1, p. 7-41, 2004.
- COLLINGRIDGE, D. **The social control of technology**. London: Pinter, 1980.
- COLLIS, D. J. Research note: how valuable are organizational capabilities? **Strategic Management Journal**, v. 15, Suppl., p. 143-152, 1994.
- COMERFORD, D.; BRANDT, S.; LACHTER, J.; WU, S. C.; MOGFORD, R.; BATTISTE, V.; JOHNSON, W. W. **NASA's single pilot operations technical interchange meeting**: proceedings and findings. Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center, 2012. (NASA- CP-2013-216513).
- CORTEZ, L. A. B.; NIGRO, F. E. B.; NASSAR, A. M.; CANTARELLA, H.; NOGUEIRA, L. A. H.; MORAES, M. A. F. D.; LEAL, R. L. V.; FRANCO, T. T.; SCHUCHARDT, U. **Roadmap for sustainable aviation biofuels for Brazil**: a flightpath to aviation biofuels in Brazil. São Paulo: Blucher, 2014.
- CORTEZ, L. A. B.; NIGRO, F. E. B.; NOGUEIRA, L. A. H.; NASSAR, A. M.; CANTARELLA, H.; MORAES, M. A. F. D.; LEAL, R. L. V.; FRANCO, T. T.; SCHUCHARDT, U.; BALDASSIN JR., R. Perspectives for sustainable aviation biofuels in Brazil. **International Journal of Aerospace Engineering**, 264898, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/264898>.
- COURTNEY, H.; KIRKLAND, J.; VIGUERIE, P. Strategy under uncertainty. **Harvard Business Review**, v. 75, p. 67-79, 1997.
- COWLING, B. J. et al. Aerosol transmission is an important mode of influenza A virus spread. **Nature Communications**, v. 4, n. 1935, 2013.

CRAMER-PETERSEN, C. L.; CHRISTENSEN, B. T.; AHMED-KRISTENSEN, S. Empirically analysing design reasoning patterns: abductive-deductive reasoning patterns dominate design idea generation.

Design Studies, v. 60, p. 39-70, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.destud.2018.10.001>.

CRESWELL, J. W. **Qualitative inquiry and research design: choosing among five approaches**. Thousand Oaks, CA: Sage, 2013.

CRISTOFARO, M. Herbert Simon's bounded rationality: its historical evolution in management and cross-fertilizing contribution. **Journal of Management History**, v. 23, n. 2, p. 170-190, 2017.

CUHLS, K. E.; VAN DER GIESSEN, A.; TOIVANEN, H. **Models of horizon scanning**: how to integrate horizon scanning into European research and innovation policies. Brussels: European, 2015.

CUHLS, K. E. Horizon scanning in foresight – why horizon scanning is only a part of the game. **Futures and Foresight Science**, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ffo2.23>.

DAMANPOUR, F. The adoption of technological, administrative, and ancillary. **Journal of Management**, v. 13, n. 4, p. 675-688, 1987.

DAMANPOUR, F.; WISCHNEVSKY, J. D. Research on innovation in organizations: distinguishing innovation-generating from innovation-adopting organizations. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 23, n. 4, p. 269-291, 2006.

DANNEELS, E. Organizational antecedents of second order competences. **Strategic Management Journal**, v. 29, n. 5, p. 519-543, 2008.

DAVIES, A.; HOBDAY, M. **The business of projects**: managing innovation in complex products and systems. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

DEAN, T.; ZHANG, H.; XIAO, Y. 2020. The role of complexity in the Valley of Death and radical innovation performance. **Technovation**, e102160, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102160>.

DEKONINCK, E.; MEYTHALER, I. The role of horizon scanning in innovation and design practice. **Conference Proceedings of the Academy for Design Innovation Management**, v. 2, n. 1, p. 1109-1122, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.33114/adim.2019.01.344>.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. Introduction: the discipline and practice of qualitative research. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Ed.). **The sage handbook of qualitative research**. 2.ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2005.

DEQUECH, D. Bounded rationality, institutions, and uncertainty. **Journal of Economic Issues**, v. 35, n. 4, p. 911-929, 2001.

DERBYSHIRE, J.; WRIGHT, G. Preparing for the future: development of an 'antifragile' methodology that complements scenario planning by omitting causation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 82, p. 215-225, 2014.

DERBYSHIRE J. The implications, challenges and benefits of a complexity-orientated futures studies. **Futures**, v. 77, p. 45–55, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2016.02.001>.

DERBYSHIRE J.; GIOVANNETTI, E. Understanding the failure to understand New Product Development failures: mitigating the uncertainty associated with innovating new products by combining scenario planning and forecasting. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 125; p. 334-344, 2017.

DERBYSHIRE, J. Potential surprise theory as a theoretical foundation for scenario planning, **Technological Forecasting and Social Change**, v. 124, p. 77-87, 2017.

DERBYSHIRE, J. Answers to questions on uncertainty in geography: old lessons and new scenario tools. **Environment and Planning A: Economy and Space**, 2019.

DE SORDI, J. O.; AZEVEDO, M. C.; MEIRELES, M. A.; CAMPANARIO, M. A. A Abordagem design science no Brasil segundo as publicações em

administração da informação. In: ENCONTRO ANPAD, 37., 2013.

Anais... 2013. p.1-16.

DIERICKX, I.; COOL K. Asset stock accumulation and sustainability of competitive advantage. **Management Science**, v. 35, n. 12, p. 1504-1510, 1989.

DMDU SOCIETY. **The society for decision making under deep uncertainty**, 2019. Disponível em: <http://www.deepuncertainty.org/>.

Acesso em: 16 fev. 2019.

DONG, A.; MCINNES, D.; DAVIES, K. P. Exploring the relationship between lexical behavior and concept formation in design conversations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN THEORY AND METHODOLOGY, 17., 2005, Long Beach, CA, USA. **Proceedings....** 2005.

DONG, A.; MOUNARATH, R.; LOVALLO, D. The language of abduction in choosing innovation. **Proceedings of International Conference on Design Creativity**, v. 1, p. 179-188, 2012.

DONG, A.; LOVALLO, D.; MOUNARATH, R. The effect of abductive reasoning on concept selection decisions. **Design Studies**, v. 37, p. 37-58, 2015.

DONG, A.; GARBUIO, M.; LOVALLO, D. Generative sensing: a design perspective on the microfoundations of sensing capabilities. **California Management Review**, v. 58, n. 4, p. 97-117, 2016.

DORST, K. The core of 'design thinking' and its application. **Design Studies**, v. 32, n. 6, p. 521-532, 2011.

DOSI, G.; FAILLO, M.; MARENGO, L. Organizational capabilities, patterns of knowledge accumulation and governance. **Organization**, v. 29, n. 8/9, p. 1164-1185, 2008.

DOTTA, F. et al. Early results of lamb waves approach to assess corrosion damage using direct image path in an aeronautical aluminum alloy. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SHM, 8., 2011.

Proceedings... 2011

DOTTA, F. et al. SHM qualification process and the future of aircraft maintenance. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL COUNCIL OF THE AERONAUTICAL SCIENCES, 31., 2018, Belo Horizonte, Brazil. **Proceedings...** 2018.

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

DRUCKER, P. **The age of discontinuity**: guidelines to our changing society. New Jersey: Transaction Publishing, 2011.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-M-ST-10C**: space project management – project planning and implementation. Noordwijk, The Netherlands: ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, 2009.

EGIDI, M.; MARENGO, L. **Cognition, institutions, near decomposability**: rethinking Herbert Simon's contribution. Italia: University of Trento, 2002.

EGIDI, M.; MARENGO, L. Near-decomposability, organization, and evolution: some notes on Herbert Simon's contribution. In: Augier, M.; March, J. G. (Ed.). **Models of a man**: essays in memory of Herbert A. Simon. [S.l.]: MIT Press, 2004. p.335-350.

EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EISENHARDT, K. M.; MARTIN, J. A. Dynamic capabilities: what are they? **Strategic Management Journal**, v. 21, n. 10-11, p. 1105-1121, 2000.

EISENHARDT, K. M.; GRAEBNER, M. E. Theory building from cases: opportunities and challenges. **Academy of Management Journal**, v. 50, n. 1, p. 25-32, 2007.

EPPLER, M. J.; PLATTS, K. W. Visual strategizing: the systematic use of visualization in the strategic-planning process. **Long Range Planning**, v. 42, n. 1, p. 42-74, 2009.

- FARNESE, M.; FIDA, R.; LIVI, S. Reflexivity and flexibility: complementary routes to innovation? **Journal of Management & Organization**, v. 22, n. 3, p. 404-419, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jmo.2015.42>.
- FEENBERG, A. Modernity theory and technology studies: reflections on bridging the gap. In: MISA, T.; BREY, P.; FEENBERG, A. (Ed.). **Modernity and technology**. Cambridge: MIT Press, 2003.
- FEENBERG, A. Critical theory of technology: an overview. **Tailoring Biotechnologies**, v. 1, n. 1, p. 47-64, 2014.
- FERNANDEZ, F. F.; CRUZ, M. **Friction Stir Welding (FSW) methods and systems and friction stir welded components made thereby**. n. PI WO2010003199, 2010,
- FERNANDEZ, F. F.; VASCONCELLOS, E.; GUEDES, L. F. A.; CARLANA, R.; MATTA, V. E. Long-term R&D-based consortia: paths to integrate basic research with company strategy. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR MANAGEMENT OF TECHNOLOGY (IAMOT), 2016, Orlando. **Proceedings...** 2016. p. 973-992.
- FERRARI FILHO, F.; ARAUJO, J. P. Caos, incerteza e teoria pós-keynesiana. **Ensaio FEE**, v. 21, n. 2, p. 163-182, 2000.
- FERRARI FILHO, F.; CONCEIÇÃO, O. A. C. The concept of uncertainty in post Keynesian theory and in institutional economics. **Journal of Economic Issues**, v. 39, n. 3, p. 579-594, 2005.
- FERREIRA, V. L.; SALERNO, M. S.; LOURENÇÃO, P. T. M. As estratégias na relação com fornecedores: o caso Embraer. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.18, n.2, p.221-236, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000200001>.
- FINE, C. H. **Clockspeed**: winning industry control in the age of temporary advantage. Reading, MA: Perseus Books, 1998.
- FORD, G. S.; KOUTSKY, T. M.; SPIWAK, L. J. **A Valley of Death in the innovation sequence**: an economic investigation. Washington: Phoenix Center, 2007.

FREDRICKSON, J. W.; MITCHELL, T. R. Strategic decision processes: comprehensiveness and performance in an industry with a stable environment. **Academy of Management Journal**, v. 27, n. 2, p. 399-423, 1984.

FREDRICKSON, J. W. The comprehensiveness of strategic decision processes: extension, observations, and future directions. **Academy of Management Journal**, v. 27, n. 3, p. 445-466, 1984.

FREDRICKSON, J. W. Effects of decision motive and organizational performance level on strategic decision processes. **Academy of Management Journal**, v. 28, n. 4, p. 821-843, 1985.

FREDRICKSON, J. W.; IAQUINTO, A. L. Inertia and creeping rationality in strategic decision processes. **Academy of Management Journal**, v. 32, n. 3; p. 543-576, 1989.

FUJIMOTO, T. **Evolution of a manufacturing system at Toyota**. Oxford: Oxford University Press, 1999.

GALLAGHER, K. S.; GRÜBLER, A.; KUHL, L.; NEMET, G. F.; WILSON, C. The energy technology innovation system. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 137-162, 2012.

GARCIA, R.; CALANTONE, R. A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. **Journal of Product Innovation Management**, v. 19, n. 2, p. 110-132, 2002.

GARG, A.; LINDA, R. I.; CHOWDHURY, T. Evolution of airplane flight control system and fly-by-light flight control system. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 3, n. 12, 2013.

GASPARI, A. D.; RICCI, S. Knowledge-based shape optimization of morphing wing for more efficient aircraft. **International Journal of Aerospace Engineering**, v. 2015, p. 1-19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/325724>.

GHOLZ, E. Systems integration in the US defence industry: who does it and why is it important? In: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBDA, M.

(Ed.). **The business of systems integration**. Oxford: Oxford University Press, 2003. p. 279-306.

GIGERENZER, G. Why heuristics work. **Perspectives on Psychological Science**, v. 3, n. 1, p.20-29, 2008.

GIUNCHIGLIA, F. Contextual reasoning. **Epistemologia**, v. 16, spec., p.145-63, 1993.

GOBBI, D. et al. A atual concepção da missão do satélite científico EQUARS (Equatorial Atmosphere Research Satellite). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 7, 2018, Santa Maria, RS. **Anais...** 2018.

GODET, M. The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 65, n. 1, p. 3-22, 2000.

GODET, M.; MONTI, R., ROUBELAT, F. **Manuel de prospective strategique** 1. Dunod, Paris: Une indisciplinée intellectuelle, 2004.

GODOY, S. A. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995a.

GODOY, S. A. Pesquisa qualitativa - tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995b.

GORDON, A. V.; RAMIC, M.; ROHRBECK, R.; SPANIOL, M. J. 50 Years of corporate and organizational foresight: Looking back and going forward. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 154, 119966, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119966>.

GÜEMES, A. SHM technologies and applications in aircraft structures. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NDT IN AEROSPACE,5., 2013, Sigapore. **Proceedings...** 2013.

GUMMESSON, E. Case study research and network theory: birds of a feather. **Qualitative Research in Organizations and Management: an International Journal**, v. 2, n. 3, p. 226-248, 2007.

GUNASEKARAN, A.; LAI, K. H.; CHENG, C. E. Responsive supply chain: a competitive strategy in a networked economy. **Omega International Journal of Management Science**, v. 36, n. 4, p. 549-564, 2008.

GUO, H.; WANG, C.; Su, Z.; WANG, D. Technology push or market pull? strategic orientation in business model design and digital start-up performance. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 37, n. 4, p. 352-372, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jpim.12526>.

GUSTAFSSON, J. **Single case studies vs. multiple case studies: a comparative study**. Thesis (PhD) - Halmstad University, Halmstad, Sweden, 2017.

HAASNOOT, M.; KWAKKEL, J. H.; WALKER, H. E.; TER MAAT, J. Dynamic adaptive policy pathways: a new method for crafting Robust decisions for a deeply uncertain world. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 2, p. 485-498, 2013.

HAASNOOT, M.; KLOOSTER, S.; ALPHEN, J. Designing a monitoring system to detect signals to adapt to uncertain climate change. **Global Environmental Change**, v. 52, p. 273-285, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.003>.

HALLEGATTE, S.; SHAH, A.; LEMPERT, R.; BROWN, C.; GILL, S. **Investment decision making under deep uncertainty application to climate change**. [S.l.]: The World Bank, 2012.

HALLEGATTE, S. A normative exploration of the link between development, economic growth, and natural risk. **Economics of Disasters and Climate Change**, v. 1, p. 5-31, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41885-017-0006-1>.

HELFAT, C. E.; PETERAF, M. A. The dynamic resource-based view: capability lifecycles. **Strategic Management Journal**, v. 24, n. 10, p. 997-1010, 2003.

HELFAT, C. E.; FINKELSTEIN, S.; MITCHEL, W.; PETERAF, M. A.; SINGH, H.; TEECE, D.; WINTER, S. **Dynamic capabilities:**

understanding strategic change in organizations. Malden, USA: Blackwell, 2007.

HELFAT, C. E.; PETERAF, M. A. Understanding dynamic capabilities: progress along a developmental path. **Strategic Organization**, v. 7, n. 1, p. 91-102, 2009.

HEMMEN, J. P. P. **Towards practical hybrid laminar flow control:** boundary layer stability with suction and scalability of pressure losses across perforated sheets. Thesis (Master of Science) - Delft University of Technology, Delft, 2018.

HERRING, J. Key Intelligence topics: a process to identify and define intelligence needs. **Competitive Intelligence Review**, v.10, n. 2, p. 4-14, 1999.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HINES, A. A practitioner's view of the future of futures studies. **Futures**, v. 34, n. 3-4, p. 337-347, 2002.

HILTUNEN, E. Crowdsourcing the Future: The Foresight Process at Finpro. **Journal of Future Studies**, v. 16, n. 1, p. 189-196, 2011.

HINES, A. Evolution of framework foresight. **Foresight**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/FS-03-2020-0018>.

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

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

HODGSON, A. **Systems thinking for a turbulent world:** a search for new perspectives. London: Routledge, 2019.

HÜBSCHER, P. I. Segmento espacial do satélite de aplicações científicas EQUARS (Equatorial Atmosphere Research Satellite). In: SEMINAR ON POWER ELECTRONICS AND CONTROL, 11., 2018, Santa Maria, RS, Brasil. **Proceedings...** 2018.

HÜBSCHER, P. I.; PERONDI, L. F. Influência de parâmetros orbitais do satélite EQUARS no dimensionamento do subsistema de potência. In: CONGRESSO AEROESPACIAL BRASILEIRO, 2., 2019, Santa Maria, RS, Brasil. **Anais...** 2019.

HUDSON, J.; KHAZRAGUI, H. F. Into the valley of death: research to innovation. **Drug Discovery Today**, v. 18, n. 13/14, p. 610-613, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2013.01.012>.

HUMBLE, J.; JONES, G. Creating a climate for innovation. **Long Range Planning**, v. 22, n. 4, p. 46-51, 1989.

IDOKO, O.; MACKAY, R. B. The performativity of strategic foresight tools: horizon scanning as an activation device in strategy formation within a UK financial institution. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 162, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120389>.

IDUMAH, C. I.; OBELE, C. M.; EMMANUEL, E. O.; HASSAN, A. Recently emerging nanotechnological advancements in polymer nanocomposite coatings for anti-corrosion, anti-fouling and self-healing. **Surfaces and Interfaces**, v. 21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100734>.

IDUMAH, C. I.; ODERA, S. R. Recent advancement in self-healing graphene polymer nanocomposites, shape memory, and coating materials. **Polymer-Plastics Technology and Materials**, p. 1-24, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/25740881.2020.1725816>.

IKEBUJO, P. U. Environmental Scanning as a process of strategic decision-making: a review. **Journal of Global Social Sciences**, v. 1, n. 2, p. 43-62, 2020.

IRELAND, R. D.; HITT, M. A.; CAMP, M.; SEXTON, D. L. Integrating entrepreneurship and strategic management actions to create firm wealth. **The Academy of Management Executive**, v. 15, n. 1, p. 49-63, 2001.

JESUS, G. T.; ITAMI, S. N.; SEGANTINE, T. Y. F.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Innovation path and contingencies in the China-Brazil Earth Resources

Satellite program. **Acta Astronautica**, v. 178, p. 382-391, 2021.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.09.019>.

JOHN, B. R. R.; SIVATHANU, B. U.; VIJAYA, B. B. J. Computational investigation on the effects of two-way wing morphing strategy in the critical mach number. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 10, e1318, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.5028/jatm.v10.825>.

JOHNSON, G.; SCHOLLES, K.; WHITTINGTON, R. **Fundamentos de estratégia**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

JONES, B. D. Bounded rationality. **Annual Review of Political Science**, v. 2, n. 1, p. 297-321, 1999.

JONES, B. D. Bounded rationality and political science: lessons from public administration and public policy. **Journal of Public Administration Research and Theory**, v. 13, n. 4, p. 395-412, 2003. Disponível em:

<https://doi.org/10.2307/3525655>.

KAHNEMAN, D. **Maps of bounded rationality**: a perspective on intuitive judgment and choice. [S.l.]: Princeton University, 2002. p. 449-489.

KAHNEMAN, D. **Rápido e devagar: duas formas de pensar**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2012.

KARLSEN, J. E. Design and application for a replicable foresight methodology bridging quantitative and qualitative expert data. **European Journal of Futures Research**, v. 2, n. 40, p. 2-40, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s40309-014-0040-y>.

KAMMEGNE, M. J. T.; GRIGORIE, L. T.; BOTEZ, R. M.; KOREANSCHI, A. Design and wind tunnel experimental validation of a controlled new rotary actuation system for a morphing wing application. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering**, v. 230, n. 1, p. 132-145, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1177/0954410015588573>.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. How to implement a new strategy without disrupting your organization. **Harvard Business Review**, v. 84, n. 3, p. 100-109, 2006.

KEYNES, J. M. **The general theory of employment, interest and money**. London: Macmillan, 1936.

KEYNES, J. M. **The general theory and after: defence and development**. London: Macmillan, 1937.

KEYNES, J. M. **A treatise on probability**. New York: Dover Publications Inc., 2004.

KESSLER, E. H.; CHAKRABARTI, A. K. Speeding up the pace of new product development. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 16, n. 3, p. 231-247, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1630231>.

KIM, J. H.; FALLOV, J. A.; GROOM, S. **Integrating the Strategic Planning, Project, and Budgeting Cycles**, p. 91-109, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1529-4_ch6.

KIM, L.; NELSON, R. R. **Technology, learning, and innovation: experiences of newly industrializing economies**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

KINRA, A.; KOTZAB, H. A macro-institutional perspective on supply chain environmental complexity. **International Journal of Production Economics**, v. 115, n. 2, p. 283-295, 2008.

KLITSIE, J. B.; PRICE, R. A.; DE LILLE, C. Overcoming the valley of death: a design innovation perspective. In: NEXT WAVE: THE 21ST DMI: ACADEMIC DESIGN MANAGEMENT CONFERENCE, 2018. **Proceedings...** 2018. p. 958-972.

KLUSACEK, K. **Critical technologies, Technology Centre of Academy of Science**. Czech Republic, 2003, Disponível em: https://www.tc.cz/files/istec_publications/textbook2revisedcf_1171283006.pdf. Acesso em: 16 jan. 2018.

KNIGHT, F. H. Profit and entrepreneurial functions. **Journal of Economic History**, v. 2, p. 126-132, 1942.

KNIGHT, F. H. **Risk, uncertainty and profit**. Mineola, New York, Dover Publication, 2006.

KOISTINEN, K.; UPHAM, P.; BÖGEL, P. Stakeholder signalling and strategic niche management: the case of aviation biokerosene. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 72-81, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.283>.

KOR, Y. Y.; MAHONEY, J. T. Edith Penrose's (1959) contributions to the resource-based view of strategic management. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 1, p. 183-191, 2004.

KOSOW, H.; GAßNER, R. **Methods of future and scenario analysis: overview, assessment, and selection criteria**. Bonn, Germany: Studies/Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, 2008.

KREGEL J.A., NASICA E. Uncertainty and rationality: keynes and modern economics. In: BRANDOLINI, S.M.D.; SCAZZIERI, R. (Ed.). **Fundamental uncertainty**. London: Palgrave Macmillan, 2011.

KRIPPENDORFF, K. **Content analysis: an introduction to its methodology**. 2.ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2004.

KRIVUSHINA, A. A.; POLYAKOVA, A. V.; GORYAHNIK, Y. S.; YAKOVENKO, T. V. Biocidal compositions with metal nanoparticles for the protection of non-metallic materials against microbiological damage. **International Polymer Science and Technology**, v. 42, n. 12, p. 63-66, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0307174X1504201212>.

KUDVA, J. N. Overview of the DARPA smart wing project. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, v. 15, n. 4, p. 261-267, 2004.

KUHL, J.; KRAUSE, D. Strategies for customer satisfaction and customer requirement fulfillment within the trend of individualization. **Procedia CIRP**, v. 84, p. 130-135, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.278>.

KUMAR, T. J. S.; VENUGOPAL, S. RAMAKRISHNANANDA, B.; VIJAY, S. Aerodynamic performance estimation of camber morphing airfoils for small unmanned aerial vehicle. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 12, e1420, 2020. Disponível em;

<https://doi.org/10.5028/jatm.v12.1094>.

KUOSA, T. Evolution of futures studies. **Futures**, v. 43, n. 3, p. 327-336, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2010.04.001>.

KWAKKEL, J. H.; WALKER, W. E.; MARCHAU, V. A. W. J. Classifying and communicating uncertainties. **International Journal of Technology, Policy and Management**, v. 10, p. 299-315, 2010.

KWAKKEL, J. H., PRUYT, E. Exploratory modeling and analysis, an approach for model-based foresight under deep uncertainty. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 3, p. 419-431, 2013.

KWAKKEL, J. H.; HAASNOOT, M.; WALKER, W. E. Developing dynamic adaptive policy pathways: a computer-assisted approach for developing adaptive strategies for a deeply uncertain world. **Climatic Change**, v. 132, n. 3, p. 373-386, 2015.

KWAKKEL, J. H.; HAASNOOT, M.; WALKER, W. E. Comparing robust decision-making and dynamics adaptive policy pathways for model-based decision support under deep uncertainty. **Environmental Modelling and Software**, v. 86, p. 168-183, 2016.

LACHTER, J.; BATTISTE, V.; MATESSA, M.; DAO, Q. V.; KOTESKEY, R.; JOHNSON, W. W. Toward single pilot operations: the impact of the loss of non-verbal communication on the flight deck. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION IN AEROSPACE, 2014. **Proceedings...** New York, NY: ACM, 2014a.

LACHTER, J.; BRANDT, S. L.; BATTISTE, V.; LIGDA, S. V.; MATESSA, M.; JOHNSON, W. W. Toward single pilot operations: developing a ground station. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION IN AEROSPACE, 2014. **Proceedings...** New York, NY: ACM, 2014b.

LACHTER, J.; BRANDT, S. L.; BATTISTE, V.; MATESSA, M.; JOHNSON, W. W. Enhanced ground support: lessons from work on reduced crew operations. **Cognition, Technology & Work**, v. 19, n. 2-3, p. 279-288, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10111-017-0422-6>.

LAGE, M. C.; GODOY, A. S. O uso do computador na análise de dados qualitativos: questões emergentes. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 9, n. 4, p. 75-98, 2008.

LAGE, M. C. Utilização do software NVivo em pesquisa qualitativa: uma experiência em EaD. **ETD Educação Temática Digital**, Campinas, v. 12, n. esp., p. 198-226, 2011.

LEIBOWICZ, B. D. Technology-push, demand-pull, and strategic R&D investment. In: USAEE/IAEE NORTH AMERICAN CONFERENCE, 34., 2016, Tulsa, OK. **Proceedings...** 2016.

LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Uso de um modelo de desenvolvimento dinâmico adaptativo (DDA) como ferramenta para a orientação estratégica em organização do setor aeroespacial. In: SEMEAD SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 22., 2019, São Paulo. **Anais...** FEAUSP, 2019.

LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Development of a Dynamic and Adaptive Model as a Tool for Strategic Guidance in Aerospace Organizations. **Future Studies Research Journal**, v. 12, n. 2, p. 242-263, 2020a.

LEITE, D. E. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F. **Generative sensing and seizing (GSS) model**: an adaptive dynamic development model as a tool for strategic orientation in aerospace organizations. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR MANAGEMENT OF TECHNOLOGY (IAMOT), 2020, Egypt. **Anais...** Nile University, 2020b.

LEMPERT, R.; SYME, J.; MAZUR, G.; KNOPMAN, D.; BALLARD-ROSA, G.; LIZON, K.; EDOCHIE, I. Meeting climate, mobility, and equity goals in transportation planning under wide-ranging scenarios. **Journal of the American Planning Association**, v. 86, n. 3, p. 311-323, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01944363.2020.1727766>.

- LE MOIGNE, Jean-Louis. **O Construtivismo I: dos Fundamentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 1999.
- LETSHOLO, R. G.; PRETORIUS, M. P. Investigating managerial practices for data and information overload in decision making. **Journal of Contemporary Management**, v. 13, n. 1, p. 767-792, 2016.
- LEVI, I. The weight of argument. In: BRANDOLINI, S. M. D.; SCAZZIERI, R. (Ed.). **Fundamental uncertainty**. London: Palgrave Macmillan, 2011.
- LEVINTHAL, D. Surviving schumpeterian environments: an evolutionary perspective. **Industrial and Corporate Change**, v. 1, n. 3, p. 427-443, 1992.
- LEVINTHAL, D.; MARCH, J. G. The myopia of learning. **Strategic Management Journal**, v. 14, n. S2, p. 95-112, 1993.
- LEVINTHAL, D. Learning and schumpeterian dynamics. In: DOSI, G.; MALERBA, F. (Ed.) **Organization and strategy in the evolution of the enterprise**. London: Palgrave Macmillan, 1996.
- LEW, C.; MEYEROWITZ, D.; SVENSSON, G. Formal and informal scenario-planning in strategic decision-making: an assessment of corporate reasoning", **Journal of Business & Industrial Marketing**, v. 34, n. 2, p. 439-450, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JBIM-03-2018-0096>.
- LEWIS, M. W.; ANDRIOPOULOS, C.; SMITH, W. Paradoxical leadership to enable strategic agility. **California Management Review**, v. 56, n. 3, p. 58-77, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/cm.2014.56.3.58>.
- LIM, Y.; BASSIEN-CAPSA, V.; RAMASAMY, S.; LIU, J.; SABATINI, R. Commercial airline single-pilot operations: system design and pathways to certification. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v. 32, p. 4-21, 2017.
- LOCKETT, A. Edith Penrose's legacy to the resource-based view. **Managerial and Decision Economics**, v. 26, n. 2, p. 83-98, 2005.

LUTZ, T.; SOMMERER, A.; WAGNER, S. **Numerical optimization of adaptive transonic airfoils with variable camber**. Germany: University of Stuttgart, 2000.

LYONS, M. H.; ADJALI, I.; COLLINGS, D.; JENSEN, K. O. Complex systems models for strategic decision making. **BT Technology Journal**, v. 21, n. 2, p. 11-27, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1024419706667>.

MAINE, E.; LUBIK, S.; GARNSEY, E. Process-based vs. product-based innovation: value creation by nanotech ventures. **Technovation**, v. 32, n. 3-4, p. 179-192, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.10.003>.

MALEKPOUR, S.; WALKER, W. E.; DE HAAN, F. J.; FRANTZESKAKI, N.; MARCHAU, V. A. W. J. Bridging Decision Making under Deep Uncertainty (DMDU) and Transition Management (TM) to improve strategic planning for sustainable development. **Environmental Science and Policy**, v. 107, p. 158-167, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.03.002>.

MANKINS, J. C. **Technology readiness levels**: a white paper. [S.l.]: NASA, 1995.

MANKINS, J. C. **Research & development degree of difficulty (R&D3)**: a white paper. [S.l.]: NASA, 1998.

MANKINS, J. C. Approaches to strategic research and technology (R&T) analysis and road mapping. **Acta Astronautica**, v. 51, n. 1-9, p. 3-21, 2002.

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

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

MARATHE, S. P.; MISTRY, H. J.; RAVAL, H. K. Parametric study of Friction Stir Welding (FSW) of AA 6061 using Taguchi method. In:

IPROMM-2016, CHALLENGES IN MANUFACTURING, 12., 2016.

Proceedings... 2016.

MARCH, J. G.; SIMON, H. A. **Organizations**. New York: John Wiley and Sons, 1958.

MARCH, J. G. The Technology of foolishness. **Civiløkonomen** (Copenhagen), v. 18, n. 4, p. 4-12, 1971.

MARCH, J. G. Exploration and exploitation in organizational learning. **Organizational Science**, v. 2. n. 1, p. 71-87, 1991.

MARCH, J. G. **A primer on decision making**. Free Press: New York, 1994.

MARCH J. G. The future, disposable organizations, and the rigidities of imagination. **Organization**, v. 2, p. 427-440, 1995.

MARCHI, J. J.; ERDMANN, R. H.; RODRIGUEZ, C. M. T. Understanding Supply Networks from Complex Adaptive Systems. **Brazilian Administration Review**, v. 11, n. 4, p. 441-454, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-7692bar2014130002>.

MARCHAU, V. A. W. J.; WALKER, W. E.; BLOEMEN, P. J. T. M.; POPPER, S. J. (Ed.). **Decision making under deep uncertainty: from theory to practice**. [S.l.]: Springer International, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2>.

MARCZEWSKI, R. W. Bridging the virtual valley of death for technology. **R&D Scientist**, v. 11, n. 2, p. 1-11, 1997.

MARKHAM, S. K. Moving technologies from lab to market. **Research-Technology Management**, v. 45, n. 6, p. 31-42, 2002.

MARKHAM, S. K.; WARD, S. J.; AIMAN-SMITH, L.; KINGON, A. I. The Valley of Death as context for role theory in product innovation. **Journal of Product Innovation Management**, v. 27, n. 3, p. 402-417, 2010.

MARKHAM, S. K. The impact of front-end innovation activities on product performance. **Journal of Product Innovation Management**, v. 30, n. S1, p. 77-92, 2013.

- MARKOVITCH, D. G.; STECKEL, J. H.; MICHAUT, A.; PHILIP, D.; TRACY, W. M. Behavioral reasons for New Product Failure: does overconfidence induce overforecasts. **The Journal of Product Innovation Management**, v. 32, p. 825-841, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jpim.12252>.
- MARTINI, L. G. S.; CRUZ, J. L.; TRABASSO, L. G. Formalisation of the requirements management process in the aerospace industry. **Product Management and Development**, v. 2, n. 1, p. 5-15, 2003.
- MARTINS, A. L.; CATALANO, F. M. Aerodynamic optimization study of a mission adaptive wing for transport aircraft. In: INTERNATIONAL COUNCIL OF AERONAUTICAL SCIENCES ICAS CONFERENCE, 1996, Sorrento, Italy. **Proceedings...** 1996.
- MARTINS, A. L.; CATALANO, F. M. Drag optimization for transport aircraft Mission Adaptive Wing. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v.25, n.1, p.1-8, 2003. ISSN 1806-3691. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-58782003000100001>.
- MARKIDES, C. How disruptive will innovations from emerging markets be? **MIT Sloan Management Review**, v. 54, n. 1, p. 23-25, 2012.
- MARKIDES, C. Disruptive reality. **Business Strategy Review**, v. 24, n. 3, p. 36-43, 2013.
- MCCUTCHEON, D.; MEREDITH, J. Conducting case study research in operations management. **Journal of Operations Management**, v. 11, n. 3, p. 239-256, 1993.
- MCGOWAN, A. Overview: morphing activities in the USA. In: ADVANCED COURSE ON MORPHING AIRCRAFT MATERIALS, MECHANISMS AND SYSTEMS, 2008, Lisbon, Portugal. **Proceedings...** 2008.
- MCINERNEY, D.; LEMPERT, R.; KELLER, K. What are robust strategies in the face of uncertain climate threshold responses. **Climate Change**, v. 112, p. 547-568, 2012.

- MCKELVIE, A.; DAVIDSSON, P. From resource base to dynamic capabilities: an investigation of new firms. **British Journal of Management**, v.20, Suppl., p.S63-S80, 2009.
- MEIRELLES, D. S.; CAMARGO, A. A. B. Capacidades dinâmicas: o que são e como identificá-las? **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 18, n. esp., p. 41-64, 2014.
- MELNIKOVAS, A. Towards an explicit research methodology: adapting research onion model for futures studies. **Journal of Futures Studies**, v. 23, n. 2, p. 29-44, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.6531/JFS.201812_23\(2\).0003](https://doi.org/10.6531/JFS.201812_23(2).0003).
- MELO, F. C. L.; GOMES, J. R.; GREGORI, M. L.; SALGADO, M. C. V. Tecnologia crítica na área espacial brasileira. **Revista Espaço Brasileiro**, 2011.
- MELO, T. M.; FUCIDJI, J. R. Racionalidade limitada e a tomada de decisão em sistemas complexos. **Revista de Economia Política**, v. 36, n. 3, p. 622-645, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-31572016v36n03a09>.
- MENACHEMI, N.; FORD, E. W.; HUERTA, T. R.; BABIK, D. Aligning strategic orientation with information resources. **Journal of Management and Strategy**, v. 4, n. 4, p. 33-43, 2013.
- MEREDITH, J. Theory building through conceptual methods. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 5, p. 3-11, 1993.
- MEREDITH, J. Building operations management theory through case and field research. **Journal of Operations Management**, v. 16, n. 4, p. 441-454, 1998.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

- MILES, I. D.; SARITAS, O. The depth of the horizon: searching, scanning and widening horizons. **Foresight**, v. 14, n. 6, p. 530-545, 2012.
Disponível em: <https://doi.org/10.1108/14636681211284953>.
- MINTZBERG, H.; WATERS, J. A. Of strategies, deliberate and emergent. **Strategic Management Journal**, v. 6, n. 3, p. 257-272, 1985.
- MISTRY, H. J.; MARATHE, S. P. A review paper on: friction stir welding. **International Journal of Advanced Research in Engineering, Science and Management**, p. 1-13, 2016.
- MOLINARI, G.; ARRIETA, A. F.; ERMANNI, P. Aero-structural optimization of 3-D adaptive wings with embedded smart actuators. In: AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC STRUCTURES, STRUCTURAL DYNAMICS AND MATERIALS CONFERENCE, 54., 2013, Boston, Mass, USA. **Proceedings...** 2013.
- MONNER, H. P.; KINTSCHER, M.; LORKOWSKI, T.; STORM, S. Design of a smart droop nose as leading edge high lift system for transportation aircrafts. In: AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC STRUCTURES, STRUCTURAL DYNAMICS AND MATERIALS CONFERENCE, 50., 2009, Palm Springs, California, USA. **Proceedings...** 2009.
- MONTGOMERY, C.; WERNERFELT, B. Diversification, Ricardian rents, and Tobin's Q. **The RAND Journal of Economics**, v. 19, n. 4, p. 623-632, 1988.
- MORECROFT, J. D. W. System dynamics: portraying bounded rationality. **OMEGA, The International Journal of Management Science**, v. 11, n. 2, p. 131-142, 1983.
- MORECROFT, J. D. W. Rationality in the analysis of behavioral simulation models. **Management Science**, v. 31, n. 7, p. 900-916, 1985.
- MUNDAY, D.; JACOB, J.; HOUSER, T.; HUANG, G. Experimental and numerical investigation of aerodynamic flow control using oscillating adaptive surfaces. In: FLOW CONTROL CONFERENCE, 1., 2002. **Proceedings....** 2002.

MURPHY, M.; EDWARDS, P. **Bridging the Valley of Death**: transitioning from public to private sector financing. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2003.

NELSON, R.; WINTER, S. **An evolutionary theory of economic change**. Harvard University Press: Cambridge, 1982.

NEMET, G. F. Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change. **Research Policy**, v. 38, p. 700-709, 2009.

NIEDERMEIER, D., LAMBREGTS, A. A. Fly-by-Wire augmented manual control: basic design considerations. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR THE AERONAUTICAL SCIENCES (ICAS), 28., 2012, Brisbane, Austrália. **Proceedings...** 2012.

NIJSSSEN, E. J.; HILLEBRAND, B.; VERMEULEN, P. A. M. Unraveling willingness to cannibalize: a closer look at the barrier to radical innovation. **Technovation**, v. 25, n. 12, p. 1400-1409, 2005.

NIKOLOVA, B. The rise and promise of participatory foresight. **European Journal of Futures Research**, v. 15, n. 33, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40309-013-0033-2>.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **The knowledge-creating company**: how Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press, 1995.

OFFERMANS, A. Learning from the past: the interaction of the social system and the water system in the Netherlands. In: BERLIN CONFERENCE ON THE HUMAN DIMENSIONS OF GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE, 2010, Berlin. **Proceedings...** 2010.

OFFERMANS, A.; HAASNOOT, M.; VALKERING, P. A method to explore social response for sustainable water management strategies under changing conditions. **Sustainable Development**, v. 19, p. 312–324, 2011.

O'REILLY III, C. A.; TUSHMAN, M. L. The ambidextrous organization. **Harvard Business Review**, v. 82, n. 4, p. 74-81, 2004.

- O'REILLY III, C. A.; HARRELD, J. B.; TUSHMAN, M. L. Organizational ambidexterity: IBM and emerging business opportunities. **California Management Review**, v. 51, p. 75-99, 2009.
- O'REILLY, C. A., III; TUSHMAN, M. L. Organizational ambidexterity in action: how managers explore and exploit. **California Management Review**, v. 53. n. 4, p. 5-22, 2011.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Oslo manual**: guidelines for collecting and interpreting innovation data. 3.ed. France: OECD Publishing, 2005.
- OSAWA, Y.; MIYAZAKI, K. An empirical analysis of the valley of death: large-scale R&D project performance in a Japanese diversified company. **Asian Journal of Technology Innovation**, v. 14, n. 2, p. 93-116, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19761597.2006.9668620>.
- PATOKORPI, E.; AHVENAINEN, M. Developing an abduction-based method for futures re- search. **Futures**, v. 41, n. 3, p. 126-139, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2008.09.019>.
- PAULES, C.; SUBBARAO, K. Influenza. **Lancet**, v. 390, p. 697-708, 2017.
- PEIRCE, C. S. **Elements of logic**. Cambridge: Harvard University Press, 1932.
- PEIRCE, C. S. Collected papers de Charles Sanders Peirce. In: HARTSHORNE, C.; WEISS, P.; BURKS, A. (Ed.). **Collected papers de Charles Sanders Peirce**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1974. p.1-8.
- PEIRCE, C. S. **The essential Peirce**: selected philosophical writings, 2 (1893–1913). Bloomington: Indiana University Press, 1998.
- PELLEGRINI, F.; CAMPOS, A. S.; CHAGAS JUNIOR, M. F.; FURTADO, A. 'De alfinete a foguete": a lei no 8666 como arcabouço jurídico no programa China-Brazil Earth resources satellite (CBERS), um estudo de caso do fornecimento da câmera multi expectral regular (MUX) pela opto eletrônica (OPTO). In: RAUEN, A. T. (Org.). **Políticas de Inovação pelo**

lado da demanda no Brasil. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2017.

PENROSE, E. T. **A teoria do crescimento da firma.** Campinas: Unicamp, 2006.

PERONA, M.; MIRAGLIOTTA, G. Complexity management and supply chain performance assessment. A field study and a conceptual framework. **International Journal of Production Economics**, v. 90, n. 1, p. 103-115, 2004.

PETERAF, M. A. The cornerstones of competitive advantage: a resource-based view. **Strategic Management Journal**, v. 14, n. 3, p. 179-191, 1993.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 71, n. 1-2, p. 5-26, 2004.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Visualising strategy: a classification of graphical roadmap forms. **International Journal of Technology Management**, v. 47, n. 4, p. 286-305, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.024431>.

PISANO, G. P. Toward a prescriptive theory of dynamic capabilities: connecting strategic choice, learning, and competition. **Industrial and Corporate Change**, v. 26, n. 5, p. 747-762, 2016.

POPPER, R. How are foresight methods selected? **Foresight**, v. 10, n. 6, p. 62-89, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/14636680810918586>.

PORTER, M. E. **Competitive strategy: techniques for analysing industries and competitors.** New York, Free Press, 1980.

PORTER, A. L.; ROPER, A. T.; MASON, T. W.; ROSSINI, F. A.; BANKS, J. **Forecasting and management of technology.** New York: Wiley & Sons, 1991.

PORTER, A. L. et al. Technology futures analysis: toward integration of the field and new methods. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 71, n. 3, p. 287-303, 2004.

QUADROS, R. **Aprendendo a inovar**: padrões de gestão da inovação tecnológica em empresas industriais brasileiras. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

RABECHINI JUNIOR, R.; CARVALHO, M. M.; LAURINDO, F. J. B.

Fatores críticos para implementação de gerenciamento por projetos: o caso de uma organização de pesquisa. **Revista Produção**, v. 12, n. 2, p.28-41. São Paulo, 2002.

RAJAGOPALAN, N.; RASHEED, A. M. A.; DATTA, D. Strategic decision processes: critical review and future directions. **Journal of Management**, v. 19, n. 2, p. 349-384, 1993.

RAMÍREZ, R.; ÖSTERMAN, R.; GRÖNQVIST, D. Scenarios and early warnings as dynamic capabilities to frame managerial attention.

Technological Forecasting and Social Change, v. 80, n. 4, p. 825-838, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.029>.

RAMÍREZ, R.; SELIN, C. Plausibility and probability in scenario planning. **Foresight**, v. 16, n. 1, p. 54-74, 2014.

RAUEN, A. T. Racionalidade e primeiros resultados das políticas de inovação que atuam pelo lado da demanda no Brasil. In: RAUEN, A. T. (Org.). **Políticas de Inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2017.

RASTOGI, N.; TRIVEDI, M. K. PESTLE Technique: a tool to identify external risks in construction projects. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 3, n. 1, p. 384-388, 2016.

RAUEN, C. V.; TURCHI, L. M. Apoio à inovação para institutos públicos de pesquisa: limites e possibilidades legais de interação ICT-Empresa. In: TURCHI, L. M. (Ed.). **Políticas de inovação tecnológica: avanços recentes e desafios futuros**. Brasília: IPEA, 2017.

- RIBEIRO, C. G. **Desenvolvimento tecnológico nacional: o caso KC-390**. Rio de Janeiro: IPEA, p. 235-288, 2017.
- ROHRBECK, R. **Corporate foresight: towards a maturity model for the future orientation of a firm**. New York: Springer, 2010.
- ROHRBECK, R.; SCHWARZ, J. O. The value contribution of strategic foresight: insights from an empirical study of large European companies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 8, p. 1593-1606, 2013.
- ROSENBERG, N. **Perspectives on technology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.
- ROSENBERG, N. **Por dentro da caixa-preta: tecnologia e economia**. Campinas: Unicamp, 2006.
- ROSSEL, P. Early detection, warnings, weak signals and seeds of change: a turbulent domain of futures studies. **Futures**, v. 44, n. 3, p. 229-239, 2012.
- ROWE, E.; WRIGHT, G.; DERBYSHIRE, J. Enhancing horizon scanning by utilizing pre-developed scenarios: analysis of current practice and specification of a process improvement to aid the identification of important 'weak signals'. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 125, p.224-235, 2017.
- RUIZ-HITZKY, E.; DARDER, M.; WICKLEIN, B.; RUIZ-GARCIA, C.; MARTÍN-SAMPEDRO, R.; DEL REAL, G.; ARANDA, P. Nanotechnology Responses to COVID-19. **Advanced Healthcare Materials**, v. 9, n. 19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adhm.202000979>.
- RULLI, R. P.; SILVA, P. A. Embraer perspective for maintenance plan improvements by using SHM. In: ASIA-PACIFIC WORKSHOP ON SHM, 3., 2010. **Proceedings...** 2010.
- RULLI, R. P.; SILVA, P. A. Overview of CVM Technology Tests Performed by Embraer. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SHM, 8. 2011. **Proceedings...** 2011.

- RUNDE, J. H. Keynesian uncertainty and the weight of arguments. **Economics and Philosophy**, v. 6, n. 2, p. 275-92, 1990.
- SADIN, S. T.; POVINELLI, F. P.; ROSEN, R. The NASA technology push towards future space mission systems. **Acta Astronautica** v. 20, p. 73-77, 1989. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(89\)90054-4](https://doi.org/10.1016/0094-5765(89)90054-4).
- SAGE, A.; LYNCH, C. **Systems integration and architecting**: an overview of principles, practices, and perspectives. New York: John Wiley, 1998.
- SALE, J. E. M.; LOHFELD, L. H.; BRAZIL, K. Revisiting the quantitative-qualitative debate: implications for mixed-methods research. **Quality & Quantity**, v. 36, p.43-53, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1014301607592>.
- SÁNCHEZ, D. M.; CAVERO, J. M.; MARCOS, E. The concepts of model in information systems engineering: a proposal for an ontology of models. **The Knowledge Engineering Review**, v. 24, n. 1, p. 5-21, 2009.
- SANTOS, L. G.; MALERE, J. P. P. Challenges for Costs and Benefits Evaluation of IVHM Systems. **SAE International Journal of Aerospace**, 2013.
- SARITAS, O. **Systemic foresight methodology**. In: MEISSNER, D.; GOKHBERG, L.; SOKOLOV, A. (Eds) **Science, technology and innovation policy for the future**. Berlin: Springer, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-31827-6_6.
- SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research methods for business students**. 8.ed. England: Pearson Education, 2019.
- SAUSER, B.; REILLY, R.; SHENHAR, A. Why projects fail? how contingency theory can provide new insights: a comparative analysis of NASA's mars climate orbiter loss. **International Journal of Project Management**, v. 27, p. 665-679, 2009.
- SAVIČ, N.; OGRAJENŠEK, I.; BUHOVAC, A. R. The drivers of success in business model transformation. **Economic and Business Review**, v. 18, n. 1, p. 103-124, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15458/85451.14>.

- SBICCA, A. Heurísticas no estudo das decisões econômicas: contribuições de Herbert Simon, Daniel Kahneman e Amos Tversky. **Estudos Econômicos**, v. 3, n. 44, p. 579-603, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-41612014000300006>.
- SCAZZIERI, R. Analogy, causal patterns and economic choice. In: GALAVOTTI, M. C.; SUPPES, P.; COSTANTINI, E. D. (Ed.). **Stochastic causality**. Stanford: CSLI Publications, 2001. p. 123-39.
- SCAZZIERI, R. Context, congruence and coordination. In: GALAVOTTI, M. C.; SCAZZIERI, R.; SUPPES, E. (Ed.). **Reasoning, rationality and probability**. Stanford: CSLI Publications, 2008. p. 187-207.
- SCHERER, F. O.; CARLOMAGNO, M. S. **Gestão da Inovação na prática**: como aplicar conceitos e ferramentas para alavancar a inovação. São Paulo: Atlas, 2009.
- SCHOEMAKER, P. J. H. Multiple scenario development: its conceptual and behavioral foundation. **Strategic Management Journal**, v. 14, n. 3, p. 193-213, 1993.
- SCHOEMAKER, P. J. H. Scenario planning: a tool for strategic thinking. **Sloan Management Review**, v. 36, n. 25, 1995.
- SCHOEMAKER, P. J. H.; DAY, G. S.; SNYDER, S. A. Integrating organizational networks, weak signals, strategic radars and scenario planning. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 4, p. 815-824, 2013.
- SCHUMPETER, J. **Theory of economic development**: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. Cambridge: Harvard University Press, 1934.
- SCHUMPETER, J. **O fenômeno fundamental do desenvolvimento econômico**: a teoria do desenvolvimento econômico. Rio de Janeiro: Nova Cultura, 1985.
- SCHWARZ, J. O. Pitfalls in implementing a strategic early warning system. **Foresight**, v. 7, n. 4, p. 22-30, 2005.

- SCHWARZ, J. O. Assessing the future of future studies in management. **Futures**, v. 40, n. 3, p. 237-246, 2008.
- SCHWARZ, J. O., ROHRBECK, R., WACH, B. Corporate foresight as a microfoundation of dynamic capabilities. **Future Foresight Science**, v. 2, n. 2, e28, p.1-11, 2019.
- SCHWARTZ, P. **The art of the long view**. New York: Doubleday/Currency, 1991.
- SELIG, C.; STETTINA, C.; BALTES, G. H. The corporate entrepreneur: a driving force for strategic renewal and radical innovation in established companies. In: IEEE-ITMCICE CONFERENCE, 22., 2016, Trondheim (NOR). **Proceedings...** 2016.
- SENSENBRENNER, F. J. **Unlocking our future**: toward a new national science policy. [S.l.: s.n.], 1998.
- SHACKLE, G. L. S. A theory of investment decisions. **Oxford Economic Papers**, v.6, n. 1, p. 77-94, 1942.
- SHACKLE, G. L. S. Probability and uncertainty. **Metroeconomica**, v. 1, p. 161-173, 1949.
- SHACKLE, G. L. S. On the meaning and measurement of uncertainty: part I. **Metroeconomica**, v. 4, p. 87-104, 1952.
- SHACKLE, G. L. S. On the meaning and measure of uncertainty: part B, **Metroeconomica**, v. 5, p. 97-115, 1953.
- SHACKLE, G. L. S. **Uncertainty in economics and other reflections**. Cambridge: Cambridge University Press, 1955.
- SHACKLE, G. L. S. Time and thought. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v. 11, n. 36, p. 285-298, 1959.
- SHACKLE, G. L. S. **Decision, order and time in human affairs**. Cambridge: Cambridge University Press, 1961.
- SHACKLE, G. L. S. A student's Pilgrimage. **PSL Quarterly Review**, v. 36, n. 145, 1983.

SHENHAR, A.; DVIR, D.; MILOSEVIC, D.; MULENBURG, J.; PATANAKUL, P.; REILLY, R.; RYAN, M.; SAGE, A.; SAUSER, B.; SRIVANNABOON, S.; STEFANOVIC, J.; THAMHAIN, H. T. Toward a NASA-specific project management framework. **Engineering Management Journal**, v. 17, n. 4, p. 8-16, 2005.

SHENHAR, A.; DVIR, D. **Reinventing project management: the diamond approach to successful growth and innovation**. Boston: Harvard Business School Press, 2007a.

SHENHAR, A.; DVIR, D. Project management research: the challenge and opportunity. **Project Management Journal**, v. 38, n. 2, p. 93-99, 2007b.

SHENHAR, A.; HOLZMANN, V.; DVIR, D.; SHABTAI, M.; ZONNENSHAIN, A.; ORHOF, O. If you need innovation success, make sure you've got the right project. **IEEE Engineering Management Review**, v. 48, n. 1, p. 113-126, 2020.

SILVA, P. A. et al. **Method and system for structural health monitoring with frequency synchronization**. Applicant: Silva, P. A. et al. PI n. US0116366A1, October 28, 2014. Date of Patent: April 28, 2016.

SILVA, P. A.; LAZANHA, T.; RULLI, R. P.; DOTTA, F. **Structural health monitoring sensory system integrated to a self-adapting morphing system**. Applicant: Embraer SA, São José dos Campos, SP, Brazil. PI n. US0021918A1. Applications: July 24, 2015. Date of Patent: January 26, 2017.

SILVA, P. A., DOTTA, F., RULLI, R. P. **Structural health monitoring sensory arrangement integrated within a self-healing system**. Applicant: Embraer SA, São José dos Campos, SP, Brazil. PI n. US9897533B2. Applications: June 19, 2014. Date of Patent: February 20, 2018.

SILVA, P. A. et al. **Method and system for structural health monitoring with frequency synchronization**. Applicant: Silva, P. A. et al. PI n. EP3213045B1. Applications: October 21, 2015. Date of Patent: May 27, 2020.

- SILVA, S. L. A.; SOUSA, F. L. Towards the Brazilian Space Program Modeling Through the Combination of Stakeholder Theory and System Dynamics Methodology. **Journal of Aerospace Technology and Management**, São José dos Campos, v. 10, e4818, 2018.
- SIMANDAN, D. Iterative lagged asymmetric responses in strategic management and long-range planning. **Time & Society**, v. 28, n. 4, p. 1363-1381, 2018.
- SIMON, H. A. A behavioral model of rational choice. **Quarterly Journal of Economics**, v. 69, n. 1, p. 99-118, 1955.
- SIMON, H. A. Rational choice and the structure of the environment. **Psychological Review**, v. 63, p. 129-138, 1956.
- SIMON, H. A. **Models of man: social and rational**. New York: Wiley, 1957a.
- SIMON, H. A. **Administrative behavior**. 2.ed. New York: Macmillan, 1957b.
- SIMON, H. A. Theories of decision-making in economics and behavioral science. **American Economic Review**, v. 49, n. 3, p. 253-283, 1959.
- SIMON, H. A. The architecture of complexity. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 106, n. 6, p. 467-482, 1962.
- SIMON, H. A. Rational decision making in business organizations. **American Economic Review**, v. 69, p. 493-513, 1979.
- SIMON, H. A. **A racionalidade do processo decisório em empresas**. [S.I.]: Multiplic, 1980.
- SIMON, H. A. **Reason in human affairs**. Stanford, CA: Stanford University Press, 1983.
- SIMON, H. A. Human nature in politics: the dialogue of psychology with political science. **American Economic Review**, v. 79, n. 2, p. 293-304, 1985.
- SIMON, H. A. Rationality in psychology and economics. **Journal of Business**, v. 59, n. 4, pt. 2, p. S209-S224, 1986.

- SIMON, H. A. Altruism and economics. **American Economic Review**, v. 83, n. 2, p. 156-61, 1993.
- SIMON, H. A. Rationality in political behavior. **Political Psychology**, v. 16, n. 1, p. 45-61, 1995.
- SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3.ed. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology Press, 1996a.
- SIMON, H. A. **Models of my Life**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1996b.
- SIMON, H. A. **The potlatch between economics and political science**. In: ALT, J.; LEVI, M.; OSTROM, E. (Ed.). **Competition and cooperation**. New York: Russell Sage Foundation, 1999a. p.112-122.
- SIMON, H. A. Near decomposability and the speed of evolution. **Industrial and Corporate Change**, v. 11, n. 3, p. 587-599, 1999b.
- SIMON, H. A. Can there be a science of complex systems? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPLEX SYSTEMS ON UNIFYING THEMES IN COMPLEX SYSTEMS, 2000. **Proceedings...** Cambridge, MA, USA: Perseus Books, 2000. p. 3-14.
- SINKA, V. The present and future prospects of friction stir welding in aeronautics. **Acta Metallurgica Slovaca**, v. 20, n. 3, p. 287-294, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.12776/ams.v20i3.312>.
- SLAYTON, R.; SPINARDI, G. Radical innovation in scaling up: Boeing's dreamliner and the challenge of socio-technical transitions. **Technovation**, v. 47, p. 47-58, 2016.
- SOH, P. H. Network patterns and competitive advantage before the emergence of a dominant design. **Strategic Management Journal**, v. 31, n. 4, p. 438-461, 2010.
- SOUZA, P. B.; ALBUQUERQUE, I. S.; CHAMON, M. A.; TAKAHASHI, H. EQUARS - satélite científico para monitoramento da atmosfera equatorial. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 9., 2005, Salvador. **Proceedings...** 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1190/sbqf2005-423>.

- SPITZER, C. R. **The avionics handbook**. [S.l.]: CRC Press, 2011.
- STAKE, R. E. **The art of case study research**. Thousand Oaks, CA: Sage, 1995.
- STAL, E; NOHARA, J.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Os conceitos da inovação aberta e o desempenho de empresas brasileiras inovadoras. **Innovation Management Review**, v. 11, n. 2, p. 295-210, 2014.
- STARMAN, A. B. The case study as a type of qualitative. **Research Journal of Contemporary Educational Studies**, v. 1, p. 28-43, 2013.
- STEENHUIZEN, D.; VAN TOOREN, M. The implementation of a knowledge-based framework for the aerodynamic optimization of a morphing wing device. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 207-218, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.02.004>.
- STRAUSS, A. L. **Qualitative analysis for social scientists**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- SUAREZ, F. F.; UTTERBACK, J. M. Dominant designs and the survival of firms. **Strategic Management Journal**, v. 16, n. 6, p. 415-430, 1995.
- SUPPES, P. The limits of rationality. **Grazer Philosophische Studien**, v. 12-13, p. 85-101, 1981.
- SUPPES, P. The nature of probability. **Philosophical Studies**, v. 147, n. 1, p. 89-102, 2010.
- SUN, J.; GUAN, Q.; LIU, Y.; JINSONG, L. Morphing aircraft based on smart materials and structures: a state-of-the-art review. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, v. 27, n. 17, p. 1-24, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1045389X16629569>.
- TEECE, D. J. Toward an economic theory of the multiproduct firm. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 3, n. 1, p. 39-63, 1982.

TEECE, D. J.; PISANO, G. The dynamic capabilities of firms: an introduction. **Industrial and Corporate Change**, v. 3, n. 3, p. 537-556, 1994.

TEECE, D. J.; PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal**, v. 18, n. 7, p. 509-533, 1997.

TEECE, D. J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. **Strategic Management Journal**, v. 28, n. 13, p. 1319-1350, 2007.

TEECE, D. J. The foundation of enterprise performance: dynamic and ordinary capabilities in an (economic) theory of firms. **The Academy of Management Perspectives**, v. 28, n. 4, p. 328-352, 2014.

TEECE, D. J.; PETERAF, M.; LEIH, S. Dynamic capabilities and organizational agility: risk, uncertainty, and strategy in the innovation economy. **California Management Review**, v. 58, n. 4, p. 13-35, 2016.

TEECE, D. J. Business models and dynamic capabilities, **Long Range Planning**, v. 51, p. 40-49, 2018.

THILL, C.; ETCHES, J.; BOND, I.; POTTER, K.; WEAVER, P. Morphing skins. **The Aeronautical Journal**, v. 112, n. 1129, p. 117-139, 2008.
Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0001924000002062>.

THOMAS, W. M.; NICHOLAS, E. D.; NEEDHAM, J. C.; MURCH, P.; TEMPLE-SMITH, P.; DAWES, C. J. **Friction-stir butt welding**. PI No. 9125978.8. International Patent Application PCT/GB92/02203, 6 December 1991.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Gestão da inovação**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

TIGHE, S. **Rethinking strategy**: how to anticipate the future, slow down change, and improve decision making. Australia: Wiley, 2019.

TOMA, S. V.; CHIRIȚĂ, M.; ȘARPE, D. Risk and uncertainty. **Procedia Economics and Finance**, v. 3, 2013.

- TONDOLO, V. A. G.; BITENCOURT, C. C. Understanding dynamic capabilities from its antecedents, processes and outcomes. **Brazilian Business Review**, v. 5, n. 11, p. 122-144, 2014.
- TUSHMAN, M. L.; VIRANY, B.; ROMANELLI, E. Executive succession, strategic reorientations, and organization evolution: the minicomputer industry as a case in point. **Technology in Society**, v. 7, n. 2-3, p. 297-313, 1985.
- TUSHMAN, M. L.; NEWMAN, W. H.; ROMANELLI, E. Convergence and upheaval - managing the unsteady pace of organizational evolution. **California Management Review**, v. 29, n. 1, p. 29-44, 1986.
- TUSHMAN, M. L.; O'REILLY III, C. A. Ambidextrous organizations: managing evolutionary and revolutionary change. **California Management Review**, v. 38, n. 4, p. 8-30, 1996.
- TUSHMAN, M. L.; SMITH, W. K. Organizational technology: technological change, ambidextrous organizations, and organizational evolution. In: BAUM, J. A. C. (Ed.). **The Blackwell companion to organizations**. London: Blackwell, 2002. p. 386-414.
- TUSHMAN, M. L.; SMITH, W. K.; WOOD, R. C.; WESTERMAN, G.; O'REILLY III, C. A. Organizational designs and innovation streams. **Industrial and Corporate Change**, v. 19, n. 5, p. 1331-1366, 2010.
- TUZZO, S. A.; BRAGA, C. F. O processo de triangulação da pesquisa qualitativa: o metafenômeno como gênese. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 4, n. 5, p. 140-158, 2016.
- TVERSKY, A; KAHNEMAN, D. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. **Science**, New Series, v. 185, n. 4157, p. 1124-1131, 1974.
- TVERSKY, A. Features of similarity. **Psychological Review**, v. 84, n. 4, p. 327-352, 1977.
- TVERSKY, A; KAHNEMAN, D. Extensional versus intuitive reasoning: the conjunction fallacy in probability judgment. **Psychological Review**, v. 90, n. 4, p. 293-315, 1983.

- TVERSKY, A.; FOX, C.R. Weighing risk and uncertainty. **Psychological Review**, v. 102, n. 2, p. 269-283, 1995.
- TWISS, B. C. **Managing technological innovation**. [S.l.]: Pitman Publishing, 1980.
- UOTILA, J. Exploratory and exploitative adaptation in turbulent and complex landscapes. **European Management Review**, v. 15, n. 4, p. 505-519, 2018a.
- UOTILA, J. Punctuated equilibrium or ambidexterity: dynamics of incremental and radical organizational change over time. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 1, p. 131-148, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/dtx018>.
- UTTERBACK, J. M.; ABERNATHY, W. J. A dynamic model of process and product innovation. **OMEGA**, v. 3, n. 6, p. 639-656, 1975.
- UTTERBACK, J. M. **Mastering the dynamics of innovation**. Boston: Harvard Business School Press, 1994.
- UTTERBACK, J. M.; ACEE, H. J. Disruptive technologies: an expanded view. **International Journal of Innovation Management**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2005.
- VAN AKEN, J. E.; ROMME, G. Reinventing the future: adding design science to the repertoire of organization and management studies. **Organization Management Journal**, v. 6, n. 1, p. 2-12, 2009.
- VAN DER HEIJDEN, K., BRADFIELD, R., BURT, G., CAIRNS, G.; WRIGHT, G. **Sixth sense: accelerating organisational learning with scenarios**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2002.
- VAN DER HEIJDEN, K. **Scenarios: the art of strategic conversation**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005.
- VAN DER KAA, G. Exploring necessary conditions for standard success for complex systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF TECHNOLOGY: TOWARDS SUSTAINABLE TECHNOLOGIES AND INNOVATION, 27., 2018. **Proceedings...** 2018. p. 1-8.

VERCELLI, A. Weight of Argument and economic decisions. In: BRANDOLINI, S.M.D.; SCAZZIERI, R. (Ed.). **Fundamental uncertainty**. London: Palgrave Macmillan, 2011.

VOLBERDA, H. Building flexible organizations for fast-moving markets. **Long Range Planning**, v. 30, n. 2, p. 169-183, 1997.

VOLBERDA, H.; RUTGES, A. Farsys: a knowledge-based system for managing strategic change. **Decision Support Systems**, v. 26, p. 99-123, 1999.

VOROS, J. **Big history and anticipation**. In: POLI, R. (Ed.) **Handbook of anticipation**. Cham: Springer, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91554-8_95.

WAGG, D.; BOND, I.; WEAVER, P.; FRISWELL, M. **Adaptive structures: engineering applications**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007.

WAGNER, C. S.; POPPER, S. W. Identifying critical technologies in the United States: a review of the federal effort. **Journal of Forecasting**, v. 22, p. 113-128, 2003.

WALKER, W. E. Generating and screening alternatives. In: MISER, H. J.; QUADE, E. S. (Ed.). **Handbook of systems analysis: craft issues and procedural choices**. New York: Elsevier, 1988.

WALKER, W. E.; LEMPert, R. J.; KWAKKEL, J. H. Deep uncertainty. In: GASS, S.; FU, M. (Ed.). **Encyclopedia of operations research and management science**. 3.ed. New York: Springer, 2013. p. 395-402.

WANG, C. L.; AHMED, P. K. Dynamic capabilities: a review and research agenda. **International Journal of Management Reviews**, v. 9, n. 1, p. 31-51, 2007.

WELCH, D.; BUONANNO, M.; GRILJ, V.; SHURYAK, I.; CRICKMORE, C.; Bigelow, A. W.; RANDERS-PEHRSON, G.; JOHNSON, G. W.; BRENNER, D.J. Far-UVC light: a new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, 2018.

- WERNERFELT, B. A resource-based view of the firm. **Strategic Management Journal**, v. 5, n. 2, p. 171-180, 1984.
- WHEELER, G. **Bounded rationality**. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2019. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/entries/bounded-rationality>> Acesso em: 23 set. 2019.
- WIENGARTEN, F.; AHMED, M. U.; LONGONI, A.; PAGELL, M.; FYNES, B. Complexity and the triple bottom line: an information processing perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 37, n. 9, p.1142-1163, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2016-0292>.
- WINTER, S. G. Understanding dynamic capabilities. **Strategic Management**, v. 37, n. 4, p. 1019-1042, 2003.
- WINTER, S. G. Specialised perception, selection, and strategic surprise: learning from the Moths and Bees. **Long Range Planning**, v. 37, n. 2, p. 163-169, 2004.
- WRIGHT, G.; BRADFIELD, R., CAIRNS, G. Does the intuitive logics method: and its recent enhancements produce 'effective' scenarios? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 4, p. 631-642, 2013.
- WRIGHT, G.; CAIRNS, G.; BRADFIELD, R. Scenario methodology: new developments in theory and practice: introduction to the Special Issue. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 4, p. 561-565, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.11.011>.
- WRIGHT, G.; MEADOWS, M.; TAPINOS, S.; O'BRIAN, F. PIPER, N. Improving scenario methodology: theory and practice, introduction to the special issue. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 124, p. 1-5, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.004>.
- WRIGHT, G.; CAIRNS, G. **Scenario thinking**: practical approaches to the future. New York: Palgrave Macmillan 2018.

- WRIGHT, G.; CAIRNS, G.; O'BRIEN, F. A. Scenario analysis to support decision making in addressing wicked problems: pitfalls and potential. **European Journal of Operational Research**, v. 278, n. 1, p. 3-19, 2019.
- XIE, T.; DONG, J.; CHEN, H.; JIANG, Y.; YAO, Y. Experimental investigation of deicing characteristics using hot air as heat source. **Applied Thermal Engineering**, v. 107, p. 681-688, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.162>.
- YASAI-ARDEKANI, M.; NYSTROM, P. C. Designs for environmental scanning systems: tests of a contingency theory. **Management Science**, v. 42, n. 2, p. 187-204, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2633000>.
- YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3.ed. Porto Alegre, Bookman, 2005.
- YIN, R. K. **Case study research design and methods**. 5.ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2014.
- YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Tradução Daniel Bueno. Porto Alegre: Penso, 2016.
- YOHE, G. Imbedding dynamic responses with imperfect information into static portraits of the regional impact of climate change. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE NATURAL RESOURCE AND ECONOMIC IMPLICATIONS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE, 1990, Interlaken, Switzerland. **Proceedings...** 1990.
- YOON, J.; KIM, Y. J.; VONORTAS, N. S.; HAN, S. W. A moderated mediation model of technology roadmapping and innovation: the roles of corporate foresight and organizational support. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 52, p. 61-73, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2017.10.002>.
- YU, I. T. et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. **The New England Journal of Medicine**, v. 350, n. 17, p. 1731-1739, 2004.

ZAIRI, M. Moving from continuous to discontinuous innovation in FMCG: a re-engineering perspective. **World Class Design to Manufacture**, v. 2, n. 5, p. 32-37, 1995.

ZAHARI, A. R.; ROMLI, F. I. Analysis of suborbital flight operation using PESTLE. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 192, 104901, 2019.

ZAPPELLINI, M. B.; FEUERSCHÜTTE, S. G. O uso da triangulação na pesquisa científica brasileira em administração. **Administração: Ensino e Pesquisa**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 241-273, 2015.

APÊNDICE A – ESTUDOS DE CASOS

Os estudos de caso, explorados na Embraer e no INPE, estão descritos nos capítulos subsequentes.

A.1 Estudos de casos Embraer e INPE – visão geral

A Tabela A.1 resume os estudos de casos que foram avaliados na Embraer, indicando a área, número de engenheiros entrevistados, principal objetivo do desenvolvimento, descrição resumida da tecnologia, maturidade tecnológica alcançada e evolução do projeto, no ciclo de desenvolvimento, do desenvolvimento tecnológico à aplicação da tecnologia no produto.

O número de entrevistados não é a soma destas indicações, uma vez que alguns engenheiros responderam a mais de uma tecnologia e em mais de uma entrevista realizada com cada um deles.

Tabela A.1 – Estudos de Caso na Embraer.

| Área | Estudo de Caso / (número de entrevistados) | Objetivo | Descrição | Maturidade esperada (Meta) | Evolução do projeto |
|---------|--|---|---|--|---------------------------|
| Energia | Combustíveis alternativos (óleos vegetais) / (2) | Permitir melhorias incrementais e maximização de resultados (curto prazo). | Desenvolvimento de biocombustíveis por meio de parcerias. O escopo incluiu parcerias de desenvolvimento, obtenção de fomento e geração de PI. Evitar surpresas estratégicas e responder às ameaças e oportunidades. | Evolução do nível de maturidade de TRL 2 para 4. Tecnologia testada em plataformas demonstradoras. | Prospecção (cancelado) |
| Energia | Armazenamento de energia (Baterias) / (2) | Investigar as tecnologias disponíveis no armazenamento de energia elétrica. | O projeto estruturou um <i>roadmap</i> sobre a tecnologia de armazenamento de energia elétrica, identificou os gaps de conhecimento da Embraer e identificou os principais <i>players</i> . | Baixa maturidade, TRL 2/3. | Prospecção (cancelado) |
| Energia | Geração de energia (alternativas: bateria, solar, nuclear, hidrogênio) / (1) | Gerar energias alternativas. | Desenvolvimento de tecnologias que busquem melhorar o gerenciamento energético do avião e a infraestrutura aeroportuária. | Baixa maturidade (TRL 2/3) / prospecção tecnológica. Pretende-se chegar a TRL 6/7. | Prospecção (em andamento) |

continua

Tabela A.1 – Continuação.

| | | | | | |
|----------------------|---|--|--|---|--|
| Física de Voo | <i>Morphing</i> aerodinâmico / (1) | Melhorar o desempenho aerodinâmico, redução de ruído e compreensão do padrão de escoamento. | Desenvolvimento da tecnologia <i>morphing</i> para utilização em bordos de ataque e de fuga, provas de conceito, testes de dados. | Baixa maturidade (TRL 3/4). Medição do fluxo em jatos e túneis de vento (Universidade de Bristol). Publicação de artigos, patentes. | Prospecção (encerrado) |
| Física de Voo | Escoamento laminar (Fase 1) / (1) | Desenvolver tecnologias e metodologias como diferencial competitivo para redução do consumo de combustíveis. | A primeira fase (2015- 2018) contemplou pesquisa detalhada, em literatura, modelagem e predição numérica de instabilidades no escoamento, desenvolvimento de requisitos e novos conceitos para perfis laminares. | Fase 1: ~TRL 3 | Prospecção (encerrado) |
| Física de Voo | Escoamento laminar (Fase 2) / (1) (mesmo entrevistado da fase anterior) | Idem anterior | A segunda fase (2019-2021) contempla a modelagem e a predição numérica de instabilidades no escoamento, busca de soluções em sistemas híbridos e ensaios em túnel de vento. | Fase 2: ~TRL 4/5 | Desenvolvimento tecnológico (em andamento) |

continua

Tabela A.1 – Continuação.

| | | | | | |
|----------------------|---|---|--|------------------|--|
| Física de Voo | Escoamento laminar (Fase 3) / (1) (mesmo entrevistado das fases anteriores) | Idem anterior | A terceira fase (após 2022) contempla a modelagem e a predição numérica de instabilidades no escoamento, projeto de um protótipo para validação do fluxo de componentes laminares e medição de desempenho em voo. | Fase 3: ~TRL 5/6 | Desenvolvimento tecnológico (em andamento) |
| Sistemas | Fly by Wire (FBW) / (5) | Desenvolver e implementar o controle das superfícies de comando de voo com sinais eletrônicos transmitidos aos seus atuadores a partir de softwares embarcados. Melhorar o desempenho aerodinâmico e a segurança. | A Embraer precisou adquirir essa tecnologia, inicialmente, por meio de subcontratos. Ao mesmo tempo, a empresa contratou especialistas para capacitar suas equipes internas. A organização investiu em treinamento de pessoas, desenvolvimento de ferramentas e processos, para ter o controle total e um alto grau de sofisticação nessa tecnologia (software). | TRL 8/9 | Desenvolvimento tecnológico (concluído). Aplicação parcial no produto. |

continua

Tabela A.1 – Continuação.

| | | | | | |
|-----------------|--|---|--|--|-------------------------|
| Sistemas | Structural Health Monitoring (SHM) / (1) | Reduzir custos de manutenção em estruturas de aeronaves, por meio da implantação de sistemas de detecção automática de danos, capazes de detectar trincas incipientes abaixo do tamanho crítico e quase sem intervenção humana. | O SHM é um sistema integrado para garantir a integridade de uma estrutura com base na identificação automática e reparação de avarias na estrutura considerada, através da ativação de uma rede de sensores. Dados consolidados, analisados e submetidos à aprovação da ANAC. Foi estabelecido um processo formal de implementação do SHM. | TRL 6/7 | Prospecção (concluído). |
| Sistemas | DIMA / (1) | Implementar uma plataforma de distribuição modular com capacidade de reconfiguração automática. | Desenvolvimento de parcerias para o desenvolvimento de uma estratégia de reconfiguração de <i>payloads</i> , implementação lógica e software da plataforma. Prova de conceito. | Fase 1: ~TRL 3 | Prospecção (encerrado). |
| Sistemas | DIMA / (1) (mesmo entrevistado da fase anterior) | Integrar e implementar o sistema com base no software e implementar um emulador de voo | Avaliação da capacidade de integração de um sistema de comunicação de rádio (SDR) na plataforma, e realização de ensaios em voo. | Fase 2: ~TRL 4/5 Realização de voo demonstrativo em aeromodelo. | Prospecção (encerrado). |

continua

Tabela A.1 – Continuação.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|---|---|--|---|
| Sistemas | Single Pilot / (2) | Desenvolver um <i>roadmap</i> de tecnologias (futuras) associado à operação <i>single pilot</i> . | Na fase de prospecção o projeto incluiu o levantamento de informações, formulação de tecnologias para futuros desenvolvimentos de aeronaves e infraestruturas aeroportuária e análise dos impactos nos passageiros. | TRL 4/5 Foram elaborados os <i>roadmaps</i> para o Single Pilot para a aviação comercial, executiva e defesa. | Prospecção (encerrado), Desenvolvimento tecnológico (em andamento) |
| Sistemas | Degelo / (2) | Desenvolver um sistema de proteção de gelo (IPS) baseado em nanotubos de carbono (CNT). | A primeira fase contemplou o desenvolvimento do sistema para remover o gelo residual com menor esforço e garantir uma operação de voo mais segura, melhorando a vantagem competitiva da Embraer. | TRL 2/3 | Prospecção (encerrado) |
| Sistemas | Degelo / (2) | Evoluir a tecnologia para TRL 6. | A segunda fase envolve o amadurecimento do sistema, desenvolvimento de revestimento hidrofóbico e vibração por materiais piezoelétricos que, em conjunto com o sistema de aquecimento podem melhorar o desempenho do sistema. | TRL 6 Ensaio em túnel de vento, realizados. | Desenvolvimento tecnológico (em andamento) |

continua

Tabela A.1 – Conclusão.

| | | | | | |
|------------------|--|---|--|-------|---|
| Materiais | Friction Stir Welding (FSW) / (2) | Evoluir para TRL 6, buscando vantagens: melhor resistência e impermeabilidade, estruturas mais leves. | Processo de soldagem em estado sólido (fricção) como método de união no estado sólido é utilizada nas aplicações aeronáuticas para substituir juntas rebitadas. | TRL 6 | A Embraer usa FSW para os painéis frontais da fuselagem nos jatos Legacy 450 e 500 (Sinka, 2014). |
| Cabine | Purificação do Ar (nome do projeto alterado, em função de segredo industrial) | Criar um ambiente mais saudável nas aeronaves com a utilização de ozônio. | Promover a esterilização e a melhoria do conforto de cabine. Desenvolver um sistema de esterilização para reduzir toxinas biológicas e odores. Fabricar um demonstrador. | TRL 7 | Prospecção (encerrado) |
| Cabine | Revestimentos biocidas (nome do projeto alterado, em função de segredo industrial) | Aditivo antibactericida e fungicida, e método de aplicação no interior das aeronaves com o objetivo de eliminar fungos e bactérias. | Pesquisar e testar (radiação UV e ciclo térmico) a aplicação em diferentes materiais. | TRL 7 | Prospecção (encerrado) |

Fonte: Produção da autora.

Tabela A.2 – Estudos de Caso no INPE.

| Área | Estudo de Caso / (número de entrevistados) | Objetivo | Descrição | Maturidade esperada (Meta) | Evolução do projeto |
|--------|--|--|---|----------------------------|--|
| Imagem | Câmera MUX / (2) | Para o CBERS 3 e 4, foi acordado que a parte brasileira do empreendimento seria responsável por desenvolver a câmera de resolução média MUX (Multispectral). | O consórcio Opto-Equatorial foi contratado para desenvolver o WFI (2ª geração), em dezembro de 2005. A empresa Opto foi contratada para desenvolver totalmente a câmera MUX, em dezembro de 2004. Nas duas câmeras, a Opto foi responsável por desenvolver e fabricar a unidade óptica. lentes e componentes. | TRL 9 | Desenvolvimento tecnológico (concluído). Aplicação no produto |
| Imagem | WFI / (2) | A WFI (<i>Wide Field Imager</i>) foi a primeira câmera brasileira, lançada em 1999 na CBERS 1. Esta câmera de baixa resolução foi desenvolvida visando as necessidades do país em detecção de incêndios e desmatamentos. | A Equatorial e o INPE focaram na integração de sistemas e no desenvolvimento de tecnologias de circuitos eletrônicos. O INPE acumulou conhecimento sobre a integração de satélites de sensoriamento remoto com o projeto conjunto CBERS 1 e 2 e com a experiência na integração de câmeras e eletrônica. | TRL 9 | Desenvolvimento tecnológico (concluído). Aplicação no produto |

continua

Tabela A.2 – Continuação.

| | | | | | |
|------------------|--|---|--|-------|--|
| Materiais | <p>Novos materiais de carbono e suas aplicações – Projeto DIMARE / (1)</p> | <p>A partir das pesquisas e desenvolvimentos em diamante, CVC e DLC para o espaço, buscar aplicações inovadoras em setores produtivos (<i>spin-offs</i>).</p> | <p>Pesquisa: diamante CVD policristalino, outros materiais, tensões internas, aderência, dopagem em diamante, preparação de superfícies, lubrificantes sólidos, novas estruturas.</p> <p>Desenvolvimento: lubrificantes sólidos para espaço e indústria, ferramentas de corte e usinagem, brocas médicas e odontológicas, revestimento de dispositivos automotivos, dispositivos mecânicos, eletrodos.</p> <p>Industrialização: patentes, busca e seleção de aplicações, estudo de escala industrial, produção industrial, marketing, vendas e retorno do mercado.</p> | TRL 9 | <p>Desenvolvimento tecnológico (concluído). Aplicação no produto / inovação / Spin-off</p> |
|------------------|--|---|--|-------|--|

continua

Tabela A.2 – Conclusão.

| | | | | | |
|----------------------------|--------------------|--|--|-------|--|
| Materiais | Diamante DLC / (2) | Avaliar o tratamento de superfície tipo DLC em aplicações aeronáuticas. | O projeto inclui demonstradores aeronáuticos (peças demonstrativas) na obtenção de superfícies mecânicas mais resistentes e com menor corrosão. Contempla também a geração de patentes para proteção de possíveis desdobramentos comerciais. | TRL 4 | Prospecção (em andamento) Estudo de texturização LASER do DLC para efeito gelofóbico. |
| Satélite Científico | EQUARS / (1) | Promover avanços científicos para melhor compreensão dos fenômenos físicos que perturbam o comportamento do plasma ionosférico na área equatorial. Busca-se investigar fluxo de elétrons na Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA) e as bolhas de plasma equatorial. | A missão busca resultados relacionados ao clima espacial e formação de bolhas ionosféricas. | TRL 9 | Os experimentos se baseiam em equipamentos construídos com tecnologias já desenvolvidas. As tecnologias estão em alto nível de maturidade. |

Fonte: Produção da autora.

A.2 Estudos de casos Embraer e INPE – detalhamento

A.2.1 Embraer

A.2.1.1 Purificação do ar e revestimentos biocidas

Conforto de cabine é um sistema que inclui dois projetos principais, Purificação do Ar e Revestimentos Biocidas, e que visa criar um ambiente ainda mais saudável para as aeronaves. Estes projetos de desenvolvimento tecnológico foram renomeados por serem protegidos por segredo industrial. Os projetos incluem o desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao sistema de esterilização do ar e das superfícies da cabine para reduzir toxinas e odores biológicos e, com isso, melhorar a qualidade do ar e o conforto da cabine. Os desenvolvimentos buscam a melhoria da qualidade do ar da cabine, com uso de ozônio, e um aditivo biocida das superfícies, para aumentar os níveis de higiene, reduzindo fungos e bactérias.

As doenças microbianas mediadas pelo ar representam um dos principais desafios de saúde pública, como a gripe, que pode ser sazonal ou pandêmica, e as doenças bacterianas, emergindo cada vez mais em uma forma resistente (YU et al., 2004; COWLING et al., 2013; PAULES; SUBBARAO, 2017; WELCH et al., 2018). As pesquisas mostram avanços importantes no desenvolvimento de revestimentos baseados em nanotecnologias para aplicações na indústria aeroespacial (IDUMAH; ODERA, 2020; IDUMAH et al., 2020). Pesquisadores estão cientes da gravidade da infecção COVID-19 e agem rapidamente contra o coronavírus SARS-CoV-2 usando uma grande variedade de abordagens de nanociência e nanotecnologia. Essas disciplinas podem ajudar a comunidade técnica e científica no desenvolvimento de nanomateriais como métodos de desinfecção (RUIZ-HITZKY et al., 2020). Com base na análise da documentação técnico científica, podem ser definidas as principais direções de desenvolvimento no campo das composições biocidas com nanotecnologias para a proteção de materiais contra danos microbiológicos (KRIVUSHINA et al., 2018).

A.2.1.2 Combustíveis renováveis

Os combustíveis renováveis são uma alternativa para atender às metas de redução de gases de efeito estufa do setor aeronáutico (CAPAZ et al., 2020). A

indústria aeronáutica estabeleceu metas ambiciosas para reduzir as emissões de dióxido de carbono em 50% (dos níveis de 2005) até 2050 (CORTEZ et al., 2014; CAPAZ et al., 2020). A substituição de combustíveis fósseis representa uma oportunidade relevante para os biocombustíveis sustentáveis (CORTEZ et al. 2015).

Nos últimos anos, as pesquisas focaram os indicadores de mudanças climáticas e os *trade-offs* ambientais entre mudanças climáticas e outras categorias, como o esgotamento fóssil, acidificação terrestre, toxicidade humana e ambiental e qualidade do ar (CAPAZ et al., 2020).

Houve uma evolução muito grande, no segmento combustíveis renováveis, a partir de 2011, quando as homologações anuais de diversas tecnologias aumentaram. Essas tecnologias passaram a integrar o *roadmap* de grandes *players* da cadeia. No entanto, houve uma desaceleração na Embraer, devido a uma indefinição estratégica relacionada ao apoio do desenvolvimento da cadeia de combustível aeronáutico. Não houve um alinhamento claro entre a estratégia tecnológica, de baixa maturidade tecnológica, e a estratégia organizacional. A decisão estratégica foi pelo domínio de integração e o desenvolvimento tecnológico foi descontinuado. O desenvolvimento envolveria o aprofundamento de capacidades de propósito geral, porque poderia ser usado em qualquer unidade de negócio.

A demanda foi identificada pela área de inteligência da aviação comercial como valor agregado para a organização, com o cliente usando um produto sustentável e mitigando a pegada de carbono. Seria um diferencial significativo para a Embraer, que poderia liderar esta tecnologia. Mas não houve alinhamento entre as áreas da organização, e o desenvolvimento foi descontinuado.

A 2.1.3 Formação de gelo

A formação de gelo em aeronaves é uma questão que ainda exige muitos esforços de pesquisa devido ao seu impacto no desempenho e na segurança das aeronaves (XIE et al., 2016; AFFONSO et al., 2017; ALEMOUR; BADRAN; HASSAN, 2019). Os sistemas de proteção de vários problemas das aeronaves, como a formação de gelo, implicam o uso de energia, aumento de peso e custo.

Portanto, as soluções desses problemas contemplam múltiplos desenvolvimentos tecnológicos, em diversas áreas (AFFONSO et al., 2017; ALEMOUR; BADRAN; HASSAN, 2019).

A formação de gelo no bordo de ataque afeta o desempenho da aeronave. Um sistema de proteção contra o gelo baseado em nanotubos de carbono usado como aquecedores elétricos constitui uma solução importante (AFFONSO et al., 2017). Os sistemas de proteção contra gelo são classificados como sistemas de degelo e sistemas antigelo. A maioria das tecnologias atuais usadas em aeronaves concentra-se nos sistemas de degelo. Para grandes aeronaves, o método de degelo usado é um método que drena o ar quente, proveniente do motor, para remover o gelo acumulado (XIE et al., 2016; ALEMOUR; BADRAN; HASSAN, 2019).

Na Embraer, o conceito de um novo sistema de proteção contra gelo, baseado em nanotubos de carbono, foi instalado na ponta de um modelo de cauda horizontal bidimensional e testado em um túnel de vento. As principais vantagens do sistema estão no peso, facilidade de adaptação e propriedades elétricas e térmicas uniformes. Algumas propriedades do sistema ainda estão sendo pesquisadas e serão testadas em novos testes em túnel de vento e testes de voo para análise do degelo, entrada de energia e gelo residual entre ciclos (AFFONSO et al., 2017).

Este projeto teve início na Embraer com a tecnologia do sistema em TRL1. Um fornecedor comprou a tecnologia e decidiu levar o desenvolvimento ao TRL 9, junto à Embraer. Neste caso, a organização optou pelo domínio de integração, mas teve oportunidade de ter o domínio proprietário, que traria uma vantagem tecnológica mais significativa. O projeto busca desenvolver capacidades relacionadas à integração de sistemas de degelo e antigelo elétricos.

A.2.1.4 Baterias

O desenvolvimento de baterias, que busca atingir TRL 6/7, teve início com as pesquisas das rotas tecnológicas de armazenamento e geração de energia elétrica e identificação das lacunas de capacidades da Embraer. Vários novos desenvolvimentos, que contemplam materiais, física, química, entre outros,

podem e devem ser direcionados para as necessidades do sistema e produto, mas não houve uma integração entre as áreas.

Na fase inicial de desenvolvimento, as capacidades dinâmicas são mais de propósito geral, em função da ampla aplicabilidade das respectivas tecnologias. Uma bateria de estado sólido, que é um bom exemplo para a próxima geração de baterias (desenvolvimento futuro), sempre envolve ampliação e aprofundamento de capacidades dinâmicas. Dependendo da aplicação do material, o mercado pode se tornar mais específico.

A.2.1.5 Morphing Aerodinâmico

O projeto *Morphing* Aerodinâmico, encerrado no TRL 3/4, buscou melhorar o desempenho aerodinâmico das aeronaves, a redução de ruído e a melhor compreensão do padrão de escoamento. O desenvolvimento foi realizado nos bordos de ataque e fuga, e provas de conceito, com a medição do fluxo em jatos e túneis de vento, em parceria com universidades, publicação de artigos e patentes. Foram dois anos de desenvolvimentos em bancada, construindo conhecimento.

As pesquisas têm explorado múltiplos conceitos relacionados à tecnologia *morphing*, que oferecem benefícios potenciais para a eficiência da aeronave (KUDVA, 2004; MCGOWAN, 2008; MONNER et al., 2009; KAMMEGNE et al., 2016). Um dos principais desafios para as tecnologias *morphing* é a identificação do conceito de atuação mais adequado para reduzir a energia de atuação e o peso do mecanismo (GASPARI; RICCI, 2015).

As aeronaves atuais já são equipadas com sistemas capazes de gerar variações geométricas em voo, mas a próxima geração busca o controle adaptável de superfícies (WAGG et al., 2007). O desenvolvimento dessas capacidades requer procedimentos específicos e avaliação de benefícios, como base de apoio aos engenheiros de desenvolvimento e pesquisadores (STEENHUIZEN; VAN TOOREN, 2012; MOLINARI; ARRIETA; ERMANNI, 2013). As capacidades buscam otimizar as formas de *morphing* e o mecanismo de *morphing* (BARBARINO et al., 2011), e desenvolver técnicas que venham apoiar os projetos de aeronaves capazes de adaptar sua forma para otimizar o

desempenho das aeronaves em diferentes condições de voo (THILL et al., 2008; GASPARI; RICCI, 2015; KAMMEGNE et al., 2016; SUN et al., 2016; JOHN; SIVATHANU; VIJAYA, 2018; KUMAR et al. 2020).

O projeto poderia ter gerado um diferencial para a organização, mas não avançou, em função de problemas orçamentários e falta de um alinhamento às necessidades dos programas em andamento.

A.2.1.6 Escoamento laminar

O projeto atual do Escoamento Laminar busca desenvolver tecnologias e metodologias como diferencial competitivo na redução do consumo de combustíveis. O desenvolvimento, que teve início em 2015, contemplou pesquisas, modelagem e análise numérica das condições e instabilidades do escoamento, desenvolvimento dos requisitos e exploração de novos conceitos. A segunda fase, que teve início em 2019 com os ensaios em túnel de vento, busca soluções em sistemas híbridos. O projeto está em andamento (TRL 4) e, na última fase do desenvolvimento tecnológico, pretende-se desenvolver um protótipo para validação do escoamento laminar de componentes e análise do desempenho em voo.

A Embraer está conduzindo uma pesquisa em conjunto com a TU Delft para determinar as etapas necessárias para projetar asas de fluxo laminar para as futuras aeronaves. A pesquisa se concentra na capacidade de prever o local de transição em asas de escoamento laminar e na definição das tecnologias que precisam ser desenvolvidas para a aplicação do escoamento laminar em aeronaves futuras (HEMMEN, 2018).

Dentre diferentes métodos de melhoria do escoamento laminar, pode-se mencionar a modificação da geometria da asa por meio de atuadores piezoelétricos em túnel de vento (MUNDAY et al., 2002; BOTEZ; MOLARET; LAURENDEAU, 2007). Foram obtidos ganhos com o controle ativo e atraso do fluxo turbulento, otimização do relevo na superfície superior do aerofólio e melhoria do controle da onda de choque no fluxo transônico, reduzindo o arrasto total da asa (LUTZ; SOMMERER; WAGNER, 2000). Pesquisas também foram realizadas na redução do arrasto em asas adaptativas para uma aeronave da

Embraer. A curvatura do aerofólio de asa adaptável foi modificada para deformar os bordos de ataque e de fuga do aerofólio. O método buscou corrigir a camada limite e gerou a redução do arrasto (MARTINS; CATALANO, 1996, 2003).

A.2.1.7 Distributed Integrated Modular Avionics (DIMA)

O projeto DIMA (*Distributed Integrated Modular Avionics*), encerrado no nível de TRL 4/5, foi estruturado com o objetivo de se implementar uma plataforma de distribuição modular com capacidade de reconfiguração automática, integrar e implementar um sistema com base em um software e implementar um emulador de voo. No início, foi realizado o desenvolvimento de parcerias para a estruturação de uma estratégia de reconfiguração de *payloads*, implementação da lógica e desenvolvimento do *software* da plataforma. Esta etapa foi concluída com uma prova de conceito. A partir da prova de conceito, o projeto avaliou a capacidade de integração de um sistema de comunicação de rádio na plataforma, e realização de ensaios em voo.

Os objetivos do projeto foram completamente alcançados e comprovou que a reconfiguração é acionada por mudanças nas cargas úteis anexadas à plataforma. A plataforma foi desenvolvida e demonstrada com sucesso, em teste de bancada. O sucesso do projeto promove a introdução de tecnologias IMA (*Integrated Modular Avionics*) em veículos não tripulados. Ao usar um processo de reconfiguração inovador para alocar os recursos do sistema aviônico de forma otimizada, o DIMA promove escalabilidade, reutilização e modularidade enquanto reduz algumas restrições (BARROS et al., 2018).

Este projeto buscou, como capacidades, configurar o sistema operacional específico para IMA e avaliar as vulnerabilidades do sistema operacional em relação à segurança (*cybersecurity*).

A.2.1.8 Single Pilot

O projeto *Single Pilot*, na Embraer, foi iniciado por volta de 2006, com diversas tecnologias de baixa maturidade. O projeto tinha o objetivo de desenvolver um *roadmap* de tecnologias associado à operação *single pilot*, com o levantamento das pesquisas correntes, formulação de tecnologias para futuros

desenvolvimentos de aeronaves, infraestrutura aeroportuária e análise dos impactos nos passageiros.

As principais motivações para a operação de aeronaves SPO foram a geração de oportunidades de redução dos custos operacionais em aeronaves de médio e pequeno porte, e a mitigação do risco de carência de pilotos.

Ao se tratar de questões relacionadas à automação, pode-se abordar a automação de um voo ou o suporte à decisão. No primeiro caso, as tecnologias existentes têm maturidade de 4 a 6 (TRL), aproximadamente. No segundo caso, as tecnologias são de baixíssima maturidade, exigindo a decisão corporativa em relação às tecnologias a serem desenvolvidas pela organização, a partir da análise das competências existentes e disponibilidade de recursos, ou compra de soluções tecnológicas em desenvolvimento.

Há um crescente interesse da comunidade da aviação em operações futuras de aeronaves de transporte com um único piloto em vez de uma tripulação de voo de duas pessoas (COMERFORD et al., 2012). No início da década de 1950, a tripulação de voo era composta pelo piloto, copiloto, engenheiro de voo, navegador e operador de rádio. Avanços recentes nas tecnologias de comunicação, navegação, vigilância, aviônica e gerenciamento de tráfego aéreo permitiram se atingir níveis mais altos de automação, criando oportunidade para aviões comerciais transitarem para a operação *single pilot* (LACHTER et al., 2014a, 2014b; LIM et al., 2017; LACHTER et al., 2017).

A aplicação das metodologias SPO poderia trazer múltiplos benefícios para as *airlines*, como a redução do custo da tripulação, tamanho do *cockpit* das aeronaves, peso e consumo de combustíveis (LACHTER et al., 2017). A SPO pode ser uma solução viável para os custos crescentes associados ao transporte aéreo comercial (LIM et al., 2017).

Na Embraer, o projeto foi encerrado na fase de pesquisa, ou prospecção tecnológica, e início do desenvolvimento tecnológico, TRL 4. Múltiplos projetos deveriam ser gerados para o sucesso do projeto *single pilot*, em função das incertezas inerentes ao sistema. No entanto, os desenvolvimentos serviram de

base de conhecimento para futuros projetos, que poderão ser retomados, de acordo com as definições estratégicas da organização.

O projeto SPO busca, em relação às capacidades, preparar o sistema atual para a transição para full autonomy, melhorar o nível de automação dos sistemas (simplificação dos sistemas) para aumentar a capacidade do piloto na execução das tarefas de voo, viabilizar a operação de aeronaves executivas, comerciais e da defesa com apenas um piloto a bordo, em condições normais e de falhas.

A.2.2 INPE

A.2.2.1 DIMARE

O projeto DIMARE, iniciado no início da década de 1990 com o desenvolvimento de filmes de carbono tipo diamante (DLC), tem despertado muito interesse das pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos, em função dos diferenciais competitivos. O projeto tem impactos positivos no desenvolvimento de materiais, devido à melhoria de propriedades mecânicas, baixo coeficiente de atrito, melhoria da resistência à corrosão e aumento de dureza, ampliando as possibilidades de aplicação. O projeto é multidisciplinar e contempla diversos projetos nas áreas de pesquisa, desenvolvimento e industrialização, que gerou a empresa CVD Vale, uma *spin-off* de tecnologias de ponta em áreas relacionadas a diamante. A CVD Vale gerou capacidades em área odontológica, filmes e revestimentos de carbono, brocas de perfuração, reatores e sistemas de alto vácuo.

O projeto DIMARE também gerou mais de 250 publicações científicas, mais de 500 apresentações, em congressos nacionais e internacionais, mais de 15 patentes, projetos temáticos, cooperações nacionais e internacionais, formação de novas capacidades e recursos em diferentes áreas. O projeto reforça a importância da área espacial como celeiro de novos desenvolvimentos tecnológicos em benefício da sociedade, por envolver alta qualidade de pesquisa, produtos e serviços, gestão avançada, criação de empresas e transferência de tecnologias.

A.2.2.1 EQUatorial Atmosphere Research Satellite (EQUARS)

O satélite científico EQUARS (*EQUatorial Atmosphere Research Satellite*), em desenvolvimento no INPE, tem o objetivo de monitorar a alta, média e baixa atmosfera na região equatorial e busca contribuir com a investigação de fenômenos físicos que perturbam o comportamento do plasma ionosférico (SOUZA et al., 2005; HÜBSCHER, 2018). A missão visa a promover o avanço do conhecimento científico em Aeronomia Equatorial, para melhorar o entendimento da natureza e evolução dos fenômenos físicos que perturbam o comportamento do plasma ionosférico, especialmente na América do Sul (GOBBI et al., 2018). Os resultados podem trazer contribuições importantes para os estudos de clima espacial, atmosférico e meteorológico (HÜBSCHER, 2018; HÜBSCHER; PERONDI, 2019).

No satélite científico EQUARS, as missões foram associadas aos tópicos de investigação, definidos inicialmente em 2003 e reformuladas em 2017. A definição desses tópicos inclui os fatores relacionados às observações, estudos científicos e uso de dados para pesquisas científicas e aplicações. A partir de perguntas a serem respondidas, os experimentos foram definidos.

O desenvolvimento do satélite EQUARS envolve tecnologias de alta maturidade. Além dos dados científicos gerados, os resultados representam um avanço do conhecimento em relação aos principais objetivos do satélite.

A importância deste desenvolvimento está no avanço dos conhecimentos que envolve a melhoria do monitoramento em todo o território nacional e a capacitação industrial, que pode influenciar a geração de empregos diretos e indiretos no país. O projeto pode contribuir com a nucleação de uma indústria espacial no Brasil.

APÊNDICE B – ROTEIRO DA ENTREVISTA

Antes de cada entrevista, foi feita uma breve contextualização do objetivo do estudo e a sua relevância para o planejamento estratégico de organizações aeroespaciais. Em alguns casos, o roteiro, adaptado ao longo do amadurecimento da pesquisa, foi encaminhado antecipadamente.

B.1 Introdução e contexto

Esta pesquisa busca explorar a relação das capacidades dinâmicas com a dinâmica de inovação, a estratégia tecnológica e os impactos da tomada de decisão nos resultados da organização.

O objetivo principal da pesquisa é aprimorar a estratégia tecnológica de organizações aeroespaciais com base nas capacidades dinâmicas, para melhorar o acoplamento entre a captura, o aproveitamento e a transformação de oportunidades em organizações de sistemas complexos.

A pesquisa explora as principais dificuldades para a organização se adequar às mudanças do ambiente de maneira mais eficaz, dinâmica e adaptativamente, e melhorar os investimentos em capacidades, a partir de três questões principais:

- Q1: Quais são os elementos-chave da estratégia tecnológica da organização?
- Q2: Quais são as melhores práticas organizacionais para a definição da estratégia tecnológica e seleção de tecnologias, e qual a importância das metodologias prospectivas neste contexto?
- Q3: Como os investimentos em diferentes capacidades podem contribuir com uma estratégia tecnológica e a tomada de decisão sob incerteza na seleção de tecnologias?

B.1.1 Visão geral - organização, projeto e estratégia de longo prazo

Esta fase trata da visão geral da organização, projetos (estudos de caso) e a estratégia de longo prazo (Tabela B.1).

Tabela B.1 – Visão Geral: Organização e Projeto (Estudos de Caso).

| Questão | Comentário |
|--|---|
| Qual é o seu cargo e posição na organização? | Engenheiro, Pesquisador, Tecnologias / Coordenador, Supervisor, Gerente, Diretor, Vice-presidente. |
| Especificar o projeto (estudo de caso) ou os projetos que serão abordados. | Projeto(s) de desenvolvimento tecnológico / produto. |
| Complexidade do seu setor e ambiente | Caracterizar a complexidade do setor / ambiente. |
| Qual é a frequência de mudanças nesta área de desenvolvimento – e como isso é tratado. | Mudanças significativas nos últimos anos: tecnologia/produto, modelo de negócio, comportamento e mercado. |

Fonte: Produção da autora.

Tabela B.2 – Estratégias de Longo Prazo.

| Questão | Comentário |
|---|---|
| Média de investimento em P&D na sua organização nos últimos anos. | Indicação de tendência (aumento ou redução do investimento) e origem (público e/ou privado). |
| Como o(a) senhor(a) percebe a estratégia de longo prazo na sua organização. | Orientação para o futuro e comportamento frente às rupturas do ambiente (mudanças). Há uma busca pela antecipação das ações estratégicas? |
| O(A) senhor(a) percebe valor em um planejamento estratégico de longo prazo? | Qual a relação das estratégias de curto, médio e longo prazos? |

continua

Tabela B.2 – Conclusão.

| | |
|--|--|
| <p>A sua organização está mais voltada para uma estrutura estratégica de dentro para fora (<i>inside-out</i>), ou de fora para dentro (<i>outside-in</i>), ou ambas?</p> | <p>A primeira abordagem (<i>inside-out</i>) se refere às capacidades dinâmicas, e a segunda (<i>outside-in</i>) se refere ao planejamento de cenários.</p> |
|--|--|

Fonte: Produção da autora.

De acordo com a definição de Teece, Pisano e Shuen (1997), as capacidades dinâmicas constituem a habilidade da organização em integrar, construir e reconfigurar as competências externas e internas em ambientes de mudança rápida. As competências representam as rotinas e processos organizacionais específicos (difíceis ou impossíveis de imitar), e a dinâmica representa as situações em que há mudanças rápidas na tecnologia e no mercado que exercem efeitos na organização.

B.2 Incertezas e propriedades emergentes

Esta etapa busca explorar:

- A influência da incerteza na tomada de decisão em relação ao desenvolvimento da base tecnológica da organização;
- Os critérios de decisão considerados na evolução dos domínios tecnológicos (domínio de integração para domínio proprietário). Como a aprendizagem de uso (domínio de integração) permite que a organização se capacite em termos de conhecimento tecnológico?
- Como as propriedades emergentes das tecnologias influenciam o aprendizado organizacional?

Tabela B.3 – Incertezas e Propriedades Emergentes.

| Questão | Comentário |
|---|---|
| <p>Influência das incertezas no processo de tomada de decisão no que tange a formação da base tecnológica da organização.</p> | <p>Nível de influência: baixa, média ou alta.</p> |

Continua

Tabela B.3 – Conclusão.

| | |
|---|-------------|
| Como a tomada de decisão em relação à evolução de domínio de integração (uso do sistema) para domínio proprietário impactou ou pode impactar os resultados da organização? Que fatores influenciaram esta decisão de passar para domínio proprietário (se aplicável)? | Explorar |
| Como as propriedades emergentes do sistema influenciaram, ou podem influenciar a aprendizagem organizacional? | Explorar |
| Quais são as funcionalidades e os benefícios esperados para o sistema? | Explorar |
| Qual é a importância deste desenvolvimento para a organização. | Criticidade |
| Em relação a este desenvolvimento, houve alguma integração da tecnologia empurrada com a demanda (<i>technology push - demand pull</i>)? | Explorar |

Fonte: Produção da autora.

B.3 Análise das capacidades dinâmicas

Assim como as organizações competem nos mercados de produtos, elas também competem para criar capacidades tecnológicas, operacionais e organizacionais que lhes proporcionem vantagem competitiva.

Busca-se analisar como as capacidades dinâmicas moldam a vantagem competitiva das organizações a partir de suas definições estratégicas. Para as novas decisões estratégicas, é importante analisar: Como a organização decidiu sobre os seus investimentos em capacidades? Como a capacitação e desenvolvimento dos recursos foi tratada para assegurar a disseminação do conhecimento?

Que capacidades a organização decidiu criar e que capacidades a organização decidiu preservar, por quê? As organizações podem fazer as duas coisas, uma vez que as restrições de recursos impõem que elas façam escolhas.

B.3.1 Capacidades de propósito geral e específicas

- Capacidades de propósito geral: são as capacidades que podem ser implementadas em uma gama relativamente ampla de usos e mercados. Essas capacidades não são úteis apenas nos principais mercados da organização, mas têm aplicabilidade em outros mercados.
- Capacidades específicas: são as capacidades que só podem ser utilizadas em uma faixa muito restrita. Envolve capacidades especializados e úteis em mercados específicos.

B.3.2 Aprofundamento e ampliação de capacidades

- Aprofundamento de capacidades: constitui o aprofundamento das capacidades tecnológicas existentes, que normalmente acontece por meio do uso dessas capacidades.
- Ampliação de capacidades: envolve o investimento em capacidades que estão fora do escopo da organização. Aprender com a experiência não é automático, mas geralmente pode exigir investimentos específicos em novas habilidades, processos, projetos, procedimentos e equipamentos.

Tabela B.4 – Análise das Capacidades Dinâmicas.

| Questão | Comentário |
|--|-------------------|
| As capacidades dinâmicas têm origem em fatores aleatórios (não planejado) ou são função da história da organização (evolução natural)? | Explorar |
| No(s) projeto(s) abordado(s), a organização decidiu pelo aprofundamento, ampliação das capacidades, ou ambos? | Explorar |
| Estas capacidades são de propósito geral ou específicas? | Explorar |

Fonte: Produção da autora.

B.4 Planejamento estratégico

Tabela B.5 – Planejamento Estratégico.

| Questão | Comentário |
|--|--------------------------------------|
| Foco do planejamento estratégico da organização. | Específico / Global |
| Orientação para o desenvolvimento estratégico de longo prazo. | Sim/Não Justificativa de resposta |
| Horizonte de tempo. | Curto, médio ou longo prazos |
| Como o(a) senhor(a) considera o nível de precisão das estratégias de longo prazo na organização. | Pequenos desvios / grandes desvios |
| Oportunidades identificadas nos últimos anos. | Poucas / Muitas |
| Níveis de mudança tecnológica. | Mudança gradual / Grandes rupturas |
| Direção da mudança tecnológica. | Previsível / Imprevisível |

Fonte: Produção da autora.

B.5 Análise da Complexidade do Ambiente

Tabela B.6 – Complexidade do Ambiente.

| Questão | Comentário |
|---|--|
| Tecnologias envolvidas no sistema. | Poucas e maduras (sistema simples) / muitas e de baixa maturidade (sistemas complexos) |
| Regulamentações (tecnologia / sistema). | Poucas e estáveis / muitas e dinâmicas |
| Visibilidade da organização. | Baixa / alta visibilidade |

Continua

Tabela B.6 – Conclusão.

| | |
|---|---|
| Dependência de financiamento público (governo). | Baixa / alta dependência |
| Necessidade de acesso político. | Baixa / alta dependência das políticas públicas |
| Capacidade de influenciar o desenvolvimento das políticas públicas. | Baixa capacidade / alta capacidade de influenciar as políticas públicas |

Fonte: Produção da autora.