

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SISTEMATIZAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS PARA O
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
ARMAMENTO LEVE NA BASE INDUSTRIAL DE
DEFESA DO BRASIL

JOÃO HERBES DA SILVA SAMPAIO

ITAJUBÁ, DEZEMBRO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOÃO HERBES DA SILVA SAMPAIO

SISTEMATIZAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS PARA O
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
ARMAMENTO LEVE NA BASE INDUSTRIAL DE
DEFESA DO BRASIL

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello

ITAJUBÁ, DEZEMBRO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOÃO HERBES DA SILVA SAMPAIO

SISTEMATIZAÇÃO DE BOAS PRÁTICAS PARA O
PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
ARMAMENTO LEVE NA BASE INDUSTRIAL DE
DEFESA DO BRASIL

Dissertação a ser avaliada por banca examinadora em 17 de dezembro de 2025, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello (Orientador)

Prof. Dr. Daniel Jugend (Avaliador externo)

Prof. Dr. Cel. Victor Santoro Santiago (Avaliador externo)

Profa. Dra. Juliana Helena Daroz Galdencio (Avaliadora interna)

ITAJUBÁ, DEZEMBRO DE 2025

*Dedico este trabalho aos meus pais,
que sempre me incentivam a ir além.*

*As minhas filhas,
minha maior inspiração e razão de cada esforço.*

*E, em especial, a minha esposa Adelaide
que, sempre ao meu lado, me ajuda a conquistar meus objetivos.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e por me oferecer as oportunidades que me fizeram estar aqui hoje.

À minha família, por me ensinar os verdadeiros valores que levo sempre comigo, e pelo apoio e suporte nas decisões que tomei em minha vida.

À minha esposa, pelo amor e companheirismo diário, sempre flexível e adaptando suas metas às minhas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Henrique Pereira Mello, que com profissionalismo e dedicação aceitou este desafio, me ajudando em decisões acadêmicas, profissionais e pessoais.

Aos meus amigos do Exército Brasileiro, pela constante capacitação, proporcionando-me oportunidades de especialização e aplicação de meus conhecimentos.

Resumo

A Base Industrial de Defesa (BID) brasileira desempenha papel estratégico na garantia da soberania nacional, especialmente diante do crescente cenário de instabilidade geopolítica mundial. No entanto, o setor enfrenta desafios estruturais no desenvolvimento de produtos complexos, como armamentos leves, que demandam conformidade com rigorosos marcos regulatórios. Este trabalho tem como objetivo propor a sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, por meio da adaptação e integração de abordagens tradicionais e híbridas de desenvolvimento de produtos ao contexto da BID, contemplando as principais regulamentações brasileiras aplicáveis ao processo de homologação desses protótipos. Por meio de uma pesquisa-ação foi elaborada e verificada uma sistemática com um conjunto de boas práticas para as especificidades do setor, integrando elementos do Modelo Unificado do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e do modelo híbrido *Agile-Stage-Gate*. O estudo compreendeu o diagnóstico do marco regulatório nacional, a integração de ferramentas de gestão e engenharia e a aplicação de boas práticas do Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP). A proposta sistematiza um conjunto de boas práticas para a gestão do PDP, aprimora a rastreabilidade, fortalece a conformidade regulatória e contribui para o aumento da competitividade das fábricas da BID, ao promover maior agilidade no desenvolvimento de protótipos. A verificação da sistemática ocorreu por meio das conformidades observadas nas auditorias internas e externas da Norma ABNT ISO 9001:2015 (Cláusula 8.3), da percepção positiva da equipe de desenvolvimento, do atendimento às autorizações exigidas pelos marcos regulatórios e da conformidade obtida nas avaliações técnicas internas para a homologação do protótipo, atestando sua viabilidade prática. Os resultados indicam que a sistemática de boas práticas proposta pode ser adotada como referencial para padronização, treinamento e melhoria contínua na indústria de defesa brasileira.

Palavras-Chave: Processo de Desenvolvimento de Produtos; Armamentos leves; Base Industrial de Defesa; Regulamentações; Abordagens híbridas.

Abstract

The Brazilian Defense Industrial Base (BID) plays a strategic role in ensuring national sovereignty, especially considering the growing global geopolitical instability. However, the sector faces structural challenges in developing complex products, such as light weapons, which require compliance with strict regulatory frameworks. This study aims to propose the systematization of best practices for managing the development process of small arms prototypes by adapting and integrating traditional and hybrid product development approaches to the BID context, considering the main Brazilian regulations applicable to the approval process for these prototypes. Through action research, a system was developed and verified with a set of best practices for the specificities of the sector, integrating elements of the Unified Product Development Process (PDP) Model and the Agile–Stage-Gate hybrid model. The study included an assessment of the national regulatory framework, the integration of management and engineering tools, and the application of best practices in Integrated Product Development (IPD). The proposal systematizes a set of best practices for PDP management, improves traceability, strengthens regulatory compliance, and contributes to increasing the competitiveness of BID factories by promoting greater agility in prototype development. The verification of the system was carried out through compliance observed in internal and external audits of the ABNT ISO 9001:2015 Standard (Clause 8.3), the positive perception of the development team, compliance with the authorizations required by regulatory frameworks, and compliance obtained in internal technical evaluations for prototype approval, attesting to its practical feasibility. The results indicate that the proposed system of best practices can be adopted as a benchmark for standardization, training, and continuous improvement in the Brazilian defense industry.

Keywords: Product Development Process; Light weapons; Defense Industrial Base; Regulations; Hybrid approaches.

Lista de Figuras

Figura 1 - Temas do Referencial Teórico	16
Figura 2 - Exemplo de abordagem de desenvolvimento preditivo	18
Figura 3 - Exemplo de abordagem de desenvolvimento adaptativa	19
Figura 4 - Abordagem de desenvolvimento híbrida	20
Figura 5– Relação entre modelos de referência genéricos e específicos	21
Figura 6 – Modelo estruturado com base na abordagem Stage-Gate	24
Figura 7 - Modelo Unificado de Processo de Desenvolvimento de Produto.....	24
Figura 8 - O modelo híbrido integrado <i>Agile-Stage-Gate</i>	26
Figura 9 – Gráfico de burndown para um sprint de 30 dias	28
Figura 10 - Framework do método Scrum.....	32
Figura 11 – Abordagem Kanban e suas características	37
Figura 12– Abordagem Scrum e suas características	38
Figura 13 – Curva de comprometimento do custo do produto	45
Figura 14 – Classificação da pesquisa científica	52
Figura 15 – Ciclo da pesquisa-ação	54
Figura 16– Ciclos contínuos da pesquisa-ação	55
Figura 17 – Desenvolvimento iterativo e incremental.....	56
Figura 18 - Fuzil de Alta Precisão IMBEL 308 ISR-100/18	59
Figura 19 – Etapas para homologação do PCE para fabricação	64
Figura 20 – Fluxograma do processo para homologação do PCE.....	66
Figura 21– Entregas regulatórias das fases do PDP	68
Figura 22 – Sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves	69
Figura 23 - Exemplo de cronograma de referência para o desenvolvimento	74
Figura 24 - Ciclo de vida segundo a evolução das vendas do produto.....	76
Figura 25 – Exemplo de árvore de objetivos do fuzil de alta precisão.....	78
Figura 26 – Exemplo de diagrama função total do fuzil de alta precisão.....	81
Figura 27 – Exemplo da estrutura de funções para fuzil de alta precisão	82
Figura 28 – Exemplo de arquitetura do fuzil de alta precisão	85
Figura 29 – Exemplo de componentes iniciais do fuzil de alta precisão.....	87
Figura 30 - Concepção inicial do fuzil de alta precisão.....	88
Figura 31 - Integração do estudo conceitual e detalhamento do produto	89

Figura 32- Lógica da tarefa de criar, reutilizar, procurar e criar e codificar SSCs.....	90
Figura 33 – Exemplo de estrutura do fuzil de alta precisão	92
Figura 34 - Modelo geométrico tridimensional do fuzil de alta precisão.....	93
Figura 35 - Métodos de especificar tolerâncias	94
Figura 36 - Protótipos do Fuzil de Alta Precisão.....	96
Figura 37 - Métodos de avaliação SSCs.	97
Figura 38 - Posicionamento do fuzil para teste a -80°	98
Figura 39- Certificado ISO 9001:2015 e AQAP 2110	101

Lista de Quadros

Quadro 1 - Comparativo entre os modelos de PDP	22
Quadro 2 - Temas e Atividades por Área de Conhecimento	39
Quadro 3 - Quadro kanban desenvolvimento de armamento	71
Quadro 4 - Requisitos mínimos do protótipo	75
Quadro 5 – Relação exemplificativa entre requisitos do cliente e do produto para o fuzil de alta precisão	77
Quadro 6 – Exemplo de lista de especificações-meta para fuzil de alta precisão	78
Quadro 7 – Exemplo de princípios de solução para as funções do fuzil de alta precisão	83
Quadro 8 – Exemplo de carta morfológica para fuzil de alta precisão	84
Quadro 9 – Exemplo de concepção de solução para fuzil de alta precisão escolhido ..	84
Quadro 10 - Exemplos de fontes de padronização	92
Quadro 11- Auditorias internas e externas no desenvolvimento do protótipo do Fuzil de Alta Precisão	102
Quadro 12 - Percepções da equipe de desenvolvimento sobre a sistemática proposta	107

Lista de Abreviaturas

AATP	Autorização para a Avaliação Técnica do Protótipo
ADFP	Autorização para o Desenvolvimento e Fabricação do Protótipo
AICS	<i>Accuracy International Chassis System</i>
AQAP	<i>Allied Quality Assurance Publications</i>
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
BID	Base Industrial de Defesa
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAE	<i>Computer-Aided Engineering</i>
CAEx	Centro de Avaliações do Exército
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
COLOG	Comando Logístico
DCT	<i>Departamento de Ciência e Tecnologia</i>
DFA	<i>Design for Assembly</i>
DFM	<i>Design for Manufacturability</i>
DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>
DFPC	Diretoria de Fiscalização de Produtos Controlados
DFX	<i>Design for X</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DIP	Desenvolvimento Integrado de Produtos
IMBEL	Indústria de Material Bélico do Brasil
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
GPDP	Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos
MIL-STD	<i>Military Standard</i>
M-LOK	Modular Lock System
NCE	Necessidades de Conhecimentos Específicos
NEB/T	Norma Técnica do Exército Brasileiro
OAC	Organismo de Avaliação da Conformidade
OCD	Organismo de Certificação Designado
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PCE	Produtos Controlados pelo Exército

PDM	Product Data Management
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RAT	Relatório de Avaliação Técnica
SENASP	Secretaria Nacional de Segurança Pública
SMEM	Sistema de Material de Emprego Militar
SSCs	Sistemas, Subsistemas e Componentes
STANAG	<i>Standardization Agreement</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i>
UNEF	<i>Unified National Extra Fine</i>

SUMÁRIO

1. Introdução	11
1.1. Contextualização do problema e justificativa.....	11
1.2. Objetivos.....	13
1.2.1. Objetivo geral	13
1.2.2. Objetivos específicos.....	13
1.3. Objeto de estudo	14
1.4. Delimitações	14
1.5. Limitações	15
1.6. Estrutura do trabalho	15
2. Referencial Teórico	16
2.1. Processo de Desenvolvimento de Produtos	16
2.1.1. Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos.....	17
2.1.2. Modelo de Gestão de Processo de Desenvolvimento de Produto	20
2.1.2.1. Modelo Stage-Gate.....	23
2.1.2.2. Modelo Unificado de Processo de Desenvolvimento de Produto	24
2.1.2.3. Modelo híbrido Agile-Stage-Gate.....	25
2.1.3. Métodos, técnicas e ferramentas de projeto.....	29
2.1.3.1. Abordagem tradicional.....	29
2.1.3.2. Abordagem ágil.....	31
2.1.3.2.1. Scrum.....	32
2.1.3.2.2. Kanban.....	34
2.2. Desenvolvimento Integrado de Produtos.....	38
2.2.1. Gestão de projetos no DIP	39
2.2.2. Meio ambiente no DIP.....	40
2.2.3. Marketing no DIP	40
2.2.4. Engenharia de produto no DIP	41

2.2.5. Engenharia de processos no DIP	42
2.2.6. Produção no DIP	42
2.2.7. Suprimento no DIP	43
2.2.8. Qualidade no DIP	44
2.2.9. Custo no DIP	44
2.3. Base Industrial de Defesa	46
2.3.1. Armas e Munições Leves e Pesadas e Explosivos	46
2.3.2. Sistemas Eletrônicos e Sistemas de Comando e Controle.....	47
2.3.3. Plataforma Naval Militar	47
2.3.4. Propulsão Nuclear	48
2.3.5. Plataforma Terrestre Militar	48
2.3.6. Plataforma Aeronáutica Militar	49
2.3.7. Sistemas Espaciais voltados para Defesa	49
2.3.8. Equipamentos de Uso Individual.....	49
2.4. Síntese teórica.....	49
3. Método de pesquisa	52
3.1. Classificação da pesquisa	52
3.2. Procedimentos Técnico.....	53
3.3. Etapas para a realização do estudo	56
3.3.1. Contexto e propósito.....	57
4. Sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves.....	61
4.1. Diagnóstico do marco regulatório nacional.....	61
4.1.1. Responsabilidades	61
4.1.2. Instrumentos normativos	62
4.1.3. Procedimentos para homologação de armamentos leves para fabricação	63
4.2. Planejamento da Ação de Pesquisa	67

4.2.1. Abordagens tradicionais	67
4.2.2. Abordagem híbrida	68
4.3. Implementação prática da sistemática	71
4.3.1. Estudo Informacional	73
4.3.1.1. <i>Sprint 1</i> : Preparação do plano de trabalho	73
4.3.1.2. <i>Sprint 2</i> : Definição das especificações e metas do produto	74
4.3.1.3. <i>Sprint 3</i> : Obtenção da autorização para desenvolvimento e fabricação de protótipo junto aos órgãos de fiscalização	80
4.3.2. Estudo Conceitual	81
4.3.2.1. <i>Sprint 4</i> : Modelagem funcional do produto	81
4.3.2.2. <i>Sprint 5</i> : Definição da arquitetura do produto	82
4.3.2.3. <i>Sprint 6</i> : Seleção da concepção e design inicial do produto	85
4.3.3. Detalhamento do produto	89
4.3.3.1. <i>Sprint 7</i> : Criar, reutilizar, procurar, codificar sistemas, subsistemas e componentes (SSCs)	90
4.3.3.2. <i>Sprint 8</i> : Definição das cotas nominais e desenho dos SSCs	91
4.3.3.3. <i>Sprint 9</i> : Especificação das tolerâncias dos SSCs	94
4.3.3.4. <i>Sprint 10</i> : Produção dos componentes dos protótipos e montagem	95
4.3.3.5. <i>Sprint 11</i> : Obtenção da autorização para avaliação técnica junto aos órgãos de fiscalização	96
4.3.4. Verificação do protótipo	97
4.3.4.1. <i>Sprint 12</i> : Realização dos ensaios internos no protótipo	97
4.3.4.2. <i>Sprint 13</i> : Obtenção da homologação do protótipo por certificação ou atestação	99
4.3.4.3. <i>Sprint 14</i> : Obtenção da homologação para fabricação do PCE	100
4.4. Avaliação do desempenho da sistemática proposta	100
4.4.1. Desempenho nas auditorias internas e externas	100
4.4.2. Atendimento aos marcos regulamentares e desempenho nas avaliações internas	104
4.4.3. Percepção da equipe de desenvolvimento sobre a sistemática	104

4.4.4. Discussões dos resultados.....	108
5. Conclusões.....	111
5.1. Sugestões para trabalhos futuros	112
Referências Bibliográficas.....	114

1. Introdução

1.1. Contextualização do problema e justificativa

A intensificação de tensões geopolíticas e conflitos armados recentes, como a invasão da Ucrânia pela Rússia em 2022, reacendeu mundialmente a preocupação com a capacidade de defesa soberana das nações. Esse evento, considerado improvável por muitos no século XXI, revelou a vulnerabilidade de diversos países quanto à sua dependência externa em termos de equipamentos e tecnologias de defesa (Boeno, 2025). Especialistas em segurança nacional têm reforçado a importância do conceito de dissuasão militar, que pressupõe que um país adequadamente preparado para a guerra se torna menos vulnerável a agressões externas (Freire, 2021). A capacidade de dissuasão está diretamente relacionada ao domínio tecnológico e à autonomia produtiva, elementos centrais na estruturação de uma Base Industrial de Defesa robusta.

Observa-se, nesse contexto, crescimento dos investimentos em defesa, com esforços voltados à reestruturação da indústria local e à redução da dependência de potências externas. No Brasil, a Base Industrial de Defesa (BID) é composta por empresas públicas e privadas que atuam nas diferentes fases do ciclo de vida de produtos estratégicos de defesa, desde a pesquisa e desenvolvimento até a produção, manutenção e desativação de sistemas militares (Brasil, 2022). Essa infraestrutura produtiva é essencial para garantir a soberania nacional, promovendo a independência tecnológica e reduzindo vulnerabilidades externas.

As organizações que integram a BID enfrentam o desafio de aprimorar continuamente sua capacidade de inovação e resposta ágil às demandas estratégicas, o que passa, inevitavelmente, pela maturidade e formalização do seu Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Tal necessidade é ainda mais crítica quando se trata do desenvolvimento de sistemas complexos e produtos regulados, como armamentos leves, cuja conformidade normativa e segurança funcional são fatores inegociáveis (Lobato, 2018).

Empresas com PDP bem definidos tendem a apresentar melhor desempenho em aspectos como qualidade, custo e tempo de desenvolvimento. Embora o desenvolvimento de produtos seja inerentemente único, é possível identificar padrões e características comuns que permitem sua gestão sistemática (Rozenfeld *et al.*, 2006). Modelos de referência genéricos, como os propostos por Back (1983), Pugh (1991), Clark (1992), Cooper (1993, 2017), Baxter (1998) e Rozenfeld (2006), oferecem fundamentos valiosos para a estruturação desses processos, mesmo que não sejam especificamente voltados ao setor de defesa.

Contudo, a literatura técnica evidencia uma lacuna significativa no que se refere à aplicação prática desses modelos ao contexto da indústria de defesa, especialmente no segmento de armamentos leves. As peculiaridades dos produtos militares, como requisitos de certificação rigorosos, confidencialidade, ciclo de vida estendido e criticidade funcional, demandam adaptações nos modelos genéricos existentes, tornando necessária a formulação de sistemáticas de boas práticas específicas para o setor.

Nesse cenário, ganha relevância a sistematização de boas práticas de gestão adaptadas ao PDP de armamentos leves no contexto da BID. Tal sistemática, além de organizar e integrar as atividades de desenvolvimento, pode atuar como instrumento de padronização, treinamento, melhoria contínua e conformidade regulatória. A ausência de processos formalizados compromete eficiência e competitividade, enquanto aquelas que buscam a formalização e otimização do PDP colhem ganhos significativos em desempenho organizacional (Ulrich; Eppinger; Yang, 2019).

A formalização de uma sistemática de GPDP específica para o setor de defesa não apenas organiza e estrutura as etapas de desenvolvimento, como também promove ganhos de produtividade. Empresas que ainda operam sem uma sistemática de referência definida, mas que buscam modernizar-se e incorporar melhores práticas, podem beneficiar-se diretamente dos resultados desta pesquisa.

A presente pesquisa tem como questão-problema: Como estruturar uma sistemática de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves na Base Industrial de Defesa do Brasil, que integre práticas tradicionais e híbridas e, simultaneamente, assegure o atendimento às exigências regulatórias?

A complexidade envolvida na sistematização decorre da multiplicidade de variáveis, requisitos normativos e particularidades técnicas inerentes ao setor de defesa. Dessa forma, propõe-se a realização de uma pesquisa-ação, método adequado quando se objetiva descrever o desenvolvimento de uma série de ações no contexto real de uma organização, conforme argumentam Coughlan e Coughlan (2002) e Martins, Mello e Turrioni (2013). A pesquisa visa oferecer uma contribuição prática à gestão da inovação e ao fortalecimento da capacidade de autossuficiência tecnológica das indústrias da BID, com foco em armamentos leves.

Esta pesquisa também foi motivada pela publicação da Portaria DCT/C Ex nº 007, de 27 de janeiro de 2023, que aprova as Necessidades de Conhecimentos Específicos (NCE) da Linha de Ensino Militar Científico-Tecnológico para o ano de 2024, conforme o Plano de Cursos e Estágios em Estabelecimentos de Ensino Civis Nacionais. A solicitante da NCE, a IMBEL, demandou o desenvolvimento de pesquisa voltada ao conhecimento específico sobre

o PDP, com aplicação em armamentos leves. O pesquisador responsável por este trabalho foi designado para o Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com o propósito de atender à referida demanda institucional e contribuir para o avanço científico e tecnológico no âmbito da BID.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor uma sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, por meio da adaptação e integração de abordagens tradicionais e híbridas de desenvolvimento de produtos ao contexto da Base Industrial de Defesa (BID), contemplando as principais regulamentações brasileiras aplicáveis ao processo de homologação desses protótipos. A sistemática proposta busca aprimorar a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, tornando-o mais eficaz, eficiente e efetivo.

Com base nesse propósito, a pesquisa procura responder às seguintes questões: quais boas práticas de gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves são adequadas às fábricas da Base Industrial de Defesa, visando o aprimoramento de seus processos de desenvolvimento, e como incorporar as regulamentações brasileiras ao processo de desenvolvimento desses produtos? Espera-se que a sistemática proposta auxilie as Fábricas da Base Industrial de Defesa a serem mais assertivas no desenvolvimento de seus produtos e nas certificações relacionadas. Além disso, almeja-se que sirva como uma referência para a padronização da gestão do processo de desenvolvimento de produtos no setor de defesa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar as principais regulamentações brasileiras que regem o processo de certificação e desenvolvimento de protótipos de armamentos leves;
- Investigar modelos de referência para o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) que possam ser adaptados à realidade de empresas que desenvolvem protótipos de armamentos leves;
- Explorar possibilidades de integração entre metodologias ágeis e abordagens tradicionais, visando à construção de uma abordagem híbrida para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves.

1.3. Objeto de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa é o PDP na IMBEL. Trata-se de uma empresa pública com personalidade jurídica de direito privado, vinculada ao Ministério da Defesa por intermédio do Exército Brasileiro, conforme a Lei nº 6.227, de 14 de julho de 1975 (Brasil, 1975). A organização integra a Base Industrial de Defesa e possui unidades de produção nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Entre elas, destaca-se a Fábrica de Itajubá (FI), responsável pelo desenvolvimento e fabricação de armamentos leves. Essa unidade foi selecionada como cenário empírico do estudo por sua relevância estratégica, representatividade no setor e pela atuação direta do pesquisador na equipe de desenvolvimento de protótipos da empresa.

No contexto da pesquisa-ação, o PCE escolhido para a verificação da sistemática proposta foi o Fuzil de Alta Precisão IMBEL 308 ISR 100/18. Esse projeto encontrava-se em desenvolvimento na FI durante a execução da pesquisa. Sua seleção justifica-se por apresentar caráter inovador e estágio de maturidade adequado para a aplicação e verificação da sistemática desenvolvida. Assim, o objeto de estudo, composto pela organização IMBEL-FI e pelo projeto do fuzil de alta precisão, constitui um caso representativo e relevante para a Base Industrial de Defesa, fornecendo base empírica consistente para a formulação de uma sistemática de boas práticas voltada à gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves.

1.4. Delimitações

Por se tratar de um tema de grande amplitude, este trabalho estabelece algumas delimitações com o objetivo de manter o foco e a viabilidade da pesquisa, conforme descrito a seguir:

- Como se trata do processo de desenvolvimento de armamentos no Brasil, esta dissertação não abordará as regulamentações referentes ao desenvolvimento de armamentos em outros países;
- Devido à ampla diversidade de armamentos e de regulamentações associadas, a sistemática proposta nesta pesquisa será direcionada ao desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, portáteis ou de porte, classificados como PCE;
- Considerando que o desenvolvimento de software possui características específicas, essa tecnologia embarcada nos armamentos não será objeto de análise, restringindo-se o escopo à estrutura metalmeccânica.

- A pesquisa trata da sistematização de boas práticas de GPDP, sem aprofundar-se nas transformações digitais da Indústria 4.0, priorizando a estruturação do processo para futuras integrações tecnológicas.

1.5. Limitações

Por se tratar de um trabalho que utiliza como procedimento metodológico uma pesquisa-ação, e considerando que o ciclo de vida de um armamento é longo e complexo, seria necessário um período de tempo maior para acompanhar e verificar todas as etapas do processo de desenvolvimento.

Dessa forma, a sistemática de boas práticas proposta neste trabalho, para se adequar ao tempo disponível para a realização da pesquisa, foi limitada às fases de projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado, conforme a estrutura apresentada por Rosenfeld *et al.* (2006), especificamente até a tarefa de testar e homologar o produto.

1.6. Estrutura do trabalho

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No Capítulo 1 é apresentada a introdução ao tema de estudo, composta pela contextualização do problema, justificativa, definição dos objetivos, descrição do objeto de estudo, bem como pelas delimitações e limitações da pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, abordando os principais conceitos relacionados ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP) e à Base Industrial de Defesa (BID).

No Capítulo 3 descreve-se o método de pesquisa adotado, incluindo a classificação da pesquisa, o procedimento técnico utilizado e as etapas que orientaram a condução do estudo.

O Capítulo 4 apresenta a sistemática de boas práticas proposta para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves. Este capítulo está dividido em quatro seções: diagnóstico do marco regulatório nacional, planejamento da ação de pesquisa, implementação prática da sistemática e, por fim, avaliação do desempenho da sistemática proposta.

Finalmente, o Capítulo 5 expõe as conclusões da dissertação e propõe recomendações para pesquisas futuras.

2. Referencial Teórico

Este capítulo tem como objetivo contextualizar as áreas teóricas que orientam o presente trabalho, cujo tema central está no processo de desenvolvimento de produtos. Este estudo se justifica e se propõe a contribuir especificamente com essa temática, abordando o desenvolvimento de produtos dentro do escopo da modelagem de empresas. Para tanto, são empregados conceitos e técnicas dessa área para analisar o PDP e construir uma referência para esse processo. Considerando a ampla gama de possíveis aplicações para uma ferramenta semelhante à desenvolvida neste estudo, optou-se por restringir sua aplicação aos produtos classificados como armamentos leves, visando garantir um foco mais específico e relevante para o contexto proposto.

Dessa forma, este capítulo introduz os principais temas que fundamentam esta dissertação, com foco no PDP, no DIP e na BID. A Figura 1 apresenta uma síntese dos três grandes temas abordados.

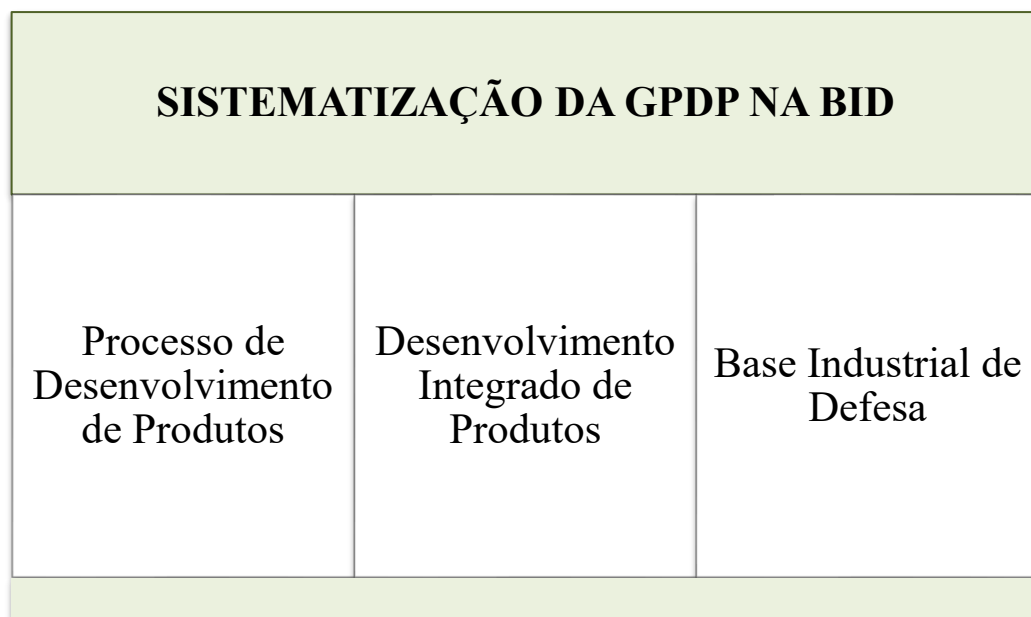


Figura 1 - Temas do Referencial Teórico

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

2.1. Processo de Desenvolvimento de Produtos

O PDP é um conjunto de atividades organizadas e inter-relacionadas que visam transformar uma ideia em um produto, considerando aspectos técnicos, mercadológicos, econômicos e estratégicos (Ulrich; Eppinger; Yang, 2019). Esta seção apresenta os conceitos fundamentais do PDP e discute contribuições recentes da literatura, abordando três aspectos essenciais para sua compreensão. O objetivo é fornecer subsídios teóricos e embasamento para

a sistematização do modelo proposto, garantindo uma abordagem coerente e fundamentada no desenvolvimento do estudo.

2.1.1. Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos

O desenvolvimento de produtos é um processo complexo que envolve diversas etapas e atividades, desde a concepção do produto até sua entrega ao cliente final. A gestão de processos de desenvolvimento de produto refere-se à metodologia utilizada para gerenciar e otimizar este processo, garantindo a eficiência, eficácia e qualidade do produto (Ulrich; Eppinger; Yang, 2019).

As definições sobre a gestão do PDP convergem para alguns princípios fundamentais:

- Estruturação do processo: a gestão do PDP deve seguir um modelo estruturado e sistemático, com fases bem definidas, como sugerem Cooper (1990) e Pahl *et al.* (2007).
- Integração multidisciplinar: a administração do desenvolvimento de produtos exige a coordenação entre diferentes áreas, como engenharia, design, manufatura e marketing (Clark; Fujimoto, 1991).
- Tomada de decisão estratégica: o PDP precisa de mecanismos para avaliação e seleção de projetos, garantindo que apenas os mais viáveis avancem, como propõe o modelo Stage-Gate de Cooper (1990).
- Otimização do tempo e custo: a gestão eficiente do PDP busca reduzir desperdícios e incertezas, acelerando o desenvolvimento sem comprometer a qualidade (Ulrich; Eppinger; Yang, 2019).
- Foco na inovação e no mercado: a administração do desenvolvimento de produtos deve garantir que os produtos finais atendam às necessidades do consumidor e sejam competitivos (Baxter, 1998).

Considerando que a sistemática proposta por este trabalho será delimitada da fase de projeto informacional até a fase de homologação do produto, a gestão do PDP pode ser abordada sob a ótica da gestão de projetos, uma vez que envolve atividades temporárias, planejadas e organizadas para alcançar um objetivo específico. Dessa forma, serão apresentados conceitos fundamentais de gestão de projetos, servindo como base para a estruturação da proposta em estudo.

A escolha da abordagem de desenvolvimento no PDP impacta diretamente a eficiência, a flexibilidade e o sucesso do projeto. Segundo o *Project Management Institute*, existem três principais abordagens de desenvolvimento para a gestão de projetos: preditiva, adaptativa e híbrida (PMI, 2021). A definição da abordagem mais adequada depende do grau de incerteza

do projeto, da complexidade do produto e das exigências regulatórias, especialmente em setores que demandam homologação, como armamentos, dispositivos médicos e equipamentos de telecomunicações.

A abordagem preditiva, também chamada de tradicional ou em cascata, ver Figura 2, caracteriza-se por um planejamento detalhado desde o início do projeto, com escopo, cronograma e custos rigidamente definidos. O desenvolvimento ocorre de maneira sequencial, passando por fases estruturadas, como viabilidade, design, construção, teste, implantação e encerramento. Esse modelo minimiza mudanças ao longo do processo e é essencial para produtos que exigem certificações rigorosas antes da comercialização. Por exemplo, no setor de defesa, o desenvolvimento de armamentos militares segue uma abordagem preditiva, pois envolve requisitos técnicos extremamente rigorosos, validações de segurança e testes de conformidade para atender às regulamentações nacionais e internacionais. Da mesma forma, a fabricação de dispositivos médicos, como marcapassos e equipamentos de diagnóstico, requer um desenvolvimento preditivo, pois esses produtos devem passar por extensos testes clínicos e certificações de órgãos reguladores antes da liberação para uso comercial (PMI, 2021).

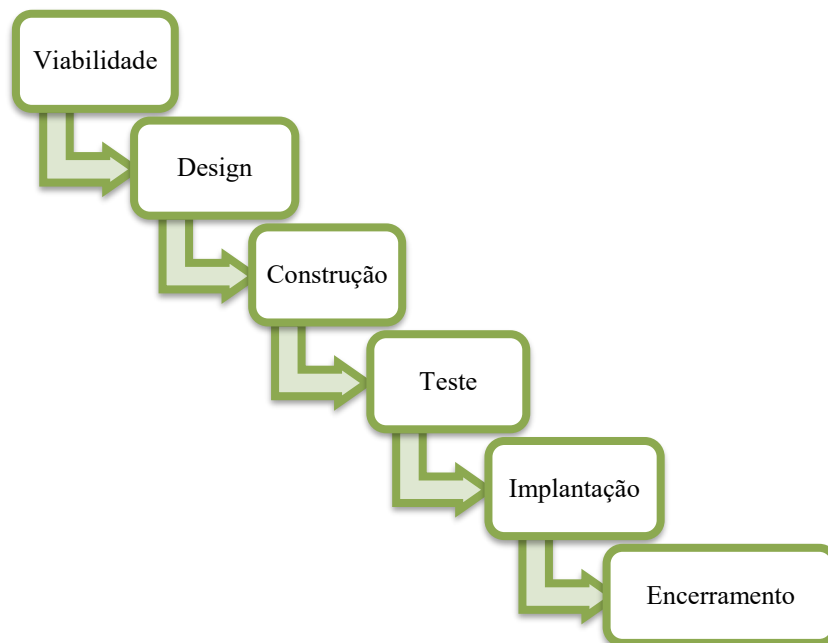


Figura 2 - Exemplo de abordagem de desenvolvimento preditivo
Fonte: Adaptado de PMI (2021)

Por outro lado, a abordagem adaptativa, também chamada de ágil, prioriza a flexibilidade e a rápida resposta a mudanças. Esse modelo permite ajustes frequentes no escopo e nos requisitos do projeto com base em testes iterativos e feedback contínuo das partes interessadas, ver Figura 3. Apesar de ser amplamente utilizada em setores de tecnologia e

inovação, a abordagem adaptativa também pode ser aplicada a produtos que exigem homologação quando há necessidade de refinamento contínuo. No setor de telecomunicações, por exemplo, softwares embarcados em drones militares ou sistemas de comunicação criptografada podem seguir um modelo ágil durante a fase de desenvolvimento, realizando testes incrementais antes da certificação final. Nesse caso, os aspectos de hardware podem seguir um modelo mais preditivo, enquanto o software é atualizado iterativamente para atender a novos requisitos regulatórios (PMI, 2021).

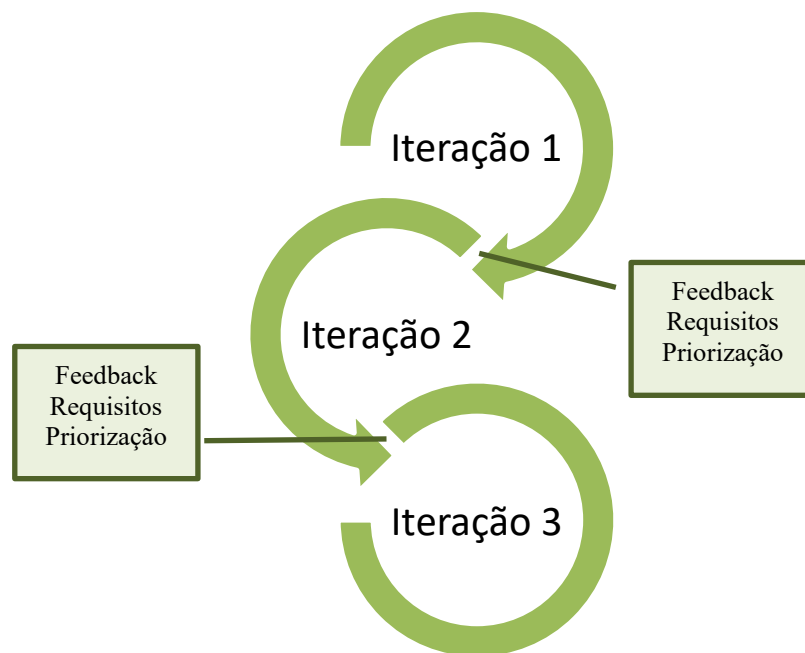


Figura 3 - Exemplo de abordagem de desenvolvimento adaptativa
Fonte: Adaptado de PMI (2021)

Além disso, a abordagem híbrida combina elementos das abordagens preditiva e adaptativa, buscando equilibrar planejamento estruturado e flexibilidade para ajustes ao longo do processo, ver Figura 4. Essa abordagem é particularmente útil em setores onde diferentes componentes do produto possuem exigências regulatórias distintas. Um exemplo prático é o desenvolvimento de aeronaves militares e veículos blindados, onde a estrutura mecânica e os sistemas de armamento precisam seguir padrões preditivos de segurança e homologação, enquanto os sistemas de controle eletrônico e software embarcado podem ser desenvolvidos de forma mais adaptativa, permitindo atualizações contínuas para otimizar o desempenho operacional (PMI, 2021).

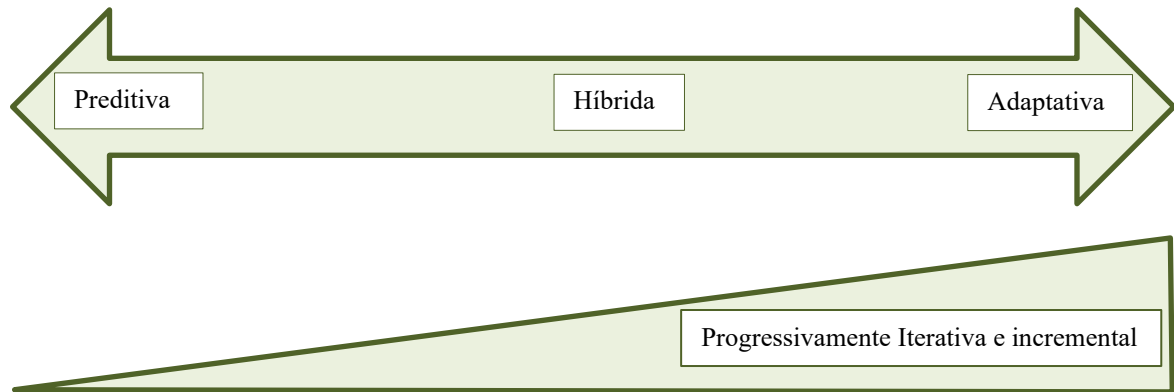


Figura 4 - Abordagem de desenvolvimento híbrida
Fonte: Adaptado de PMI (2021)

Assim, a escolha entre as abordagens preditiva, adaptativa ou híbrida deve considerar o nível de regulamentação do produto e a necessidade de flexibilidade ao longo do processo de desenvolvimento. No contexto do PDP, produtos que exigem homologação rigorosa tendem a adotar abordagens preditivas para assegurar conformidade com normas e certificações. Entretanto, modelos híbridos podem ser empregados para equilibrar rigidez regulatória e inovação, permitindo ajustes estratégicos em componentes específicos sem comprometer a segurança e a conformidade. Dessa forma, compreender e aplicar corretamente essas abordagens é essencial para garantir um desenvolvimento eficiente, estruturado e alinhado às exigências normativas.

2.1.2. Modelo de Gestão de Processo de Desenvolvimento de Produto

Os modelos de gestão do PDP são estruturas que estabelecem diretrizes sobre como as atividades de desenvolvimento devem ser planejadas, executadas e controladas. Esses modelos oferecem uma abordagem sistemática para gerenciar o processo, assegurando que os produtos sejam desenvolvidos de forma eficiente, eficaz e dentro dos prazos e custos estabelecidos (Cooper & Sommer, 2016). Segundo Amigo (2012), tais modelos podem ser classificados em genéricos e específicos, dependendo do nível de adaptação às particularidades de cada organização ou setor.

Os modelos de referência genéricos são representações estruturadas de processos de negócio que incorporam melhores práticas da área de aplicação. De acordo com Fettke e Loos (2006), esses modelos possuem um caráter prescritivo, fornecendo diretrizes amplas e generalizáveis, que podem ser ajustadas para diferentes contextos. Geralmente, os modelos genéricos são desenvolvidos por instituições especializadas, organizações de padronização ou pesquisadores reconhecidos. Exemplos notáveis incluem os modelos de Back (1983), Pugh

(1991), Clark (1992), Cooper (1993, 2017), Baxter (1998) e Rozenfeld (2006), que influenciam a forma como as empresas estruturam seus processos de desenvolvimento.

Browning, Fricke e Negele (2006) destacam que um modelo de referência genérico pode ser adaptado para atender a um contexto específico, originando um modelo de referência específico. Esse modelo pode manter seu caráter prescritivo, funcionando como uma especialização do modelo genérico, ou evoluir a partir de um modelo descritivo, baseado na observação e análise do processo real de uma organização. Os modelos específicos descritivos são particularmente úteis para compreender e aprimorar os processos existentes, capturando a forma como eles ocorrem na prática. Independentemente da origem, um modelo de referência específico serve como base fundamental para o planejamento e gerenciamento do desenvolvimento de um produto, que pode ser tratado como um projeto, conforme ilustrado na Figura 5.

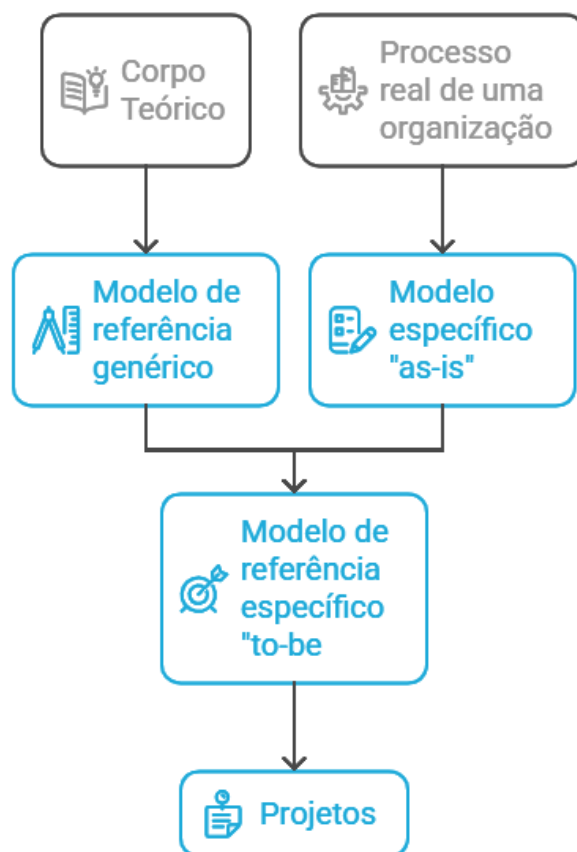


Figura 5– Relação entre modelos de referência genéricos e específicos
Fonte: Adaptado de Amigo (2012)

No Quadro 1, Vieira (2016) apresenta exemplos de modelos de referência genéricos para o PDP e sintetiza suas principais características.

Quadro 1 - Comparativo entre os modelos de PDP

Autoria	Modelo	Objetivo	Evento de Início	Evento Final
Back (1983)	Modelo de Referência de Back	Desenvolvimento integrado do projeto	Detalhamento das fases de planejamento, projeto informacional, projeto conceitual e modelagem de produtos industriais	Validação
Pugh (1991)	<i>Total design</i>	Atender a especificação técnica	Pesquisa de mercado	Venda
Clark e Wheelwright (1992)	Funil de desenvolvimento	Identificar e desenvolver as melhores oportunidades dentre um universo de possibilidades	Geração de ideias e desenvolvimentos conceituais	Sem definição precisa. Denomina-se genericamente como “embarcar”
Cooper (1993, 1994)	<i>Stage-gate</i>	Satisfazer estratégia de negócio	Geração de ideias ou descoberta, conforme a versão do modelo.	Lançamento comercial
Baxter (1998)	Processo do Projeto Conceitual	Visão de negócio, inovação, investimento, gestão e planejamento estratégico do <i>design</i>	Especificação do projeto	Projeto para fabricação
Rozenfeld <i>et al.</i> (2006)	Modelo unificado para desenvolvimento de novos produtos	Satisfazer estratégia de negócio	Necessidade demandada pelo planejamento estratégico	Descontinuação do produto
Ulrich, Eppinger e Yang (2019)	<i>Product Development Process (PDP)</i>	Organizar e padronizar o processo de desenvolvimento de produtos, tornando-o sistemático e repetível	Identificação da oportunidade	Preparação para Produção (<i>Production Ramp-Up</i>)

Fonte: Adaptado Vieira (2016)

Nas subseções a seguir, serão apresentados e conceituados os modelos que fundamentaram a construção da sistemática de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamento leve, desenvolvido neste trabalho.

2.1.2.1. Modelo *Stage-Gate*

O modelo *Stage-Gate* foi desenvolvido pelos pesquisadores Robert G. Cooper e Scott J. Edgett na segunda metade da década de 1980 e introduzido ao mercado com a publicação do livro *Winning at New Products* em 1986. Trata-se de uma abordagem estruturada e operacional para o desenvolvimento de novos produtos, permitindo que um projeto seja conduzido desde a fase de ideia até seu lançamento no mercado. O modelo organiza o desenvolvimento em fases (*stages*), intercaladas por pontos (portões) de decisão (*gates*), nos quais são realizadas avaliações gerenciais que determinam a continuidade, ajustes ou encerramento do projeto (Cooper, 1990).

Segundo Cooper (1990), o modelo *Stage-Gate* apresenta dois elementos fundamentais:

- *Stage* (fase): representa as etapas do processo em que as atividades são executadas. Nessas fases, equipes multifuncionais, lideradas por um gestor, realizam tarefas previamente definidas, muitas das quais podem ocorrer simultaneamente. A gestão de riscos é um componente essencial em cada estágio, uma vez que, à medida que o projeto avança, os custos e o comprometimento aumentam, enquanto as incertezas são gradualmente reduzidas.
- *Gate* (ponto de decisão): são pontos de controle nos quais a alta administração revisa o progresso do projeto. Nesses momentos, ocorre uma análise criteriosa baseada em métricas e indicadores de desempenho, visando determinar se o projeto deve avançar, ser ajustado ou encerrado. Além disso, os *gates* funcionam como mecanismos de priorização de projetos, permitindo a realocação de recursos conforme a necessidade.

O modelo *Stage-Gate* é uma abordagem estruturada para a gestão do PDP, amplamente utilizada para organizar, controlar e tomar decisões ao longo do ciclo de vida de um novo produto. O modelo desenvolvido por Robert G. Cooper e Scott J. Edgett possui um caráter altamente flexível e adaptável, podendo ser ajustado conforme as necessidades do projeto. Sua aplicação pode variar desde uma estrutura simplificada, com um número reduzido de fases e pontos de decisão, até uma abordagem mais robusta e detalhada, integrando ferramentas avançadas e requisitos mais complexos, conforme a exigência do setor ou do tipo de produto em desenvolvimento.

A Figura 6 ilustra um modelo estruturado com base na abordagem *Stage-Gate*, destacando suas principais fases e portões de decisão.

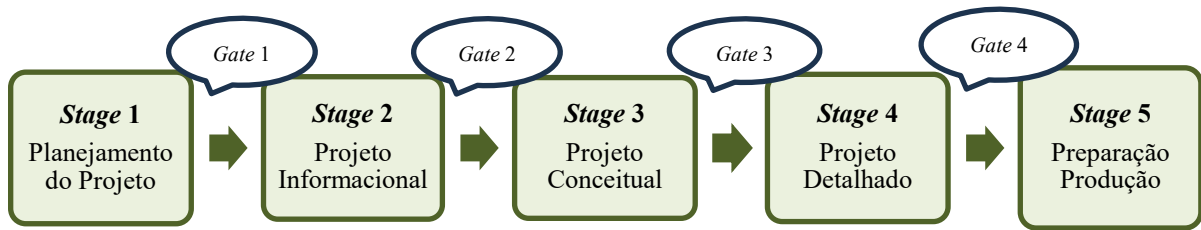


Figura 6 – Modelo estruturado com base na abordagem Stage-Gate
Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006)

2.1.2.2. Modelo Unificado de Processo de Desenvolvimento de Produto

Rozenfeld *et al.* (2006) propuseram um modelo unificado para o desenvolvimento de novos produtos, caracterizado por uma abordagem estruturada e sistemática voltada à gestão do PDP. Desenvolvido por Henrique Rozenfeld e colaboradores, esse modelo tem ampla aplicação tanto no meio acadêmico quanto no ambiente industrial, sendo utilizado para organizar, padronizar e otimizar as atividades envolvidas na criação de novos produtos. O modelo apresenta uma visão integrada do PDP, segmentando-o em fases, atividades e tarefas, com o objetivo de promover maior eficiência, assegurar a qualidade do processo e alinhar o desenvolvimento às necessidades do mercado.

Conforme ilustrado na Figura 7, o modelo estrutura o processo em fases distintas, cuja organização pode ser ajustada conforme a necessidade. Essas fases estão agrupadas em três macrofases principais: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

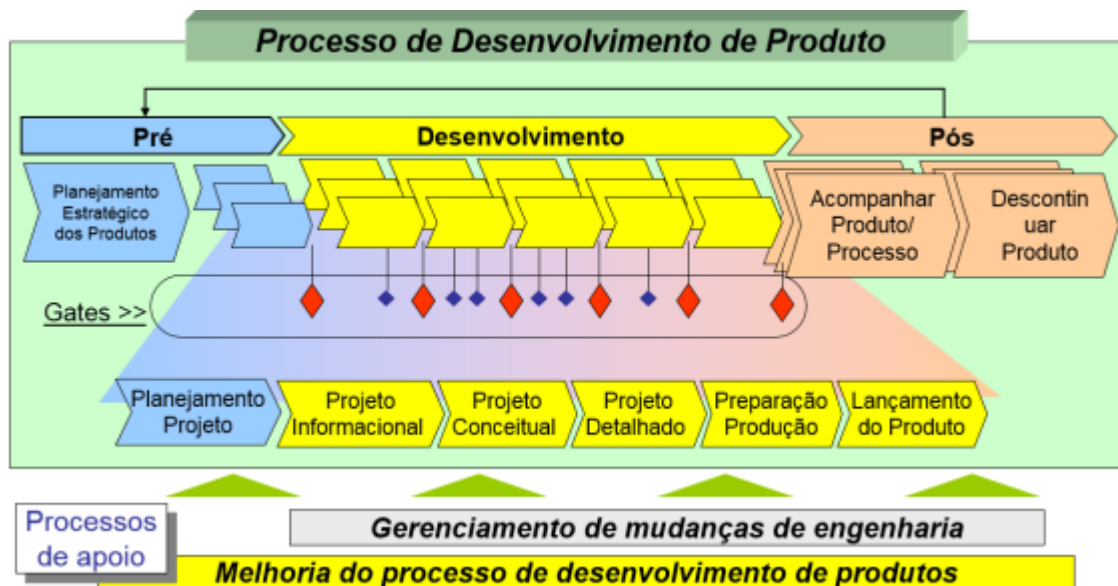


Figura 7 - Modelo Unificado de Processo de Desenvolvimento de Produto
Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

O pré-desenvolvimento compreende as fases de planejamento estratégico e planejamento do produto, tendo como principal objetivo definir o portfólio de produtos da empresa. Essa definição é baseada no planejamento estratégico organizacional, levando em consideração informações provenientes de fontes internas e externas, além da análise de oportunidades e restrições do mercado (Rozenfeld *et al.*, 2006).

A macrofase de desenvolvimento abrange todo o processo, desde a concepção do projeto até o lançamento do produto. Durante essas fases, são estabelecidas as especificações técnicas do projeto, abrangendo o produto em si, os processos de manufatura e manutenção, bem como estratégias relacionadas a vendas, distribuição e serviços pós-venda (Rosenfeld *et al.*, 2006).

Por fim, a macrofase de pós-desenvolvimento tem como função monitorar o desempenho do produto e do processo produtivo, além de gerenciar sua eventual descontinuação. Essa fase permite a identificação de possíveis melhorias no produto, nos processos de fabricação e no próprio modelo de desenvolvimento, contribuindo para a evolução contínua do PDP (Rosenfeld *et al.*, 2006).

Segundo Amaral e Rozenfeld (2008), um PDP bem estruturado pode trazer diversos benefícios, como a redução do *lead-time* de desenvolvimento, maior padronização e repetibilidade dos projetos, otimização do uso das informações, além de facilitar o treinamento de novos colaboradores e a reutilização do conhecimento adquirido em projetos anteriores. Organizar e estruturar o PDP significa estabelecer um padrão operacional dentro da empresa, garantindo que as equipes de desenvolvimento sigam diretrizes claras durante o planejamento e execução dos projetos, promovendo maior eficiência e alinhamento estratégico no desenvolvimento de novos produtos.

2.1.2.3. Modelo híbrido *Agile-Stage-Gate*

A crescente necessidade de agilidade e flexibilidade no PDP tem impulsionado a adoção de modelos híbridos que combinam metodologias ágeis com abordagens tradicionais. Entre essas alternativas, o *Agile-Stage-Gate* destaca-se como um modelo que integra os princípios da gestão ágil com a estruturação sequencial do *Stage-Gate* (Cooper; Sommer, 2016).

Os métodos ágeis de desenvolvimento foram originalmente concebidos para projetos voltados à criação de novos produtos de software. No entanto, estudos recentes indicam que essas metodologias podem ser integradas a abordagens tradicionais de *Stage-Gate*, resultando em um modelo híbrido conhecido como *Agile-Stage-Gate*. Além disso, pesquisas baseadas em experiências industriais recentes apontam que essa abordagem combinada traz benefícios

significativos para fabricantes de produtos físicos, gerando resultados altamente positivos e impactantes (Cooper; Sommer, 2016).

O modelo *Agile-Stage-Gate* mantém a estrutura geral do *Stage-Gate*, porém integra práticas ágeis dentro de cada fase do desenvolvimento, tornando o processo mais dinâmico e adaptável. A Figura 8 ilustra a aplicação dos métodos ágeis pela equipe do projeto dentro de cada estágio do *Stage-Gate*, abrangendo o planejamento, a gestão e a execução das atividades. A principal diferença entre esses dois sistemas está em seus propósitos: enquanto o *Stage-Gate* é um modelo estratégico e abrangente, que estrutura todo o processo desde a concepção da ideia até o lançamento do produto, funcionando como um mecanismo de macroplanejamento, sua versão *Agile* foca na gestão detalhada das atividades do projeto, operando em um nível de microplanejamento, com ciclos iterativos e entregas incrementais (Cooper; Sommer, 2016).

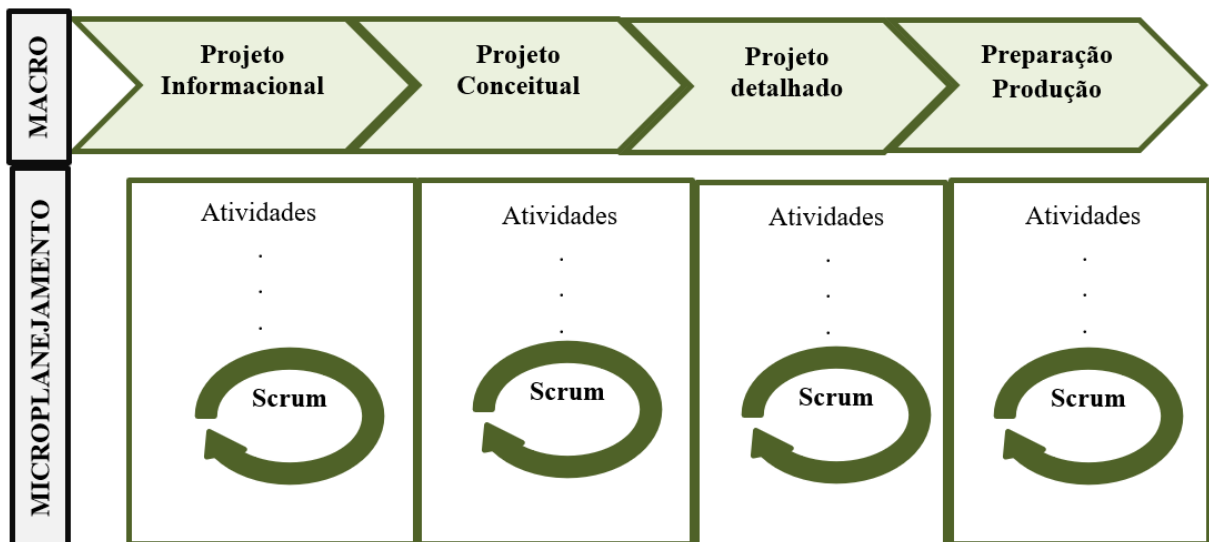


Figura 8 - O modelo híbrido integrado *Agile-Stage-Gate*

Fonte: Adaptado de Cooper (2016)

Cooper e Sommer (2016) identificam nove elementos essenciais para a implementação da abordagem ágil no modelo híbrido *Agile-Stage-Gate*, sendo eles: três artefatos, três papéis e três ferramentas.

Os artefatos ágeis fornecem a estrutura necessária para lançamentos rápidos e incrementais de produtos, organizando o trabalho em ciclos curtos e permitindo entregas contínuas de valor. O primeiro artefato, o *Sprint*, consiste em um ciclo de trabalho com duração limitada, geralmente entre duas e quatro semanas, no qual uma pequena parte do projeto é desenvolvida. Seu principal objetivo é garantir que, ao final de cada *sprint*, haja um incremento tangível do produto, pronto para ser apresentado aos clientes ou outras partes interessadas durante a revisão do *sprint*. No entanto, nem todos os *sprints* resultam em um protótipo físico;

alguns podem gerar um conceito, um design preliminar ou até mesmo os resultados de um estudo de Voz do Cliente. O segundo artefato essencial no processo ágil é o *Daily Scrum*, também chamado de *stand-up* diário, uma reunião breve realizada no início de cada dia, com duração de 10 a 15 minutos, onde a equipe compartilha atualizações sobre o progresso do projeto. Durante essa reunião, cada membro relata o que realizou no dia anterior, o que pretende fazer no dia atual e quais desafios enfrenta. Caso surjam impedimentos, eles são abordados posteriormente por meio da colaboração entre os integrantes da equipe. Essa prática promove um compartilhamento contínuo de conhecimento, além de fortalecer a motivação e o alinhamento do time. Por fim, o terceiro artefato é a Reunião Retrospectiva, realizada ao término de cada *sprint*. Ela é diferente da revisão do *sprint*, que avalia os resultados obtidos, a retrospectiva tem como foco analisar o desempenho da equipe e identificar oportunidades de melhoria no processo de trabalho. Durante essa reunião, os membros do time refletem sobre suas interações, desafios e conquistas, buscando aprimorar a colaboração interna e aperfeiçoar a dinâmica da equipe para os próximos ciclos (Cooper; Sommer, 2016).

No *Agile-Stage-Gate* três papéis fundamentais estruturam o desenvolvimento do projeto, sendo o mais importante o membro da equipe de desenvolvimento. Nesse modelo, a equipe assume total responsabilidade pela execução do projeto, tendo autonomia para definir, selecionar e distribuir atividades entre seus integrantes. Com base nas metas estabelecidas para cada *sprint*, os membros determinam as tarefas necessárias, delegam responsabilidades e realizam as atividades ao longo do ciclo. Além disso, há o papel do *Scrum Master*, que atua como facilitador e líder-serviço, garantindo que a equipe siga corretamente os princípios ágeis e utilize as ferramentas e artefatos adequados. O *scrum master* também organiza reuniões como *scrums* diários, planejamento de *sprint* e retrospectivas, além de remover obstáculos que possam comprometer o fluxo de trabalho. O terceiro papel essencial é o *Product Owner* (proprietário do produto), responsável pelo *backlog* do produto, ou seja, pela definição e priorização dos requisitos do produto. Embora não faça parte da equipe de desenvolvimento, ele trabalha em estreita colaboração com os demais integrantes para garantir que os requisitos corretos sejam incorporados ao produto e gerencia o relacionamento com *stakeholders* (partes interessadas), assegurando suporte gerencial e envolvimento do cliente. No entanto, nem todas as organizações que adotam o *Agile-Stage-Gate* implementam esses três papéis em sua totalidade, podendo adaptar ou mesclar funções tradicionais, como gerentes de projeto e líderes de equipe, conforme sua estrutura organizacional (Cooper; Sommer, 2016).

O *Agile-Stage-Gate* utiliza três ferramentas visuais essenciais para auxiliar no gerenciamento e monitoramento de projetos. A primeira é o *backlog* do produto, que equivale

à definição tradicional dos requisitos do produto, porém com maior flexibilidade. Diferente de uma especificação detalhada, o *backlog* contém necessidades, expectativas e preferências dos clientes, permitindo que a equipe tenha liberdade para explorar soluções de *design* dentro das diretrizes estabelecidas. Os itens listados são priorizados e atualizados continuamente, garantindo que os mais importantes sejam abordados primeiro. No início de cada *sprint*, a equipe realiza uma reunião de planejamento, na qual os itens de maior prioridade são transformados em tarefas bem definidas, criando assim o *backlog* do *sprint*. A segunda ferramenta é o *sprint board*, também conhecido como quadro *kanban*, que organiza as tarefas do *sprint* atual. Esse quadro pode ser físico ou virtual e, geralmente, apresenta três colunas: “a fazer”, “em andamento” e “concluído”. À medida que as atividades avançam, os cartões são movidos entre as colunas, permitindo um fluxo contínuo de trabalho. A terceira ferramenta é o gráfico de *burn-down*, utilizado para acompanhar o progresso do *sprint*, como ilustra a Figura 9. Esse gráfico exibe o número de dias do *sprint* em relação às atividades concluídas, permitindo que a equipe visualize seu desempenho ao longo do ciclo. Idealmente, a curva do gráfico deve seguir uma trajetória linear até que todas as tarefas sejam finalizadas ao final do *sprint*. Contudo, desvios podem ocorrer e são registrados diariamente, ajudando a equipe a identificar padrões e ajustar o planejamento de forma mais precisa. Inicialmente, pode haver superestimação da capacidade produtiva, mas, com o tempo, a equipe aprimora sua capacidade de planejamento e execução, resultando em maior eficiência e previsibilidade no desenvolvimento do produto (Cooper; Sommer, 2016).

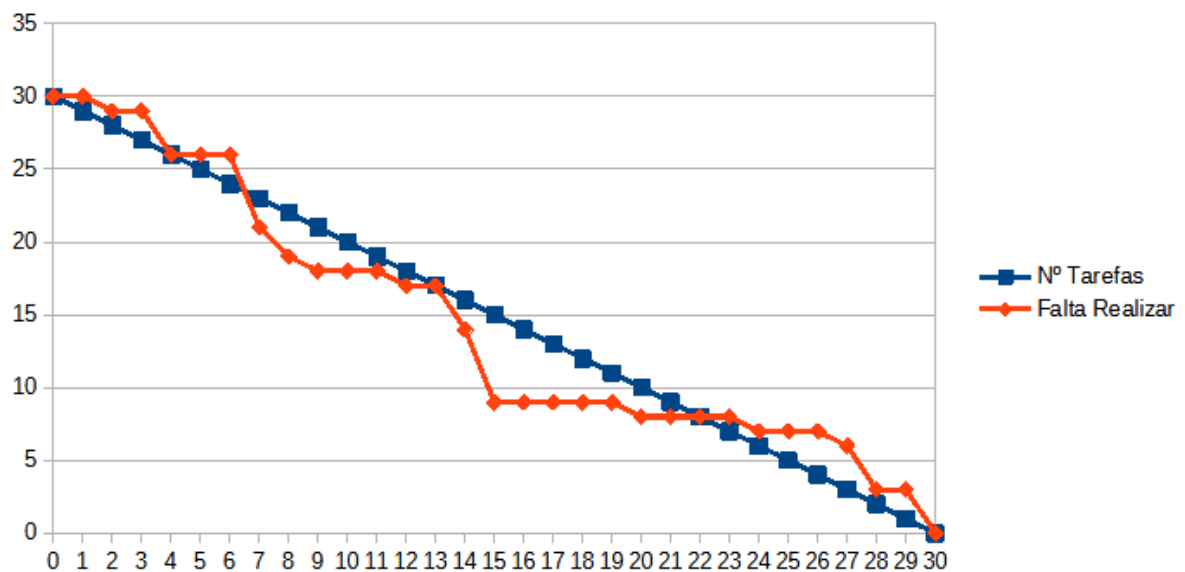


Figura 9 – Gráfico de *burndown* para um *sprint* de 30 dias

Fonte: Adaptado de Cooper e Sommer (2016)

2.1.3. Métodos, técnicas e ferramentas de projeto

As subseções a seguir apresentam os principais métodos, técnicas ou ferramentas utilizadas na abordagem tradicional e ágil, que serviram como base para a sistemática de boas práticas desenvolvida nesta dissertação.

2.1.3.1. Abordagem tradicional

Para garantir eficiência e qualidade, a abordagem tradicional emprega técnicas analíticas e preditivas no gerenciamento do desenvolvimento de produtos. A seguir, são apresentadas as principais técnicas utilizadas na sistemática sugerida nesta pesquisa: QFD (*Quality Function Deployment*), FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), DFX (*Design for X*), PLM (*Product Lifecycle Management*) e ferramentas de projeto assistido, como CAD (*Computer-Aided Design*), CAE (*Computer-Aided Engineering*) e CAM (*Computer-Aided Manufacturing*).

- O QFD é uma metodologia estruturada que visa traduzir as necessidades do cliente em requisitos técnicos ao longo do PDP. Sua aplicação permite uma abordagem sistemática, organizando informações e garantindo que a "voz do cliente" seja incorporada desde a concepção até a produção final do produto (D'Oliveira; Andrade; Silva, 2007). A principal ferramenta do QFD, a Casa da Qualidade, estabelece relações entre os desejos do consumidor e as especificações técnicas do produto, facilitando a tomada de decisões estratégicas (Francisco; Cancigliieri Junior; Sant'anna, 2020). Estudos demonstram que o uso do QFD no PDP reduz custos, evita retrabalho e melhora a satisfação do cliente, tornando o desenvolvimento mais eficiente e competitivo (Ginting; Satrio, 2020). Sua integração com outras metodologias, como FMEA e DFX, fortalece a gestão da qualidade e otimiza processos industriais, tornando-se uma ferramenta essencial para empresas inovadoras (Yan; Tu; He, 2018).
- O FMEA é uma ferramenta essencial no PDP, aplicada para identificar e mitigar potenciais falhas que possam comprometer a qualidade, confiabilidade e segurança dos produtos. Sua aplicação ocorre em três níveis: FMEA de Sistema, que analisa o produto de forma global; FMEA de Projeto, focado na concepção do produto; e FMEA de Processo, que previne falhas na produção e montagem (Tondin *et al.*, 2017). O método classifica falhas com base na severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), gerando um Índice de Prioridade de Risco para guiar ações corretivas (Moura, 2000). Sua implementação reduz custos, melhora a segurança e acelera o lançamento de novos produtos, sendo essencial para a gestão de riscos industriais (Laurenti; Villari; Rozenfeld, 2012).

- O DFX é uma abordagem que possibilita otimizações direcionadas a critérios como manufaturabilidade, montagem, confiabilidade e sustentabilidade (Kuo; Huang; Zhang, 2001). Suas principais variações incluem o *Design for Manufacturability* (DFM), que simplifica a fabricação; o *Design for Assembly* (DFA), que reduz o número de peças para otimizar a montagem; o *Design for Reliability* (DFR), que prioriza a durabilidade do produto; e o *Design for Sustainability* (DFS), que considera o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do produto (Meerkamm, 1994). Aplicado desde as fases iniciais do desenvolvimento, o DFX reduz custos, melhora a qualidade e minimiza impactos ambientais, antecipando desafios no design (Benabdellah; Zekhnini, 2021). Com a evolução da Indústria 4.0, sua integração com Big Data e Inteligência Artificial tem ampliado a eficiência no PDP, tornando as decisões mais assertivas e impulsionando a automação de processos. Estudos indicam que metodologias como o Lean Design-for-X (LDfX) contribuem para um desenvolvimento mais ágil e sustentável, incorporando modularidade e ecodesign ao processo produtivo (Baptista *et al.*, 2018).
- O PLM é uma abordagem estratégica e tecnológica que visa gerenciar de forma integrada todas as informações e processos ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a concepção até a descontinuação. Atuando como um repositório centralizado de dados, o PLM promove a colaboração entre equipes multidisciplinares, melhora a rastreabilidade e assegura a integridade das informações em cada etapa do PDP. Sua aplicação permite uma gestão eficiente de versões, requisitos, documentação técnica e processos de alteração de engenharia, otimizando a integração entre ferramentas como CAD, CAE e CAM (Stark, 2022).
- As ferramentas de projeto assistido por computador, como CAD, CAE e CAM, desempenham um papel fundamental no PDP, permitindo maior precisão, redução de custos e otimização do tempo de produção. O CAD facilita a criação e modificação de projetos em ambientes virtuais, melhorando a visualização e detalhamento das peças (Pelisser *et al.*, 2021). Já o CAE permite simulações estruturais, térmicas e fluidodinâmicas, reduzindo a necessidade de testes físicos e garantindo produtos mais confiáveis (Da Silva, 2022). O CAM, por sua vez, viabiliza a automação da fabricação, otimizando processos produtivos e garantindo alta repetibilidade e precisão (Mendonça, 2024). A integração dessas ferramentas no PDP impulsiona a agilidade, inovação e excelência na qualidade, tornando-se essencial para setores de alta complexidade e exigência, como defesa, automotivo e aeroespacial.

2.1.3.2. Abordagem ágil

A abordagem ágil, consolidada a partir do Manifesto para o Desenvolvimento Ágil de Software (Beck *et al.*, 2001), propõe um conjunto de valores e princípios que transformaram a gestão de projetos, inicialmente no contexto do desenvolvimento de software. Seus fundamentos priorizam a satisfação do cliente por meio de entregas contínuas e antecipadas de valor, a aceitação de mudanças de requisitos mesmo em estágios avançados do processo e a entrega frequente de produtos funcionais. O progresso é medido principalmente pelo produto em funcionamento, e o sucesso depende de equipes motivadas e de uma comunicação eficaz, preferencialmente face a face.

Historicamente, esses princípios ágeis, especialmente a flexibilidade diante de mudanças e a ênfase em produtos funcionais em vez de documentação extensiva, têm sido vistos como um desafio em setores altamente regulados, como no objeto deste estudo, a BID. Ambientes que exigem homologação e certificações de qualidade rigorosas tradicionalmente dependem de processos preditivos, com forte ênfase em documentação detalhada e validação sequencial.

Entretanto, as organizações raramente aplicam métodos ágeis de forma “padrão”. Em geral, elas adaptam ou combinam diferentes abordagens, frequentemente mesclando práticas ágeis e tradicionais para configurar seus próprios processos de desenvolvimento. Diversos estudos apontam uma lacuna entre a forma como os métodos ágeis são propostos e a maneira como são efetivamente executados na prática. A adoção bem-sucedida depende intrinsecamente do conhecimento tácito e das boas práticas aplicadas pelos profissionais mais experientes da organização.

Nesse contexto, o desafio não reside em escolher entre agilidade ou conformidade, mas em configurar processos ágeis que também atendam aos padrões de qualidade e certificação externa. É essencial dispor de mecanismos capazes de preservar e reutilizar sistematicamente o conhecimento especializado na configuração de processos ágeis alinhados a padrões organizacionais e regulatórios (Giachetti; De La Vara; Marín, 2023). Boas práticas são compreendidas como recomendações derivadas da experiência acumulada, que atuam como uma ponte entre os princípios ágeis e sua adaptação a contextos organizacionais e requisitos específicos de projeto, indicando como uma prática ágil deve ser ajustada para cumprir simultaneamente metas de desempenho e conformidade.

Pesquisas demonstram que é viável reutilizar esse conhecimento especializado para configurar processos de desenvolvimento ágil alinhados a certificações de qualidade. Abordagens orientadas a modelos, como a proposta por Giachetti, De La Vara e Marín (2023),

oferecem suporte automatizado para identificar, selecionar e verificar boas práticas durante a configuração de processos ágeis, assegurando sua consistência com métodos de desenvolvimento e padrões de qualidade externos.

Assim, a abordagem ágil deve ser compreendida não como um modelo fixo, mas como uma filosofia de gestão adaptável, capaz de integrar-se a modelos híbridos, como o Agile-Stage-Gate, para promover flexibilidade, aprendizado contínuo e resposta rápida, mesmo em ambientes que exigem forte conformidade regulatória e processos de homologação. *Frameworks* como *Scrum* e *Kanban*, detalhados a seguir, constituem os principais veículos para a aplicação prática desses princípios em contextos industriais regulados.

2.1.3.2.1. *Scrum*

O *Scrum* é um *framework* ágil para gerenciamento de projetos que se baseia em ciclos curtos de planejamento, nos quais a priorização e a sequência das tarefas são ajustadas progressivamente ao longo do desenvolvimento. Dessa forma, a metodologia permite entregas frequentes e de valor ao cliente, proporcionando maior flexibilidade para adaptações e reduzindo desperdícios decorrentes de planejamentos excessivamente longos (Schwaber; Sutherland, 2020).

A Figura 10 ilustra uma das principais características do *Scrum*: a clara definição de papéis, artefatos e cerimônias dentro do *framework*. A seguir, são apresentadas suas definições conforme Schwaber e Sutherland (2020).

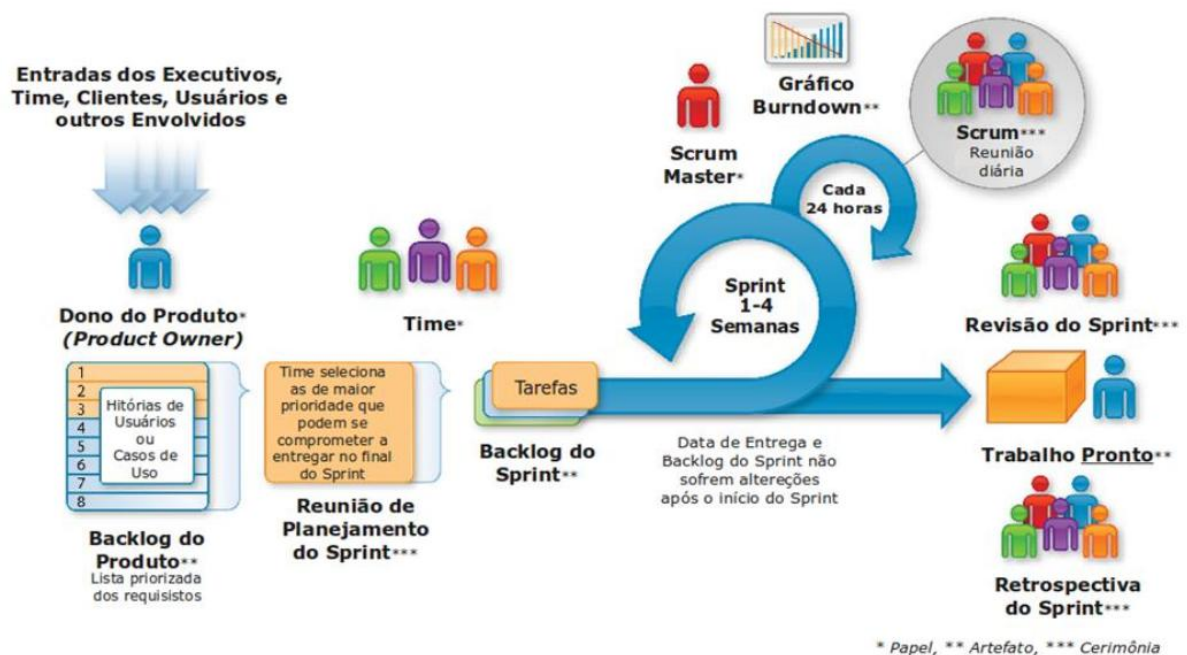


Figura 10 - Framework do método Scrum

Fonte: Rodrigues (2019)

O *Scrum Team* é a unidade central do *Scrum*, sendo composto por três papéis fundamentais: *Developers*, *Product Owner* e *Scrum Master*. Esse time é multifuncional e autogerenciável, o que significa que seus membros possuem as habilidades necessárias para desenvolver o produto e têm autonomia para decidir como o trabalho será realizado.

- *Developers*: são responsáveis pela criação dos incrementos do produto dentro de cada Sprint. Eles planejam e executam as atividades do *Sprint Backlog*, garantindo qualidade e alinhamento com a Definição de Pronto. Além disso, devem adaptar continuamente o plano conforme necessário e trabalhar de forma colaborativa para alcançar a Meta da *Sprint*.
- *Product Owner*: tem como principal responsabilidade maximizar o valor do produto, gerenciando o *Product Backlog* e garantindo que os itens estejam bem definidos, priorizados e alinhados às necessidades dos stakeholders. Ele atua como ponte entre o time de desenvolvimento e os interessados no produto, sendo a única autoridade para decidir sobre mudanças no *backlog*.
- *Scrum Master*: é o facilitador do time, garantindo que os princípios e práticas do *Scrum* sejam seguidos corretamente. Ele auxilia a equipe a remover impedimentos, promove a adoção do *Scrum* na organização e facilita os eventos *Scrum* para que sejam produtivos e eficazes.

Os eventos *Scrum* são momentos fundamentais para inspecionar e adaptar o progresso do time, garantindo transparência e colaboração contínua. Todos os eventos ocorrem dentro da *Sprint*, que é o principal ciclo de trabalho do *Scrum*.

- *Sprint*: período de tempo fixo, com duração de até um mês, no qual o *Scrum Team* trabalha para entregar um incremento do produto. Nenhuma mudança deve comprometer a Meta da *Sprint*, e todo o trabalho necessário acontece dentro desse período.
- *Sprint Planning*: planejamento da *Sprint*, onde o *Scrum Team* define quais itens do *Product Backlog* serão trabalhados e como serão desenvolvidos. Esse evento estabelece a Meta da *Sprint* e gera o *Sprint Backlog*.
- *Daily Scrum*: reunião diária de 15 minutos em que os *Developers* revisam o progresso em relação à Meta da *Sprint* e ajustam seus planos conforme necessário. Esse evento promove comunicação eficiente e rápida tomada de decisões.

- *Sprint Review*: reunião realizada ao final da *Sprint* para inspecionar o incremento desenvolvido e coletar *feedback* dos *stakeholders*. O *Product Backlog* pode ser ajustado com base nas discussões para refletir novas oportunidades e aprendizados.
- *Sprint Retrospective*: último evento da *Sprint*, no qual o *Scrum Team* analisa seu desempenho e identifica melhorias para os próximos ciclos. O objetivo é aumentar a qualidade e a eficácia do trabalho.

Os artefatos do Scrum são elementos que representam o trabalho a ser feito e fornecem transparência para que todos tenham a mesma base de entendimento.

- *Product Backlog*: lista dinâmica e ordenada de tudo que é necessário para melhorar o produto. É gerenciado pelo *Product Owner* e atualizado continuamente com base no *feedback* e novas necessidades.
- *Sprint Backlog*: conjunto de itens do *Product Backlog* selecionados para a *Sprint*, acompanhado de um plano detalhado sobre como o trabalho será realizado. Ele é atualizado diariamente pelos *Developers* conforme novos aprendizados surgem.
- Incremento: representa a soma de todos os itens concluídos em uma *Sprint*, garantindo que estejam em conformidade com a Definição de Pronto.

2.1.3.2.2. Kanban

O termo *Kanban* tem origem japonesa e significa, literalmente, “cartão” ou “sinalização”. Essa metodologia possibilita um controle da produção, fornecendo informações essenciais sobre o que, quanto e quando produzir. Além disso, o *Kanban* permite a visualização do fluxo de trabalho, facilitando o acompanhamento do andamento dos processos, especialmente em empresas que operam com produção em série.

O método *Kanban* é uma abordagem enxuta para o desenvolvimento ágil de software, criada por David J. Anderson e influenciada pelos conceitos de fluxo e eficiência de Don Reinertsen em 2010. Embora pudesse ter nomeado seu método de diversas formas, Anderson optou por *Kanban* devido à forte influência dos princípios do *Lean Manufacturing*, que enfatizam a redução de desperdícios e a melhoria contínua dos processos (Muniz; Irigoyen, 2021).

De acordo com Muniz e Irigoyen (2021), o método *Kanban* foi inicialmente desenvolvido para a indústria de software. No entanto, sua natureza adaptativa e evolutiva permitiu sua expansão para outros setores ao longo do tempo. Diversas áreas, como recursos humanos, desenvolvimento de produtos e marketing, passaram a adotar essa abordagem de gestão de fluxo em suas atividades diárias, buscando maior transparência e controle sobre os

processos. Essa ampla aplicação evidencia a escalabilidade natural do *Kanban* dentro das organizações.

O método *Kanban* contribui para o desenvolvimento de novos produtos ao priorizar quatro aspectos essenciais: fragmentação das tarefas, obtenção contínua de *feedback*, transparência no fluxo de trabalho e incentivo à experimentação. Dessa forma, evita-se a realização de análises demoradas ou a criação de um backlog excessivo, minimizando gargalos e desperdícios caso ocorra uma alteração no escopo do projeto. Além disso, o *Kanban* estimula a execução de tarefas menores, o que melhora o fluxo de produção e reduz o tempo necessário para a entrega, possibilitando um retorno mais ágil dos clientes. A metodologia também favorece a experimentação, pois permite ajustes rápidos sem demandar um alto investimento de tempo (Muniz; Irigoyen, 2021).

Anderson e Carmichael (2016) classificam os princípios do método *Kanban* em duas categorias: os princípios da gestão de mudanças e os princípios da entrega de serviços.

Na gestão de mudanças, o primeiro princípio recomenda iniciar a implementação do *Kanban* sem grandes revoluções, apenas mapeando o fluxo de valor já existente, pois cada organização tem suas particularidades. Em seguida, enfatiza-se a importância de promover mudanças de forma incremental e experimental, utilizando hipóteses baseadas na observação do sistema para otimizar processos. Nesse sentido, a prática do *Kaizen* auxilia na busca por melhorias contínuas. Além disso, o método destaca a necessidade de incentivar a liderança em todos os níveis, reconhecendo que pequenos atos de iniciativa por parte dos membros da equipe são fundamentais para impulsionar a evolução organizacional e alcançar um desempenho otimizado.

Já nos princípios da entrega de serviços, o foco central está no cliente. Para isso, é essencial compreender suas necessidades e expectativas, permitindo a criação de um sistema *Kanban* adequado à capacidade de entrega e classes de serviço necessárias. Outro princípio fundamental é gerenciar o trabalho em si, e não as pessoas, permitindo que as equipes se auto-organizem com base na visualização do fluxo de atividades. O método também reforça a importância de desenvolver políticas explícitas que orientem os processos e garantam a consistência na entrega de valor ao cliente. Essas políticas devem ser continuamente avaliadas e aprimoradas para impulsionar tanto a satisfação do cliente quanto os resultados do negócio.

Muniz e Irigoyen (2021) destacam seis práticas fundamentais do *Kanban* e apresentam suas principais características na Figura 11.

- Visualizar o fluxo de trabalho: o processo deve ser dividido em etapas, representando cada atividade com cartões ou *post-its*. Nomear colunas auxilia na identificação do

status de cada item e permite uma visão clara das tarefas em andamento, facilitando a participação dos envolvidos na cadeia de valor.

- Limitar o trabalho em progresso: restringir a quantidade de tarefas simultâneas evita sobrecarga, reduz o tempo de finalização de cada item e mantém o *lead time* estável. Quanto mais itens em andamento, maior será o tempo de entrega, por isso é essencial definir limites explícitos para cada etapa, exceto a última.
- Tornar as políticas do processo explícitas: para garantir melhorias, é fundamental documentar e compartilhar as regras, papéis e definições do processo. A transparência assegura que todos compreendam como o fluxo de trabalho opera e qual é sua real estrutura.
- Medir e gerenciar o fluxo: após estabelecer os limites do trabalho em progresso e tornar as políticas explícitas, deve-se acompanhar o tempo necessário para concluir cada atividade. A remoção de bloqueios e a coleta de métricas são essenciais para identificar gargalos e otimizar o desempenho do fluxo de trabalho.
- Implementar mecanismos de *feedback*: ajustar reuniões e introduzir ciclos de *feedback* contínuos (cadências do *Kanban*) acelera a entrega de valor. Comparar resultados esperados com os obtidos permite ajustes no processo, garantindo melhorias constantes sem atribuição de culpa individual.
- Melhorar colaborativamente e evoluir experimentalmente: a partir da identificação de problemas, deve-se aplicar a filosofia *Kaizen*, promovendo pequenas mudanças graduais no fluxo de trabalho. Isso reduz a resistência à mudança e envolve emocionalmente a equipe na busca por melhorias contínuas.

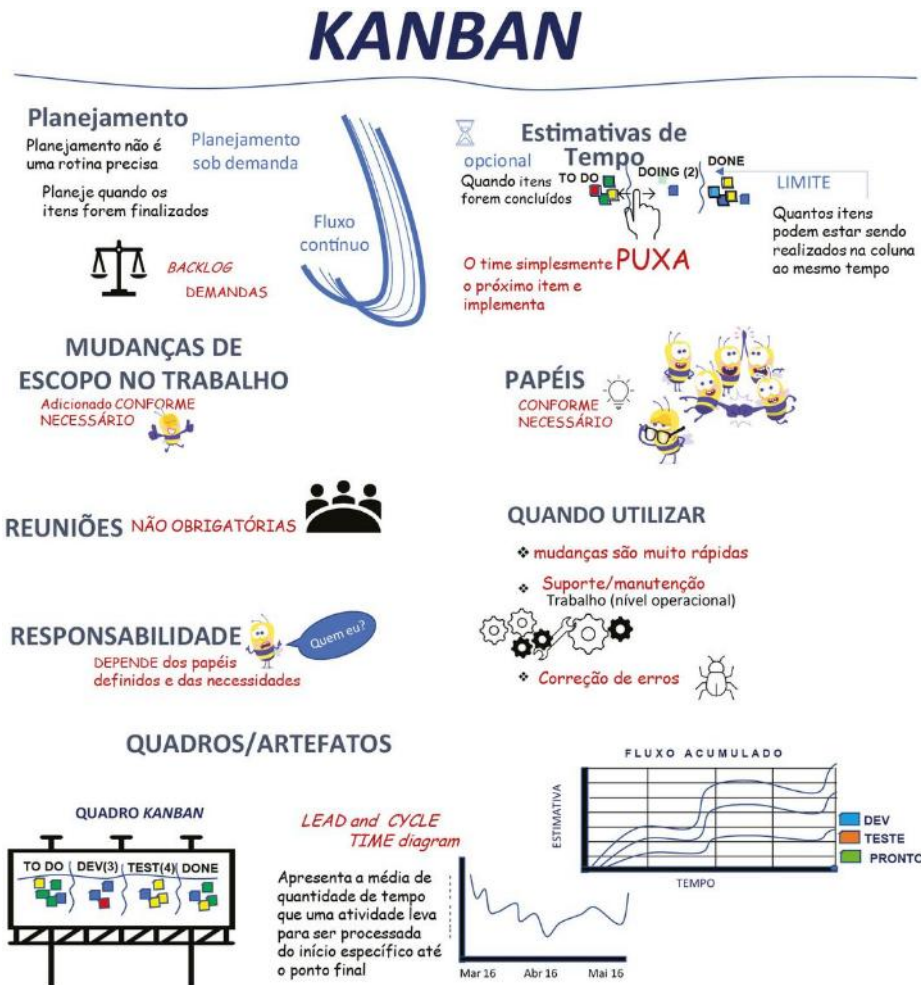


Figura 11 – Abordagem Kanban e suas características

Fonte: Muniz e Irigoyen (2021)

Muniz e Irigoyen (2021) observam que o quadro *Kanban* ganhou grande destaque com a ascensão do *framework Scrum*. Nesse contexto, ele é empregado para visualizar o progresso das atividades, ver Figura 12. No entanto, os autores ressaltam que, em sua essência, o quadro *Kanban* é simplesmente um quadro de tarefas, onde os cartões *Kanbans* indicam o andamento das atividades, sendo uma ferramenta amplamente utilizada para a gestão visual de tarefas.

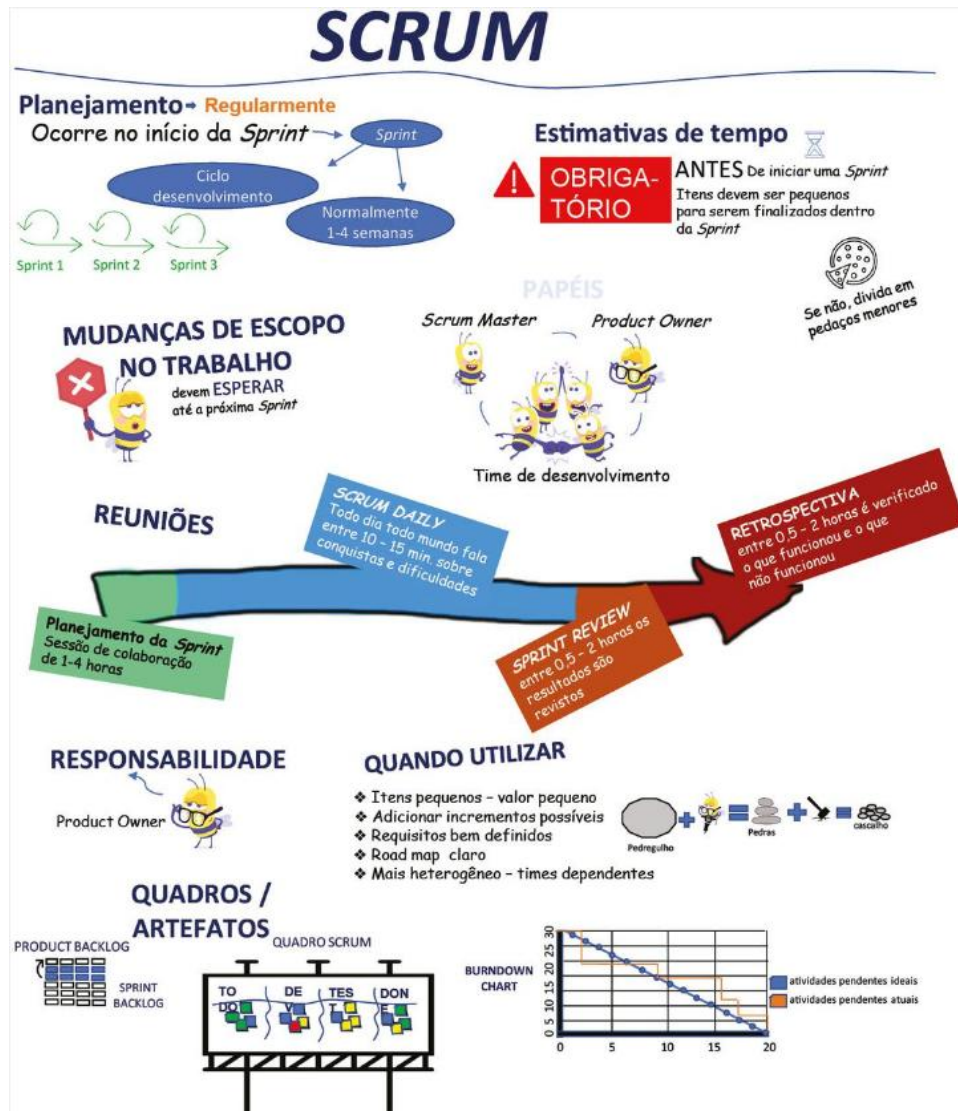


Figura 12– Abordagem *Scrum* e suas características

Fonte: Muniz e Irigoyen (2021)

2.2. Desenvolvimento Integrado de Produtos

O DIP consiste na cooperação e integração de diversas áreas e funções dentro de uma empresa, com o objetivo de estabelecer um processo contínuo de criação de produtos e sistemas de manufatura. Essa abordagem colaborativa busca aprimorar tanto o ciclo de vida do produto quanto o da fábrica, tornando o processo de desenvolvimento mais ágil, eficiente e inovador. Além disso, possibilita a identificação de tendências e a inovação em serviços, garantindo uma posição estratégica no mercado e atendendo às expectativas dos consumidores. Para fortalecer essa colaboração entre as diferentes áreas organizacionais no desenvolvimento de produtos, podem ser implementados modelos de plataformas integradas, promovendo maior alinhamento e sinergia entre os processos (Disselkamp *et al.*, 2023).

Rosenfeld *et al.* (2006), em seu Modelo Unificado de Processo de Desenvolvimento de Produto, propõem diversas áreas de conhecimento essenciais para a estruturação e execução eficiente do processo. Entre elas, destacam-se: gestão de projetos, meio ambiente, marketing, engenharia de produto, engenharia de processo, produção, suprimentos, qualidade e custos. Cada uma dessas áreas aborda temas específicos que orientam as atividades dentro do modelo, conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Temas e Atividades por Área de Conhecimento

ÁREA DE CONHECIMENTO	TEMAS/ATIVIDADES TÍPICAS
Gestão de projetos	Definição de escopo, tempo, recursos humanos, sua qualificação e controle das atividades.
Meio ambiente	Sustentabilidade, reuso, remanufatura, reciclagem, reutilização de material, descarte.
Marketing	Relacionamento com o mercado, como levantamento de necessidades, inserção e avaliação dos produtos no mercado, e vigilância tecnológica.
Engenharia de produto	Soluções de estilo, de material, funcionais, estruturais, de comportamento do produto, integração de tecnologia, etc.
Engenharia de processo	Processos e operações de fabricação e montagem, especificação e projeto de recursos de manufatura.
Produção	Atividades que consideram a manufatura dos produtos em desenvolvimento.
Suprimentos	Envolve as atividades de relacionamento com os parceiros, fornecedores, clientes da cadeia de suprimentos e o projeto da logística para viabilizar a produção.
Qualidade	Gestão constante dos requisitos dos produtos, mas cobre também o acompanhamento da qualidade dos processos de negócio resultantes do desenvolvimento de produtos e a qualidade dos produtos no mercado após o seu lançamento.
Custos	Definições de preços e custos-alvo, elaboração do orçamento, estudos de viabilidade e o monitoramento constante dessas informações.

Fonte: Adaptado Rosenfeld *et al.* (2006)

2.2.1. Gestão de projetos no DIP

A gestão de projetos no desenvolvimento de novos produtos envolve diversas tarefas estruturadas para garantir que o processo ocorra de maneira eficiente e alinhada aos objetivos estratégicos da empresa. Entre as principais tarefas, destacam-se a definição clara do escopo, onde são estabelecidos os requisitos do produto e os critérios de sucesso, e a elaboração do cronograma, que organiza as fases do projeto, distribuindo atividades e recursos de forma otimizada (Pons, 2008). Além disso, a gestão de riscos é essencial para identificar e mitigar incertezas que possam impactar o desempenho do projeto, utilizando ferramentas como análise SWOT e matriz de probabilidade e impacto (Sónta-Draczkowska; Mrowka, 2020).

Outra tarefa fundamental é a coordenação de equipes multidisciplinares, garantindo comunicação eficaz entre diferentes áreas, como engenharia, produção, qualidade e marketing, para evitar desalinhamentos e retrabalhos. O monitoramento e controle do projeto também são essenciais, envolvendo a medição contínua do progresso com indicadores de desempenho,

permitindo ajustes estratégicos ao longo do ciclo de desenvolvimento. Por fim, a gestão de stakeholders assegura o envolvimento de todas as partes interessadas, promovendo alinhamento entre expectativas e entregas, além da documentação e aprendizado organizacional, que possibilitam a melhoria contínua dos processos de inovação (PMI, 2017).

2.2.2. Meio ambiente no DIP

O DIP exige a consideração de aspectos ambientais desde as fases iniciais do processo, garantindo conformidade com regulamentações e promovendo a sustentabilidade. A área ambiental desempenha um papel essencial ao avaliar impactos ecológicos ao longo do ciclo de vida do produto, integrando práticas como a Análise do Ciclo de Vida, a escolha de materiais de menor impacto ambiental e a definição de processos produtivos ecoeficientes. Essas iniciativas não apenas minimizam os impactos ambientais, mas também agregam valor competitivo às empresas, que passam a atender às exigências de um mercado cada vez mais voltado à sustentabilidade (Kalish *et al.*, 2018).

As principais tarefas da área ambiental no DIP incluem a identificação de requisitos ambientais e regulatórios, a implementação de estratégias de economia circular e a gestão de resíduos, assegurando que os produtos sejam projetados para reutilização, reciclagem ou descarte responsável. Além disso, busca-se a otimização do uso de recursos naturais, reduzindo o consumo de energia e água e minimizando emissões poluentes. Com isso, as empresas não apenas mitigam riscos ambientais e regulatórios, mas também se posicionam estrategicamente no mercado ao oferecer produtos inovadores e sustentáveis, alinhados às demandas sociais e ambientais contemporâneas (Fernandes; Canciglieri Júnior; Sant'anna, 2017).

2.2.3. Marketing no DIP

A área de marketing exerce papel estratégico no PDP, funcionando como elo entre o mercado e os setores técnicos da organização. Sua atuação é fundamental para assegurar que as soluções tecnológicas concebidas estejam alinhadas às reais necessidades dos consumidores. De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), o marketing participa desde as etapas iniciais do PDP, sendo responsável pela identificação de oportunidades, definição de segmentos-alvo e coleta de requisitos dos clientes. Essa contribuição inicial estabelece uma base mercadológica sólida para o desenvolvimento, influenciando diretamente a definição do escopo e das especificações do produto.

Complementando essa perspectiva, Rozenfeld *et al.* (2006) aponta que o marketing desempenha três funções essenciais no desenvolvimento de novos produtos: compreender e

traduzir as necessidades dos clientes em requisitos técnicos; apoiar na definição do posicionamento estratégico e diferenciais competitivos; e coordenar ações de lançamento e comunicação. Além disso, ressalta-se que essa área contribui na análise do ciclo de vida do produto, estimativas de demanda e definição do mix de produto — elementos decisivos para o planejamento de portfólio e definição do *roadmap* tecnológico. Assim, o marketing atua de forma transversal e integrada, potencializando o sucesso do novo produto no mercado.

2.2.4. Engenharia de produto no DIP

A Engenharia de Produto exerce um papel estratégico no DIP, atuando como elo entre as demandas do mercado, os requisitos dos clientes e as limitações técnicas e produtivas da organização, com foco em soluções inovadoras, viáveis e competitivas. Conforme Rozenfeld *et al.* (2006), essa área tem como principal função a definição técnica do produto, abrangendo o projeto de componentes, a seleção de materiais, a análise de viabilidade técnica e a preparação para a manufatura. Entre suas atividades essenciais destacam-se a especificação de requisitos técnicos, o desenvolvimento de protótipos virtuais e físicos, a realização de testes e validações e a integração entre projeto e processo produtivo. A Engenharia de Produto é especialmente relevante nas transições entre as fases de concepção, detalhamento e industrialização, assegurando a coerência técnica e a sustentabilidade das decisões ao longo do ciclo de vida do produto.

Complementarmente, Toledo *et al.* (2008) enfatizam que essa área deve garantir a convergência entre as exigências do cliente, os parâmetros de projeto e as capacidades produtivas, o que demanda o uso de ferramentas especializadas como CAD/CAE/CAM, DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) e métodos de projeto robusto. Práticas avançadas como engenharia simultânea, modularidade e uso de plataformas de produto também são destacadas na literatura por sua contribuição à customização em massa e à redução do tempo de desenvolvimento (Back *et al.*, 2008). Em ambientes empresariais com elevada maturidade em DIP, a Engenharia de Produto também lidera iniciativas de *codesign* com clientes e fornecedores, aplicando métodos como QFD e análise funcional para alinhar expectativas e requisitos técnicos. A gestão eficaz dessas atividades exige processos estruturados para o controle de cronogramas, custos e mudanças de engenharia, consolidando a Engenharia de Produto como componente central na governança do desenvolvimento de novos produtos.

2.2.5. Engenharia de processos no DIP

A Engenharia de Processos exerce papel estratégico ao atuar como elo entre o projeto do produto e sua viabilização produtiva. No contexto da gestão do PDP, essa área de conhecimento é essencial para assegurar a capacidade de fabricação, montagem, confiabilidade e custos competitivos, desde as fases iniciais do desenvolvimento. Seu envolvimento precoce no DIP contribui para a sinergia entre as funções de projeto e manufatura, evitando retrabalhos e assegurando uma transição eficiente do produto para a produção em escala (Rozenfeld *et al.*, 2006). A integração antecipada da Engenharia de Processos também permite a identificação e mitigação de riscos de manufaturabilidade por meio de abordagens como DFM e DFA, fortalecidas pela filosofia da engenharia simultânea, que promove a colaboração entre projeto, processo e produção (Rihar; Zuzek; Kusar, 2021).

As principais atividades e tarefas da Engenharia de Processos no PDP incluem a participação na definição de especificações técnicas e requisitos de processo, o desenvolvimento e validação dos processos de fabricação e montagem, a análise de viabilidade técnica e econômica, além da elaboração de fluxogramas e instruções de trabalho. Também são responsabilidades dessa área o dimensionamento de recursos produtivos, o planejamento do layout fabril e da capacidade de produção, bem como a atuação em análises de risco e definição de planos de controle. Ao assumir essas funções, a Engenharia de Processos assegura que o projeto do produto esteja alinhado com as tecnologias produtivas disponíveis, promovendo soluções que otimizem a eficiência fabril sem comprometer os requisitos técnicos e funcionais do produto (Aho; Uden, 2013).

O modelo proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), amplamente adotado na indústria brasileira, posiciona a Engenharia de Processos como uma função fundamental dentro das equipes multifuncionais de desenvolvimento de produtos, atribuindo-lhe a responsabilidade de orientar tecnicamente a industrialização desde as fases iniciais do projeto conceitual. Essa atuação integrada permite antecipar decisões críticas relacionadas à viabilidade produtiva, o que favorece a redução do tempo de lançamento no mercado, a elevação dos padrões de qualidade e a otimização dos custos ao longo de todo o ciclo de vida do produto (Ulrich; Eppinger; Yang, 2019).

2.2.6. Produção no DIP

A área de Produção atua de forma proativa desde as fases iniciais do processo, com o objetivo de garantir que o produto seja concebido de modo a facilitar sua futura fabricação, com

foco em custo, qualidade, prazo e viabilidade técnica (Rozenfeld *et al.*, 2006). Ao integrar-se precocemente com as demais áreas, a Produção viabiliza a aplicação da engenharia simultânea, promovendo a concepção colaborativa entre projeto e manufatura. Essa abordagem permite antecipar e mitigar riscos produtivos, reduzindo retrabalhos, evitando atrasos e aumentando a robustez das soluções desenvolvidas (Rihar; Zuzek; Kusar, 2021).

No nível estratégico, a Produção contribui ativamente com a definição de processos e tecnologias de fabricação, análise da capacidade instalada, estudos de *make-or-buy*, planejamento de *layout* e fluxo produtivo, além da especificação de investimentos necessários. Também participa de análises de valor e do ciclo de vida do produto, colaborando na definição de produtos otimizados para fabricação e montagem, conforme os princípios de DFMA (Barbosa, 2007). No âmbito tático e operacional, destacam-se tarefas como o planejamento e execução de protótipos e lotes-piloto, testes de manufaturabilidade, elaboração de documentação técnica de processos, desenvolvimento de dispositivos de produção e preparação da linha fabril para o *ramp-up* (Barbosa, 2007).

A ausência ou a participação tardia da Produção pode resultar em decisões de projeto desalinhadas com a realidade fabril, gerando ineficiências, elevação de custos e atrasos no lançamento. Assim, sua integração contínua e estruturada desde a concepção até a industrialização é condição essencial para o sucesso do desenvolvimento de produtos (Rihar; Zuzek; Kusar, 2021).

2.2.7. Suprimento no DIP

A área de Suprimentos, tradicionalmente associada à aquisição de materiais e à negociação com fornecedores, tem expandido seu papel estratégico no contexto do DIP. No âmbito da gestão do PDP, a integração precoce da função de Suprimentos é fundamental para garantir a viabilidade técnica, econômica e logística do produto ao longo de seu ciclo de vida. Ao participar desde as etapas iniciais do desenvolvimento, Suprimentos contribui de forma ativa na definição de especificações, seleção de tecnologias e fornecedores, bem como na mitigação de riscos relacionados ao abastecimento (Rozenfeld *et al.*, 2006).

As principais atividades dessa área no PDP envolvem a análise de viabilidade de fornecimento, identificação de fornecedores estratégicos, apoio à engenharia na escolha de materiais e componentes, além da negociação de prazos e custos preliminares. Essas ações permitem antecipar gargalos e influenciar decisões críticas na fase de projeto, impactando diretamente na manufaturabilidade e na competitividade do produto. Tarefas como homologação de fornecedores com competências tecnológicas compatíveis, avaliação de lead

times, participação em análises de custo-alvo e integração em equipes multifuncionais são fundamentais para o alinhamento do suprimento ao cronograma e às metas de desempenho do produto (Monczka *et al.*, 2021).

A literatura ressalta ainda que práticas como o *early supplier involvement* favorecem a inovação e a qualidade, ao permitirem que fornecedores contribuam com conhecimento técnico e soluções desde a concepção do produto (Dourado; Ferreira; Silva, 2024). Para que essa abordagem seja efetiva, é imprescindível que a função de Suprimentos esteja institucionalmente integrada ao processo de desenvolvimento, com presença formal nas equipes de projeto e influência nas decisões estratégicas.

2.2.8. Qualidade no DIP

A área da Qualidade exerce papel essencial no DIP, assegurando que os produtos atendam tanto às expectativas dos clientes quanto aos requisitos normativos e regulamentares. Além de garantir a conformidade, a Qualidade impulsiona a melhoria contínua dos processos, promovendo eficiência e competitividade. Esse papel envolve a definição de padrões e critérios de desempenho, a estruturação de sistemas de gestão como a ISO 9001, e a disseminação da cultura de qualidade ao longo de todo o ciclo de vida do produto (Rozenfeld *et al.*, 2006).

As principais atividades da Qualidade no DIP abrangem o planejamento, controle, garantia e melhoria da qualidade. O planejamento define objetivos e processos críticos; o controle monitora e mede o desempenho dos produtos e processos; a garantia assegura que os requisitos de qualidade sejam incorporados às etapas de desenvolvimento; e a melhoria contínua busca oportunidades sistemáticas de aperfeiçoamento (Goetsch; Davis, 2014). Para isso, ferramentas como QFD, FMEA e CEP (Controle Estatístico de Processo) são aplicadas para reduzir riscos e aumentar a confiabilidade dos produtos.

As tarefas operacionais da Qualidade incluem a análise de requisitos dos clientes, a realização de auditorias internas e externas, a gestão de riscos que possam comprometer o desempenho do produto e a capacitação contínua das equipes envolvidas. Essas ações sustentam uma abordagem preventiva, orientada por dados, que fortalece a robustez técnica do projeto e assegura que o produto final esteja alinhado com os objetivos estratégicos da organização (Goetsch; Davis, 2014).

2.2.9. Custo no DIP

A gestão de custos no desenvolvimento de produtos tem como objetivo central assegurar que os projetos sejam conduzidos dentro dos limites orçamentários, sem comprometer a

qualidade, a funcionalidade ou a competitividade. Essa prática permite a predição e o controle dos custos desde os estágios iniciais, sendo essencial para embasar decisões estratégicas (Rozenfeld *et al.*, 2006). Ullman (2010) destaca que cerca de 75% dos custos totais de um produto são determinados nas fases iniciais do processo de desenvolvimento, Figura 13, o que evidencia a necessidade de integrar a área de custos desde o planejamento e concepção. Assim, a gestão de custos torna-se um elemento estruturante para a viabilidade econômica do produto.

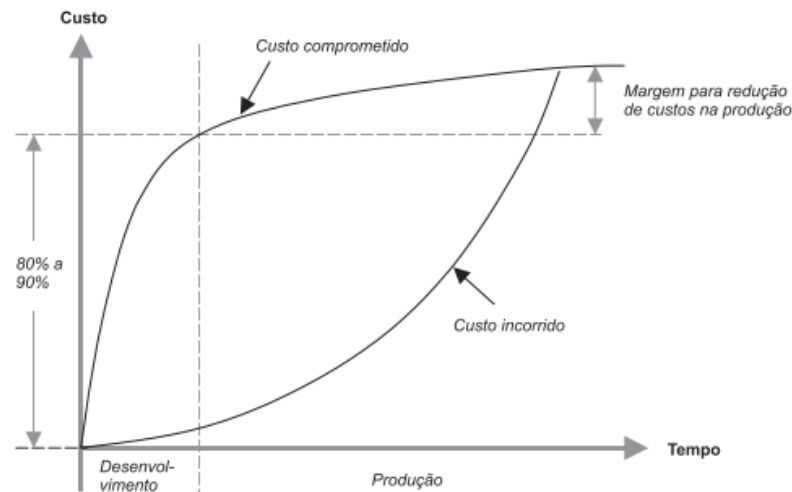


Figura 13 – Curva de comprometimento do custo do produto

Fonte: Rosenfeld *et al.* (2006)

Essa área de conhecimento abrange um conjunto de atividades distribuídas ao longo do PDP, como estimativas de custo, análise de valor, custeio-alvo e engenharia de valor (Back *et al.*, 2008). No contexto do desenvolvimento integrado, a equipe responsável pela gestão de custos executa tarefas específicas como: definição da estrutura de desdobramento de custos, elaboração de modelos paramétricos, análise *make-or-buy*, monitoramento contínuo de gastos e identificação de oportunidades de redução (Rozenfeld *et al.*, 2006). Tais atividades contribuem para a construção de um sistema de gestão mais robusto e alinhado com os objetivos estratégicos da organização.

Para operacionalizar essas tarefas, diferentes métodos e ferramentas são empregados. Destacam-se o *Design to Cost*, a Análise do Custo do Ciclo de Vida, o *Activity-Based Costing* e o Desdobramento da Função Qualidade. Tais abordagens permitem que decisões técnicas sejam orientadas por critérios econômicos e de valor (Niazi *et al.*, 2006). Conforme ressaltado por Rozenfeld *et al.* (2006), a gestão eficaz dos custos no desenvolvimento de produtos não se limita à redução de despesas, mas busca utilizar os recursos de forma estratégica e eficiente, com o objetivo de ampliar o valor gerado tanto para o cliente quanto para a organização. Essa

visão reforça o caráter estratégico da gestão de custos como diferencial competitivo no desenvolvimento de produtos contemporâneos.

2.3. Base Industrial de Defesa

Este estudo adota o conceito de BID conforme definido pela Presidência da República do Brasil. A BID é composta por órgãos e entidades, tanto públicos quanto privados, civis e militares, que, em conformidade com a legislação brasileira, se dedicam à realização ou condução de atividades como pesquisa, desenvolvimento, projetos, industrialização, produção, reparo, conservação, modernização, integração, desativação e outras etapas relacionadas aos bens e serviços voltados à defesa (Brasil, 2022). Esses bens e serviços englobam produtos, informações, obras ou atividades que, pelas suas características, contribuam para os objetivos de segurança ou defesa nacional, excluindo aqueles destinados a fins administrativos (Brasil, 2022). Além disso, conforme Brasil (2022), a BID inclui empresas certificadas como Empresas de Defesa, Empresas Estratégicas de Defesa, bem como órgãos e entidades públicas e privadas envolvidos no desenvolvimento ou produção de bens e serviços voltados à defesa.

Para apresentar a BID, este estudo segue a classificação proposta por Negrete *et al.* (2016), que organiza a BID em oito categorias: armas, munições leves e pesadas, e explosivos; sistemas eletrônicos e de comando e controle; plataformas navais militares; propulsão nuclear; plataformas terrestres militares; plataformas aeronáuticas militares; sistemas espaciais voltados para defesa; e equipamentos de uso individual. Essa estrutura foi escolhida por oferecer uma referência consistente para compreender os produtos que caracterizam cada segmento. Contudo, vale ressaltar que a definição dessas categorias é objeto de debate na literatura especializada.

2.3.1. Armas e Munições Leves e Pesadas e Explosivos

A classificação de armas como leves ou pesadas depende do contexto de seu uso militar. A DFPC define armas pesadas como aquelas utilizadas em operações militares que beneficiam grupos de combate, destacando-se por seu alto poder destrutivo e pela utilização de dispositivos de lançamento ou cargas de projeção robustas (Brasil, 2000). Para a Marinha do Brasil, armas pesadas são as que possuem calibre igual ou superior a 0,60 polegadas (15,24 mm), enquanto a Organização das Nações Unidas (ONU) considera como armas pesadas aquelas com calibre superior a 100 mm (Negrete *et al.*, 2016). Em ambas as definições, incluem-se equipamentos como morteiros, canhões, obuses e foguetes.

Quanto às armas leves, a Marinha do Brasil as define como aquelas com calibre de até 15,24 mm, e a ONU as descreve, de modo geral, como armamentos projetados para uso individual. Esse grupo abrange revólveres, pistolas semiautomáticas, espingardas, carabinas, rifles de assalto, metralhadoras leves e metralhadoras portáteis (Negrete *et al.*, 2016).

Munições, por sua vez, consistem em cartuchos e seus componentes, como balas ou projéteis, cápsulas e propulsores utilizados em armas. Segundo definição oficial (Brasil, 2016), o termo abrange cartuchos, mísseis, foguetes, bombas, granadas e artefatos semelhantes. Já explosivos são definidos como substâncias ou misturas que, sob estímulos externos, podem desencadear reações químicas violentas, liberando gases em alta temperatura e pressão, o que resulta em efeitos mecânicos destrutivos.

2.3.2. Sistemas Eletrônicos e Sistemas de Comando e Controle

Negrete *et al.* (2016), em seu mapeamento, considera como segmento de sistemas eletrônicos e de comando e controle da BID, os equipamentos elétricos, eletrônicos, ópticos, optrônicos e de comunicações utilizados no setor de defesa e segurança. Exemplos desses equipamentos incluem radares, rádios de comunicação, sensores, óculos de visão noturna, câmeras, sistemas eletrônicos de controle de tiro e mísseis, além de outros equipamentos eletrônicos utilizados em carros de combate, aeronaves e navios, e dispositivos de guerra eletrônica.

2.3.3. Plataforma Naval Militar

Segundo Negrete *et al.* (2016), a indústria naval engloba a produção de embarcações e veículos aquáticos, abrangendo desde navios de apoio marítimo e portuário, petroleiros, graneleiros, porta-contêineres e comboios fluviais até a construção de estaleiros, plataformas e sondas para exploração de petróleo em alto-mar, além da rede de fornecimento de navieças. Suas atividades se dividem em três grupos principais: o primeiro inclui produtos como armamentos, materiais de transporte e equipamentos para exploração de petróleo; o segundo abrange componentes e peças fabricados pelo setor de navieças, bem como atividades realizadas diretamente no navio, como conversões, reparos, upgrades e desmontes ao final da vida útil; e o terceiro refere-se à construção naval, frequentemente tratada como sinônimo de indústria naval, que se subdivide em transportes marítimos, classificados pelo tipo de carga (granéis ou geral), e *offshore*. No segmento militar, relacionado à BID, o foco está nos navios de guerra, cuja definição é orientada pelo planejamento estratégico naval alinhado à Estratégia Nacional de Defesa (END). Esses navios se diferenciam dos mercantes pelo sistema de

combate, pelas redundâncias, tolerâncias, qualidade dos materiais e pela redução de assinaturas como magnética, acústica, radar e infravermelha.

2.3.4. Propulsão Nuclear

Negrete *et al.* (2016) destacam que a propulsão é o processo responsável por alterar o estado de movimento ou repouso de um corpo, utilizando diferentes métodos operacionais com aplicações em diversos setores, como naval (navios e submarinos), aeroespacial (aeronaves e veículos espaciais) e terrestre (trens e automóveis). A propulsão nuclear, em particular, baseia-se no aquecimento de água ou vapor por meio da energia liberada em reações nucleares, as quais podem ocorrer por fissão nuclear, decaimento de isótopos radioativos ou fusão nuclear (INPE, 2015). De acordo com o Livro Branco de Defesa Nacional, o segmento de propulsão nuclear inclui o desenvolvimento do ciclo de combustível e da geração nucleoe elétrica (Brasil, 2012). Além disso, esse segmento abrange todos os processos que promovem a alteração de movimento ou repouso de um corpo em relação a um sistema de referência, utilizando energia nuclear como fonte, incluindo os mecanismos de fissão nuclear, decaimento de isótopos radioativo e fusão nuclear.

2.3.5. Plataforma Terrestre Militar

Negrete *et al.* (2016) identificam a plataforma terrestre militar como um subsegmento importante da BID, definido por um conjunto de características específicas: trata-se de material de emprego militar veicular, originalmente concebido para uso militar ou adaptado posteriormente, destinado a operações terrestres, predominantemente de uso coletivo, que incorpora os conceitos de “família de produto” e “gerações de produto”, além de integrar diferentes tecnologias para aperfeiçoar ou modificar sua utilidade militar. A plataforma é entendida de forma restrita, associada ao conceito de “plataforma produto”, similar à “plataforma automotiva”, podendo ser identificada como veículos militares terrestres. Exemplos incluem veículos de transporte de pessoal (leves ou pesados, certificados para tropas), veículos de transporte de carga (gerais ou especializados, como caminhões ou cisternas militares), viaturas especializadas (ambulâncias, oficinas, postos de comando), viaturas blindadas (de combate, reconhecimento, transporte de pessoal, defesa antiaérea, entre outras), reboques e implementos militares (como cisternas e cozinhas) e outros veículos militares ou adaptados para operações terrestres que não se enquadrem nas categorias anteriores.

2.3.6. Plataforma Aeronáutica Militar

Segundo Negrete *et al.* (2016), o segmento de plataforma aeronáutica militar compreende o conjunto de aeronaves e equipamentos destinados a atividades militares, englobando desde aviões de combate, empregados para garantir a superioridade aérea, até aeronaves de apoio, como as de transporte, treinamento e busca e salvamento (*Search and Rescue* – SAR). Esse segmento destaca-se pela ampla diversidade de plataformas, organizadas em seis subsegmentos principais: aviões de combate, treinamento, transporte, vigilância, helicópteros e veículos aéreos não tripulados.

2.3.7. Sistemas Espaciais voltados para Defesa

A indústria espacial apresenta múltiplas classificações devido à diversidade de suas aplicações, sendo difícil defini-la por categorias usuais como as da Classificação Nacional de Atividades Econômicas, conforme Schmidt (2011). Dewes (2012) descreve as tecnologias espaciais como equipamentos projetados para missões espaciais e outras atividades no espaço, abrangendo principalmente duas grandes áreas: a fabricação de foguetes e satélites, e os serviços de lançamento. No contexto da defesa, Negrete *et al.* (2016) destacam que o segmento espacial inclui o desenvolvimento de veículos lançadores para transportar cargas e satélites militares, além das atividades relacionadas ao lançamento, recepção, processamento e transmissão de imagens e informações, bem como o monitoramento desses dados.

2.3.8. Equipamentos de Uso Individual

No meio acadêmico, não há consenso sobre a definição de “equipamentos de uso individual”, enquanto a doutrina militar apresenta definições práticas de conceitos relacionados, como o de “equipagem”, descrito como um conjunto de suprimentos organizados para abastecimento em setores específicos de organizações militares (Brasil, 2012). Além disso, define “equipagens individuais” como os itens conduzidos pelos militares para proteção, transporte de materiais, sobrevivência em campanha, uso de armamento e execução de tarefas (Brasil, 2012). A amplitude e variedade desse segmento mostram que os equipamentos de uso individual formam uma categoria abrangente, com subcategorias que podem ser identificadas em outras áreas.

2.4. Síntese teórica

O referencial teórico evidencia que a GPDP, especialmente no contexto da BID, ocorre em um ambiente caracterizado por alta complexidade técnica e rigor regulatório. Tal contexto exige uma abordagem de gestão capaz de equilibrar a inovação e a agilidade, necessárias para

a competitividade tecnológica, com a conformidade e a rastreabilidade, indispensáveis para os processos de homologação.

A análise da literatura revela um conjunto de constructos teóricos inter-relacionados, que fundamentam a construção de uma sistemática de gestão robusta e aplicável a produtos de defesa. Esses constructos podem ser sintetizados nas seguintes dimensões:

O Dilema Híbrido (Preditivo e Adaptativo)

O desenvolvimento de armamentos leves, por sua natureza regulada e sensível, requer a previsibilidade e o controle característicos dos modelos preditivos, como o *Stage-Gate*, em que os *gates* (pontos de decisão) funcionam como pontos formais de verificação de conformidade e autorização para avanço do projeto (Cooper, 1990). Contudo, a necessidade de resposta rápida ao mercado e de incrementos sucessivos de valor torna indispensável a incorporação de abordagens adaptativas representadas pelos métodos ágeis *Scrum* e *Kanban*, que priorizam flexibilidade, colaboração e ciclos curtos de feedback (Schwaber; Sutherland, 2020; Muniz; Irigoyen, 2021).

A Solução Híbrida (*Agile-Stage-Gate*)

Da integração entre essas abordagens decorre o modelo híbrido *Agile-Stage-Gate*, que combina o *Stage-Gate* no macroplanejamento, responsável pela estruturação das fases, marcos regulatórios e decisões gerenciais, com os métodos ágeis no microplanejamento, voltados à execução incremental das atividades por meio de *sprints* (Cooper; Sommer, 2016). Essa combinação permite alinhar o controle gerencial à adaptabilidade operacional, configurando um sistema de desenvolvimento orientado simultaneamente à conformidade e à inovação.

A Filosofia Habilitadora (Desenvolvimento Integrado de Produtos)

Para que a solução híbrida se torne efetiva, é essencial adotar a filosofia do DIP como base habilitadora. O DIP promove a integração precoce de equipes multidisciplinares, incorporando áreas críticas como Engenharia de Produto, Engenharia de Processos, Produção, Suprimentos e Qualidade desde as fases iniciais do projeto (Rozenfeld *et al.*, 2006). Essa integração antecipada possibilita a redução de incertezas, a mitigação de riscos e o fortalecimento da colaboração técnica.

A interação entre esses constructos estabelece um conjunto de relações causais fundamentais para o desempenho do PDP na BID, conforme sintetizado a seguir:

- A integração entre o macroplanejamento do *Stage-Gate* e as boas práticas ágeis (Giachetti; De La Vara; Marín, 2023) mantém o rigor documental necessário à homologação, resultando em maior rastreabilidade e conformidade regulatória.
- A aplicação do DIP, aliada aos ciclos iterativos de *feedback* do *Scrum*, viabiliza a identificação antecipada de problemas de manufaturabilidade, o que, considerando que cerca de 75% dos custos do produto são definidos nas fases iniciais do projeto (Ullman, 2010), leva à redução de retrabalho e à otimização de custos.
- A combinação de ferramentas ágeis de gestão de fluxo de trabalho com ferramentas tradicionais de engenharia contribui para manter a flexibilidade na execução e a integridade dos dados técnicos, fortalecendo a efetividade e a governança do processo de desenvolvimento.

Em síntese, a articulação entre abordagens híbridas, mecanismos regulatórios e integração multidisciplinar compõe o núcleo teórico que orienta a presente pesquisa. Essa configuração favorece a redução de retrabalhos, o aumento da rastreabilidade das decisões, a melhoria da previsibilidade dos resultados e o aumento da probabilidade de homologação dos produtos de defesa, consolidando uma sistematização gerencial voltada à inovação sob restrições normativas.

3. Método de pesquisa

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia adotada para a condução da pesquisa. A Seção 3.1 trata da classificação da pesquisa, enquanto a Seção 3.2 descreve os procedimentos técnicos empregados. Por fim, a Seção 3.3 detalha as etapas desenvolvidas para a realização do estudo.

3.1. Classificação da pesquisa

A classificação das pesquisas científicas é um tema que apresenta certa controvérsia, uma vez que pode variar de acordo com o enfoque adotado pelos diferentes autores. Para fins desta dissertação, a pesquisa foi classificada com base em distintos critérios amplamente utilizados na área de metodologia científica, adotando-se, para isso, as definições propostas por Martins, Mello e Turrioni (2013), conforme ilustrado na Figura 14.

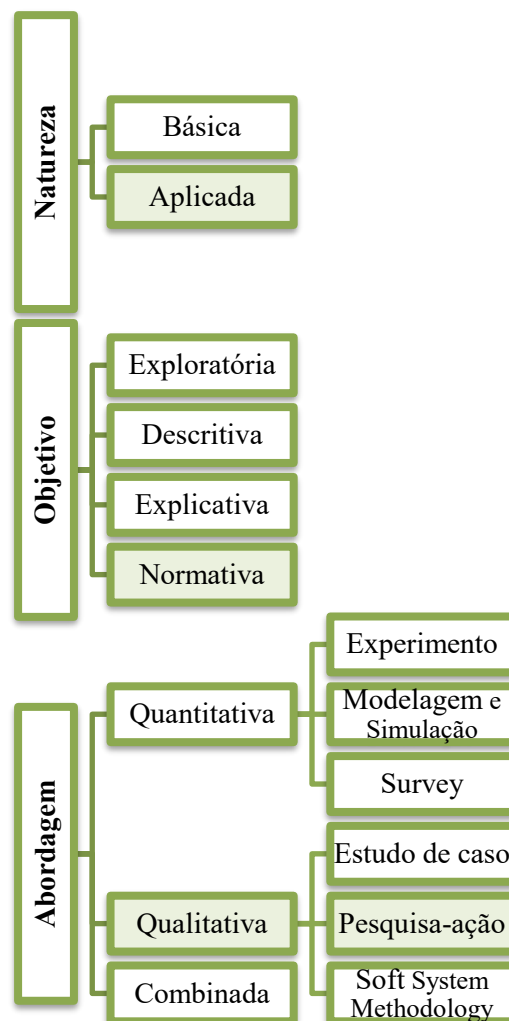


Figura 14 – Classificação da pesquisa científica
Fonte: Adaptado Martins, Mello e Turrioni (2013)

Desta forma, a presente pesquisa pode ser classificada conforme os seguintes critérios metodológicos:

- Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, uma vez que intervém diretamente em uma situação real com o propósito de gerar conhecimento voltado à aplicação prática. Especificamente, busca-se propor e aplicar uma sistemática de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves no contexto da BID do Brasil, com foco na resolução de problemas específicos dessa realidade;
- Quanto aos objetivos, a pesquisa é normativa, pois resultou no desenvolvimento de uma sistemática específica e adaptada às características de fábricas de armamentos leves da BID. O objetivo central é preencher uma lacuna identificada na literatura, que carece de sistematizações estruturadas voltadas à GPDP no setor de Defesa.
- Quanto à abordagem metodológica, adota-se uma abordagem qualitativa, dado que a pesquisa é conduzida em ambiente natural, tendo o pesquisador como instrumento-chave na coleta e interpretação dos dados. O fenômeno investigado é analisado de forma indutiva, com ênfase na atribuição de significados aos processos observados no interior de uma organização fabril do setor de defesa.
- Quanto aos procedimentos metodológicos, trata-se de uma pesquisa-ação, pois envolveu a participação ativa do pesquisador no ambiente estudado, promovendo a aplicação prática da sistemática proposta e a análise dos resultados obtidos. O autor deste trabalho, atuando como supervisor da equipe de engenharia de desenvolvimento de produtos, participou efetivamente das atividades de desenvolvimento de armamentos, desde a concepção até a homologação, o que possibilitou uma imersão no contexto organizacional e a proposição de melhorias alinhadas às necessidades reais da fábrica.

3.2. Procedimentos Técnico

Para condução desta pesquisa, adotaram-se os procedimentos técnicos característicos da pesquisa-ação os quais proporcionam um enquadramento robusto para a investigação aplicada em ambientes organizacionais reais. A pesquisa-ação é particularmente apropriada quando se objetiva tanto resolver problemas práticos quanto contribuir para o avanço do conhecimento científico, sendo amplamente utilizada em estudos que envolvem intervenções diretas em processos organizacionais (Coughlan; Coghlan, 2002).

Segundo Thiollent (2011), a pesquisa-ação é um tipo de investigação social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução

de um problema coletivo. Sua principal característica é a participação ativa dos envolvidos no processo investigativo, promovendo uma interação contínua entre teoria e prática. Esse aspecto é particularmente relevante no contexto industrial, onde o conhecimento tácito dos profissionais e a complexidade dos processos precisam ser incorporados à construção de soluções.

Segundo Coughlan e Coughlan (2002), a condução da pesquisa-ação ocorre por meio de ciclos, compostos por três tipos de passos: o pré-passo, os passos principais e o metapasso. A Figura 15 ilustra o ciclo da pesquisa-ação adotado nesta pesquisa, que corresponde a uma adaptação da configuração delineada por Coughlan e Coughlan (2002), estruturada da seguinte forma: o pré-passo, representada pela definição do contexto e propósito; quatro passos principais, constituídos pelas etapas de diagnóstico, planejamento da ação, implementação da ação e avaliação; e o metapasso, relativo ao monitoramento contínuo do processo. Esse ciclo, de natureza iterativa, possibilitou refinamentos sucessivos e foi adaptado à realidade de uma fábrica de armamentos leves da BID, viabilizando a aplicação prática e a verificação da sistemática.

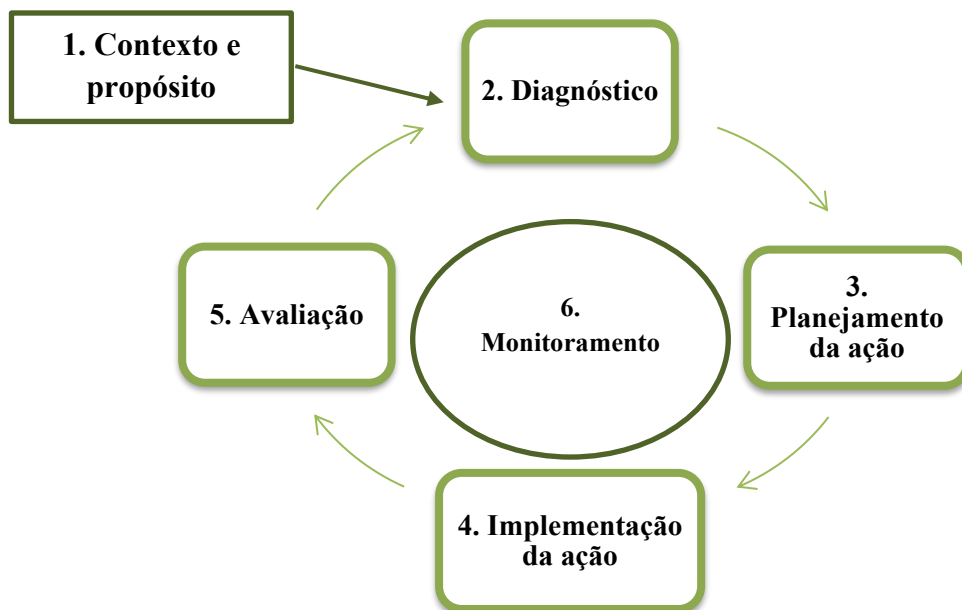


Figura 15 – Ciclo da pesquisa-ação
Fonte: Adaptado Coughlan e Coughlan (2002)

No contexto específico desta pesquisa, os procedimentos técnicos foram estruturados da seguinte forma:

1. Contexto e Propósito: antes da implementação formal da pesquisa-ação, realizou-se a definição do contexto e dos propósitos do estudo. Esta etapa envolveu o levantamento e a análise da missão, estrutura, cultura e objetivos estratégicos da organização

participante, uma fábrica da BID, visando garantir o alinhamento entre as necessidades organizacionais e os objetivos científicos da pesquisa;

2. Diagnóstico Organizacional: análise do contexto fabril com base em observação direta, reuniões com a equipe de engenharia e levantamento documental, com o objetivo de identificar lacunas e oportunidades no PDP;
3. Planejamento da ação: adaptação da sistemática de boas práticas às particularidades da organização, considerando suas capacidades tecnológicas, fluxos de informação e requisitos regulatórios do setor de Defesa;
4. Implementação da ação: aplicação da sistemática em projeto piloto, com participação ativa do pesquisador, que atuou como supervisor da equipe de desenvolvimento, contribuindo diretamente com a tomada de decisão;
5. Avaliação: coleta de dados qualitativos por meio de auditorias, de entrevistas, análise de normas, de registros técnicos e de ensaios técnicos, com o intuito de verificar a sistemática e identificar melhorias incrementais para os ciclos seguintes;
6. Monitoramento: Durante todo o ciclo de pesquisa-ação, houve monitoramento sistemático das ações implementadas, permitindo ajustes em tempo real, gerenciamento dos desvios e promoção do aprendizado organizacional iterativo.

O monitoramento configura-se como um meta-passo que permeia todos os ciclos da pesquisa-ação. Essa metodologia pode ser conduzida por meio da execução de múltiplos ciclos complementares, conforme a necessidade do contexto investigado. Cada ciclo conduz naturalmente ao seguinte, promovendo um processo contínuo de diagnóstico, planejamento, implementação e avaliação ao longo do tempo, conforme ilustrado na Figura 16.

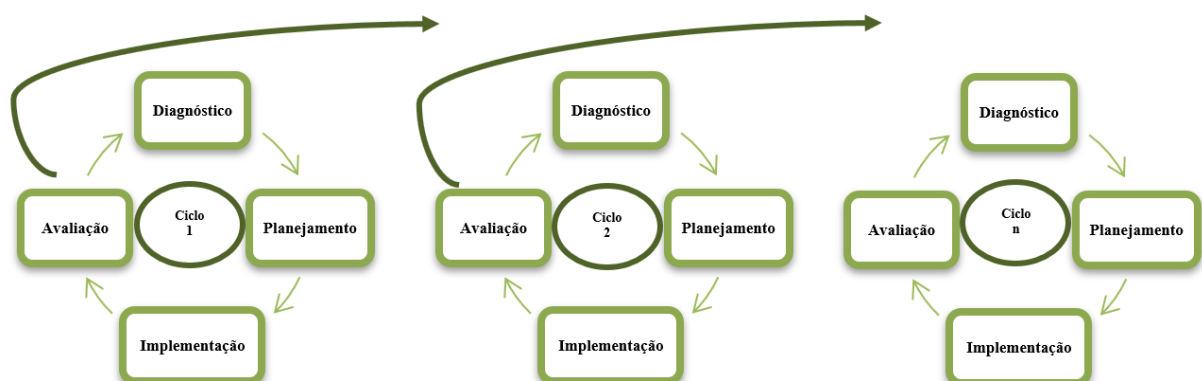


Figura 16– Ciclos contínuos da pesquisa-ação

Fonte: Adaptado Coughlan e Coughlan (2002)

Esta abordagem promoveu a construção do conhecimento de forma colaborativa com os atores organizacionais, com base na interação contínua entre teoria e prática. Além disso,

respeitou os princípios fundamentais da pesquisa qualitativa, atribuindo significado aos fenômenos observados a partir do contexto empírico em que ocorreram. A fundamentação teórica e a operacionalização metodológica dessa abordagem foram diretamente inspiradas nas diretrizes de Coughlan e Coughlan (2002), reforçando a efetividade do uso da pesquisa-ação em contextos industriais voltados à melhoria de processos.

3.3. Etapas para a realização do estudo

Para a realização deste estudo, com base na metodologia de pesquisa-ação adotada, buscou-se integrar conceitos da literatura sobre abordagens tradicionais e ágeis de gestão do PDP. Esses conceitos foram incorporados de forma sistemática às etapas que compõem os ciclos de condução da pesquisa-ação, visando alinhar a execução prática da pesquisa às melhores práticas teóricas existentes no campo do desenvolvimento de produtos.

Após a definição do contexto e propósito da pesquisa, deram-se início aos ciclos de melhoria do PDP, aplicando conceitos de desenvolvimento iterativo oriundos da abordagem ágil. De acordo com o PMI (2021) e ilustrado na Figura 17, o desenvolvimento iterativo é particularmente útil para a elucidação de requisitos e a exploração de diferentes alternativas de solução, permitindo a geração de incrementos que podem ser considerados aceitáveis mesmo antes da iteração final.

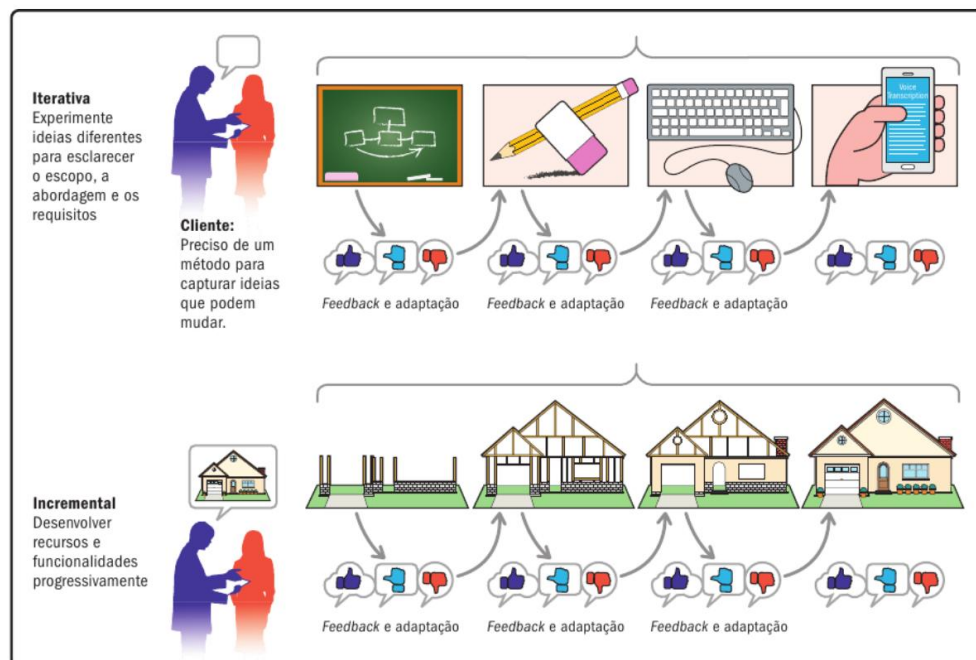


Figura 17 – Desenvolvimento iterativo e incremental

Fonte: PMI (2021)

Para cada ciclo de pesquisa-ação, foram definidos incrementos de desenvolvimento, que, segundo os conceitos da abordagem ágil, podem ser considerados como entregas que atingem a "definição de pronto" ao final de uma *sprint*. Conforme destaca Cooper e Sommer (2016), cada iteração constrói uma versão do produto que se posiciona entre um conceito inicial, frequentemente expresso por meio de desenhos e descrições, e um protótipo passível de testes, denominando-se esse estágio intermediário de "protocepto". Diferentemente da aplicação tradicional do *Agile* no contexto de tecnologia da informação, em que se espera a entrega de um produto funcional ao término da *sprint*, no desenvolvimento de produtos físicos o resultado pode não ser plenamente funcional, mas ainda assim representa uma entrega concreta e demonstrável. Essas entregas são fundamentais tanto para testar hipóteses de mercado, por meio da coleta de feedback de clientes, quanto para validar a viabilidade técnica da solução e obter o apoio da gestão. As versões de produto resultantes desses ciclos iterativos podem assumir diferentes formas, tais como modelos tridimensionais gerados por computador, protótipos virtuais, maquetes conceituais, protótipos rápidos (como os obtidos por impressão 3D), modelos funcionais ou protótipos iniciais. Assim, mesmo quando ainda não totalmente funcionais, os incrementos produzidos oferecem um artefato tangível que permite avaliações técnicas e mercadológicas no decorrer do processo de desenvolvimento (Cooper; Sommer, 2016).

3.3.1. Contexto e propósito

A organização em estudo foi constituída pela Lei nº 6.227, de 14 de julho de 1975. A Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL) é uma empresa pública com personalidade jurídica de direito privado, vinculada ao Ministério da Defesa por intermédio do Exército Brasileiro (BRASIL, 1975). Sua estrutura é composta por uma Unidade de Administração, localizada em Brasília/DF, e cinco Unidades de Produção distribuídas pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O portfólio da empresa abrange produtos estratégicos voltados à área de defesa, tais como armas leves, munições de artilharia, pólvoras, explosivos, além de equipamentos de comunicações e eletrônica. Com um efetivo de aproximadamente 2.000 funcionários, entre servidores civis e militares, a IMBEL foi credenciada como Empresa Estratégica de Defesa por meio da Portaria nº 1.346, de 28 de maio de 2014, do Ministério da Defesa (Brasil, 2014), integrando, portanto, a Base Industrial de Defesa do Brasil (BRASIL, 2022).

O entendimento do contexto e do propósito deste trabalho pode ser sintetizado na disposição estratégica da organização, manifestada por sua alta direção, em apoiar estudos

voltados ao aprimoramento do atual PDP, conforme solicitação da NCE publicada na Portaria DCT/C Ex nº 007, de 27 de janeiro de 2023. O objetivo central é subsidiar a futura implementação de uma sistemática, estruturada segundo as particularidades do setor de defesa brasileiro e alinhado às boas práticas de GPDP descritas na literatura especializada. Para a realização da pesquisa-ação proposta, foi selecionada a Unidade de Produção denominada Fábrica de Itajubá (FI), unidade de negócios responsável pelo desenvolvimento e fabricação de armas leves, que atua como principal fornecedora desse tipo de produto para o Exército Brasileiro.

Neste contexto, os passos previstos para a realização desta pesquisa foram conduzidos com a participação ativa do autor deste trabalho. Conforme afirmam Coughlan e Coughlan (2002), idealmente, os envolvidos nos ciclos de pesquisa-ação monitoram continuamente cada uma das etapas principais, investigando o que está acontecendo, como essas etapas estão sendo conduzidas e quais suposições subjacentes estão em operação. Enquanto os funcionários da organização estudada estão focados nos resultados práticos, o pesquisador não está apenas interessado no funcionamento do projeto, mas também acompanha o processo de aprendizagem e conduz a investigação ao longo do desenvolvimento da intervenção.

No início da pesquisa na Fábrica de Itajubá (FI), o setor responsável pelo desenvolvimento de novos produtos, então denominado Seção de Engenharia de Produto, estava subordinado à Divisão de Engenharia. No decorrer do estudo, com o objetivo de viabilizar, sustentar e priorizar a gestão do processo de desenvolvimento de novos produtos, a IMBEL implementou um novo arranjo organizacional na FI, resultando na criação de um novo departamento. Nesse processo, a antiga Seção de Engenharia de Produto foi elevada à condição de Gerência de Inovação, ampliando seu grau de autonomia e reforçando seu alinhamento com os objetivos estratégicos da empresa.

A Gerência de Inovação foi inicialmente estruturada com um quadro de 18 colaboradores, composto por engenheiros, técnicos e estagiários. Sua missão principal é gerenciar e coordenar o processo de desenvolvimento de novos produtos, promovendo a integração entre os diversos departamentos envolvidos, de forma a garantir a articulação sistêmica e eficaz das atividades relacionadas à inovação e ao desenvolvimento tecnológico na unidade.

Como parte da reestruturação organizacional voltada à melhoria do PDP, a Gerência de Inovação passou a intensificar a utilização do software *Windchill*® como ferramenta de apoio à gestão do ciclo de vida do produto, ampliando o aproveitamento de suas funcionalidades. O *Windchill*® é uma plataforma amplamente empregada na indústria para gerenciar, de forma

integrada, dados de engenharia, documentos técnicos, estruturas de produto, revisões de projeto e fluxos de aprovação. Sua adoção mais abrangente tem como objetivo garantir maior rastreabilidade, controle de versões e padronização dos dados técnicos ao longo de todo o ciclo de vida do produto, desde a concepção até sua descontinuação. Na IMBEL-FI, a ferramenta passou a ser utilizada como repositório central de informações dos projetos, promovendo a integração entre áreas como engenharia, qualidade, suprimentos e produção, além de contribuir para a formalização de processos, o cumprimento de prazos e a mitigação de retrabalhos decorrentes de inconsistências documentais.

Considerando que o ciclo de vida de um armamento se estende por vários anos, esta pesquisa limitou-se à sistematização e verificação das etapas do PDP, compreendendo o intervalo entre o estudo informacional e a homologação do protótipo. Como objeto de estudo, foi selecionado, dentre os produtos em desenvolvimento da IMBEL-FI, o Fuzil de Alta Precisão IMBEL 308 ISR-100/18, ilustrado na Figura 18, cuja gestão do processo de desenvolvimento foi sistematizada desde seu estudo informacional até a atividade de homologação, com o apoio da ferramenta PLM. Todas as atividades foram conduzidas em conformidade com as etapas da pesquisa-ação descritas anteriormente. O propósito dessa abordagem é fornecer subsídios para a estruturação de uma sistemática de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, com potencial de aplicação em outros produtos da Base Industrial de Defesa.



Figura 18 - Fuzil de Alta Precisão IMBEL 308 ISR-100/18

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Adicionalmente, faz-se necessário destacar as considerações éticas e de confidencialidade que nortearam esta pesquisa-ação. A condução do estudo observou rigorosos preceitos éticos, especialmente no que se refere à coleta de dados junto à equipe de desenvolvimento (detalhada na Seção 4.4.3), assegurando o anonimato dos participantes e o tratamento das informações em conformidade com a Lei nº 13.709/2018, Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Todos os dados foram utilizados exclusivamente para os fins acadêmicos deste trabalho, em consonância com os princípios de integridade científica e respeito aos participantes.

No que se refere à confidencialidade das informações tratadas nesta dissertação, ressalta-se que a pesquisa está amparada pela demanda institucional da IMBEL, formalizada por meio da NCE, aprovada pela Portaria DCT/C Ex nº 007, de 27 de janeiro de 2023. Ademais, as informações referentes à organização possuem caráter público, e o produto objeto de estudo, o Fuzil de Alta Precisão IMBEL 308 ISR-100/18, já foi apresentado em eventos públicos do setor de defesa, como a *Latin America Aero & Defence (LAAD) Defence & Security 2025*, Figura 18.

O foco desta dissertação concentra-se na GPDP, analisando fluxos, ferramentas e boas práticas identificadas na literatura e observadas em campo, sem tratar ou expor dados técnicos, industriais ou comerciais de natureza sigilosa da empresa ou do produto. Dessa forma, o trabalho atende integralmente aos princípios éticos e legais aplicáveis à pesquisa científica e às normas de confidencialidade institucional.

4. Sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves

Este capítulo apresenta a sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, com foco na realidade da BID do Brasil. A sistemática foi construída com base na metodologia de pesquisa descrita no capítulo anterior, buscando integrar exigências regulatórias nacionais, práticas consolidadas de engenharia de produto e abordagens contemporâneas de gestão de desenvolvimento, tanto tradicionais quanto ágeis. Para tal, a estrutura do capítulo contempla, inicialmente, um diagnóstico do marco regulatório aplicável (Seção 4.1), seguido do planejamento da ação de pesquisa com base nos referenciais teóricos adotados (Seção 4.2), a implementação prática das fases da sistemática em ambiente controlado (Seção 4.3) e, por fim, a apresentação e análise dos resultados obtidos, com avaliação do desempenho da sistemática proposta (Seção 4.4).

4.1. Diagnóstico do marco regulatório nacional

Esta seção apresenta o diagnóstico dos principais marcos regulatórios e normativos que impactam diretamente o processo de desenvolvimento de armamentos leves no Brasil. A legislação brasileira relacionada a armas de fogo é caracterizada por sua complexidade e constante atualização, exigindo das organizações da BID um elevado grau de conformidade normativa. As regulamentações aplicáveis são emitidas por diferentes órgãos governamentais, com destaque para o Exército Brasileiro, por meio de portarias, normas técnicas e diretrizes específicas. Nas subseções a seguir, são detalhadas as responsabilidades institucionais envolvidas no processo de certificação de armamentos, os principais instrumentos normativos referentes a homologação de produtos controlados, bem como o fluxo atual estabelecido para o desenvolvimento, fabricação, avaliação, registro e cadastro de armamentos leves no país.

4.1.1. Responsabilidades

A responsabilidade pela autorização e fiscalização da produção e do comércio de material bélico no Brasil é competência da União, conforme estabelece o artigo 21, inciso VI, da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988). Essa prerrogativa é complementada pela Lei nº 10.826, de 22 de dezembro de 2003 que, em seu artigo 24, designa ao Comando do Exército a atribuição de autorizar e fiscalizar atividades relacionadas à produção, importação, exportação, desembaraço alfandegário e comercialização de armas de fogo e demais produtos controlados (Brasil, 2003).

O Decreto nº 10.030, de 30 de setembro de 2019, aprovado pelo Presidente da República, regulamenta o controle de PCE. Em seu anexo I, artigo 2º, define PCE como material que possua poder destrutivo, que possa causar danos à integridade física das pessoas ou ao patrimônio, ou cuja utilização deva ser restringida por razões de segurança pública. Ainda segundo este decreto, o artigo 16 determina que a autorização para fabricação de determinados tipos de PCE, incluindo armas de fogo, produtos menos letais, munições, pirotécnicos e equipamentos de proteção balística, está condicionada à aprovação prévia do protótipo, mediante avaliação de conformidade. Complementarmente, o artigo 17 estabelece que cabe ao Comando do Exército definir os requisitos mínimos de segurança e desempenho desses produtos, os quais devem ser atendidos durante a avaliação (Brasil, 2019).

4.1.2. Instrumentos normativos

O cumprimento rigoroso dos instrumentos normativos aplicáveis ao desenvolvimento de armamentos leves é condição essencial para a obtenção do certificado de conformidade e, consequentemente, para a homologação oficial do produto junto às autoridades competentes. Esses instrumentos estabelecem os parâmetros técnicos, operacionais, de segurança e desempenho que devem ser atendidos durante todas as etapas do processo de desenvolvimento e fabricação. Ainda que tais exigências normativas imponham certo grau de rigidez e formalização ao processo, sua adoção apresenta benefícios significativos para a gestão do desenvolvimento de produtos. Conforme destacado por Oliveira et al. (2012), a padronização promovida por normas técnicas contribui para a uniformização da linguagem técnica entre os atores envolvidos, facilita a comunicação entre áreas e instituições, reduz a incidência de retrabalho por meio da eliminação de atividades redundantes e promove maior racionalidade no uso dos recursos produtivos e financeiros.

No contexto brasileiro, o processo de certificação de armamentos leves é fortemente regulamentado por um conjunto de normas, portarias e diretrizes técnicas, emitidas principalmente pelo Comando do Exército, por meio do COLOG e da DFPC. Os principais instrumentos normativos que impactam diretamente o desenvolvimento desses produtos incluem:

- Portaria Conjunta nº 2, de 06 de novembro de 2023, do Comando do Exército e do Diretor-Geral da Polícia Federal, dispõe sobre os parâmetros de aferição e listagem de calibres nominais de armas de fogo e das munições de uso permitido e restrito;

- Portaria nº 189, de 18 de agosto de 2020, do Estado-Maior do Exército, aprova as Normas Reguladoras dos Processos de Avaliação de Produtos Controlados pelo Exército, 1º edição, 2020;
- Portaria nº 213, de 15 de setembro 2021, do Comando Logístico, aprova as Normas Reguladoras dos dispositivos de segurança e dos procedimentos para identificação e marcação de armas de fogo e suas peças, fabricadas no país, exportadas e importadas.
- Portaria nº 118, de 04 de outubro de 2019, do Comando Logístico, dispõe sobre a lista de Produtos Controlados pelo Exército e dá outras providências;
- Portaria nº 56, de 05 de junho de 2017, do Comando Logístico, dispõe sobre procedimentos administrativos para a concessão, a revalidação, o apostilamento e o cancelamento de registro no Exército para o exercício de atividades com produtos controlados e dá outras providências;
- Norma Técnica do Exército Brasileiro (NEB/T) E-266 – protótipo de arma de caça de alma lisa – requisitos gerais – especificação;
- Norma Técnica do Exército Brasileiro (NEB/T) E-267 B – protótipo de arma de porte - requisitos gerais – especificação, 1º edição, 2021;
- Norma Técnica do Exército Brasileiro (NEB/T) E-268 - protótipo de arma de caça de alma raiada - requisitos gerais – especificação, 1992.

4.1.3. Procedimentos para homologação de armamentos leves para fabricação

O processo de homologação de armamentos leves com fins de fabricação no Brasil é regido por um conjunto normativo cuja finalidade é assegurar a conformidade técnica, legal e de segurança dos PCE. A competência para concessão, revalidação, apostilamento e cancelamento de registros relacionados à fabricação de PCE é atribuída à DFPC, conforme disposto no artigo 29 da Portaria nº 56-COLOG, de 2017 (Brasil, 2017).

Conforme ilustrado na Figura 19, entre as fases de concepção do armamento leve e a obtenção do respectivo apostilamento, é necessário cumprir quatro etapas fundamentais que viabilizam as autorizações exigidas para a fabricação do PCE.

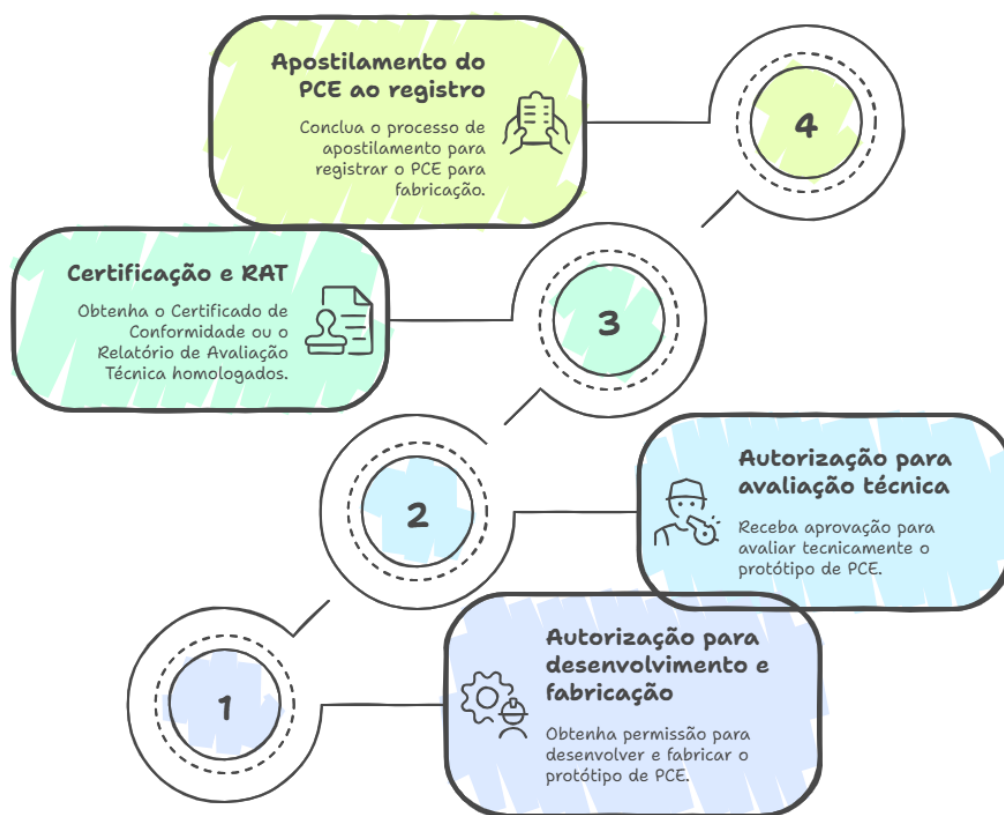


Figura 19 – Etapas para homologação do PCE para fabricação

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A primeira etapa consiste na obtenção da autorização para o desenvolvimento e fabricação do protótipo. Segundo o artigo 31 da Portaria nº 56-COLOG, de 2017, a empresa interessada deve formalizar a solicitação junto à DFPC. Caso ainda não possua registro junto ao Exército Brasileiro, deverá requerê-lo à Região Militar (RM) correspondente à sua área de atuação (Brasil, 2017). Complementarmente, a Portaria nº 2.152-CEX, de 2024, em seu artigo 7º, define o protótipo como sendo o modelo ou a implementação preliminar de um produto ou sistema, empregado para avaliar aspectos como arquitetura, desempenho, potencial produtivo ou documentação de requisitos, ou ainda com o objetivo de ampliar o entendimento técnico sobre o produto (Brasil, 2024).

A segunda etapa refere-se à autorização para avaliação técnica do protótipo. De acordo com o artigo 34 da Portaria nº 56-COLOG, de 2017, a concessão de registro para a fabricação, ou o apostilamento de um PCE ao registro da empresa, está condicionada à prévia aprovação do protótipo mediante avaliação técnica, excetuando-se os casos dispensados expressamente

dessa obrigatoriedade (Brasil, 2017). Ainda segundo o mesmo normativo, o artigo 43 estabelece que o requerimento para essa avaliação deve ser encaminhado diretamente à DFPC pela empresa interessada. A esse respeito, a Portaria nº 189-EME, de 2020, complementa, em seu artigo 14, que o processo de solicitação deve ser instruído com um conjunto mínimo de documentos: memorial descritivo do armamento, desenhos técnicos do protótipo e de seus componentes, além da ART específica referente ao projeto do PCE a ser avaliado (Brasil, 2020).

A terceira etapa do processo de homologação refere-se à obtenção do Certificado de Conformidade ou do RAT devidamente homologados. Conforme dispõe o artigo 18 do Anexo I do Decreto nº 10.030, de 2019, a certificação do atendimento aos requisitos mínimos de segurança e desempenho dos PCE deve ser realizada por um OAC, designado pelo Comando do Exército (BRASIL, 2019). Ainda conforme o artigo 17 do mesmo decreto, cabe ao Comando do Exército estabelecer os requisitos mínimos de segurança e desempenho a serem verificados durante o processo de avaliação da conformidade (Brasil, 2019). Complementarmente, a Portaria nº 189-EME, de 2020, em seu artigo 6º, dispõe que o atendimento a tais requisitos pode ser verificado por meio de certificação ou atestação. No caso da certificação, esta deve ser realizada por um OCD, devidamente acreditado para atuar no escopo técnico correspondente ao PCE avaliado. Já no caso da atestação, o processo é conduzido pelo próprio Comando do Exército, compreendendo, conforme o artigo 17 da referida portaria, a emissão do RAT pelo CAEx e sua homologação pelo DCT (Brasil, 2020).

A quarta e última etapa do processo de homologação refere-se à solicitação do apostilamento da atividade de fabricação do PCE ao registro da empresa. Conforme disposto no artigo 19 da Portaria nº 189-EME, de 2020, após a conclusão da avaliação técnica do protótipo, a empresa responsável pela fabricação do PCE deve formalizar o requerimento à DFPC. O processo de solicitação deve ser instruído com a apresentação do RAT homologado ou do Certificado de Conformidade, além de cópias do memorial descritivo e dos desenhos técnicos correspondentes ao produto (Brasil, 2020).

A Figura 20 apresenta o fluxograma correspondente ao processo de obtenção das autorizações regulamentares exigidas para a homologação do protótipo de PCE, abrangendo desde a autorização inicial para desenvolvimento até a formalização do apostilamento. Esse conjunto de etapas constitui um pré-requisito essencial para que a empresa esteja legalmente habilitada a iniciar a fabricação em escala industrial do referido produto.

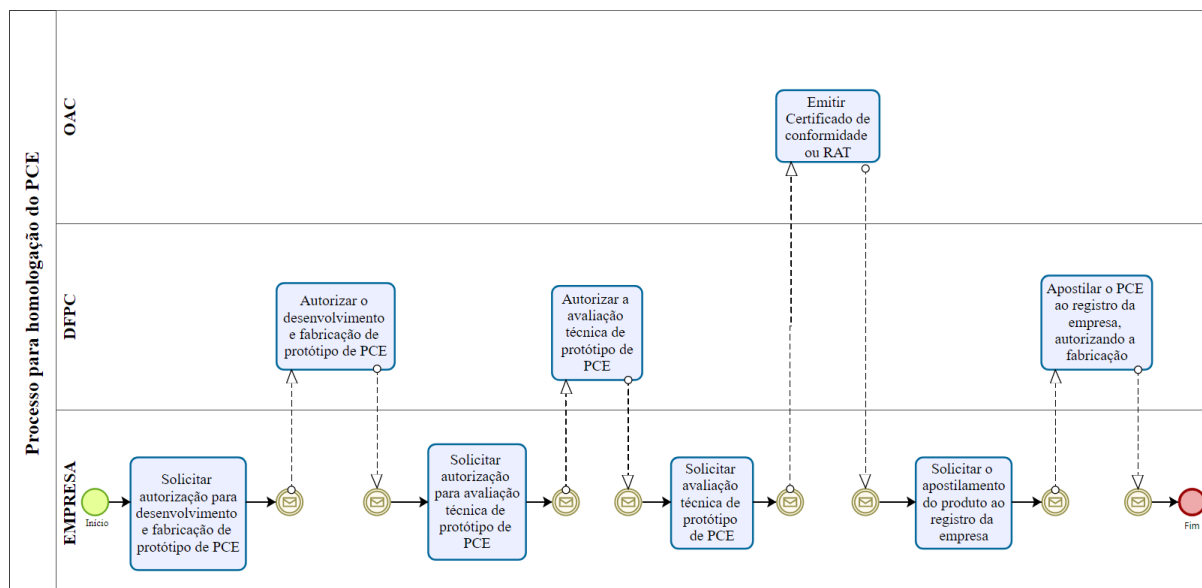


Figura 20 – Fluxograma do processo para homologação do PCE

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Importa ressaltar que, conforme disposto no artigo 77 da Portaria nº 189-EME, de 2020, além das avaliações obrigatórias que determinam os requisitos mínimos de desempenho e segurança dos PCE, os fabricantes podem submeter seus produtos a ensaios adicionais, com o objetivo de atender a exigências específicas de determinados clientes, como, por exemplo, os órgãos de segurança pública. Nesses casos, é facultada a contratação de OCD para a obtenção de certificações específicas (Brasil, 2020). Complementarmente, o §3º do artigo 17 do Anexo I do Decreto nº 10.030, de 2019, estabelece que o Ministério da Justiça e Segurança Pública tem competência para definir requisitos adicionais aos PCE de interesse da segurança pública, visando à padronização de equipamentos, tecnologias e procedimentos de avaliação da conformidade (BRASIL, 2019). Um outro exemplo é a Portaria C Ex nº 2.152, de 5 de janeiro de 2024, que aprova a 3ª edição das Instruções Gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar (EB10-IG-01.018), que estabelece as diretrizes para que determinado produto seja classificado como Sistema de Material de Emprego Militar (SMEM) de interesse do Exército (Brasil, 2024).

Este trabalho propõe uma sistemática voltada à homologação do PCE, considerando os marcos normativos vigentes. No entanto, é importante destacar que os procedimentos posteriores à homologação, como aqueles voltados ao atendimento de exigências adicionais específicas, como as requeridas por órgãos de segurança pública ou para enquadramento como SMEM, extrapolam o escopo desta pesquisa. Tais desdobramentos são considerados relevantes e, por essa razão, são indicados como oportunidades para estudos futuros.

Dessa forma, conclui-se que o arcabouço normativo vigente revela a complexidade e a robustez do processo de homologação de PCE no Brasil, o qual demanda das organizações da BID elevado nível de planejamento técnico, rigorosa conformidade documental e profundo conhecimento do fluxo regulatório aplicável.

4.2. Planejamento da Ação de Pesquisa

Nesta seção, apresenta-se o planejamento das ações de pesquisa-ação adotadas para operacionalizar a sistemática de boas práticas proposta. O planejamento foi estruturado de forma a integrar os fundamentos teóricos extraídos da literatura com a realidade normativa e regulatória nacional, conciliando abordagens tradicionais, pautadas em etapas sequenciais e estruturadas, com metodologias ágeis, que privilegiam flexibilidade, ciclos iterativos e entregas incrementais. A definição das etapas experimentais considerou, simultaneamente, os requisitos legais vigentes e as boas práticas de engenharia de produto, buscando garantir conformidade e efetividade ao processo.

4.2.1. Abordagens tradicionais

Compreendendo-se agora as etapas para homologação do PCE com vistas à fabricação, constata-se a necessidade de uma abordagem preditiva no desenvolvimento, sugerindo a adoção de modelos tradicionais como o *Stage-Gate*, proposto por Cooper (1990).

A adoção do Modelo Unificado de PDP (Rozenfeld *et al.*, 2006) como estrutura basilar da abordagem tradicional fundamenta-se em sua alta aderência à realidade prática observada na organização durante a pesquisa-ação. O modelo de Rozenfeld alinha-se ao conceito de modelo descritivo de Browning, Fricke e Negele (2006), que se mostram úteis para compreender e aperfeiçoar processos existentes ao representar de forma estruturada como o trabalho efetivamente ocorre. Além disso, sua arquitetura detalhada oferece o suporte sistemático necessário para preservar e reutilizar o conhecimento especializado da equipe, atendendo ao desafio central de configurar processos baseados em boas práticas, conforme salientado por Giachetti, De La Vara e Marín (2023). A escolha desse modelo é reforçada por seu reconhecimento como referencial amplamente aplicado tanto no meio acadêmico quanto na indústria brasileira, conferindo robustez teórica e validação prática à sua adoção (Carvalho; Ferreira, 2022).

Considerando o Modelo Unificado de PDP por Rosenfeld *et al.* (2006), a sistemática sugerida nesta pesquisa está inserida na macrofase de desenvolvimento, iniciando-se na fase de projeto informacional e encerrando-se na fase de projeto detalhado. As fases de preparação da

produção e lançamento do produto, embora também integrantes dessa macrofase, foram excluídas do escopo deste trabalho por duas razões principais: (i) as atividades críticas para a homologação de fabricação do PCE concentram-se nas fases aqui abordadas; e (ii) o tempo limitado para a conclusão desta pesquisa inviabiliza a análise aprofundada das fases precedentes ou subsequentes.

Com o objetivo de adaptar as fases do modelo de Rosenfeld ao contexto específico do desenvolvimento de armamentos, optou-se por expandir o modelo original, composto pelas fases de projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado para um conjunto de quatro fases: estudo informacional, estudo conceitual, detalhamento do produto e verificação do protótipo. Essa ampliação visa destacar a criticidade das certificações no ciclo de desenvolvimento.

Além disso, definiu-se a vinculação de entregas regulatórias específicas a determinadas fases do processo. A autorização para o desenvolvimento e fabricação do protótipo (ADFP) foi atribuída como resultado do estudo informacional; a autorização para a avaliação técnica do protótipo (AATP) foi estabelecida como saída do detalhamento do produto; e, por fim, a homologação do PCE para fabricação foi determinada como a entrega final da etapa de verificação do protótipo, conforme ilustrado na Figura 21.

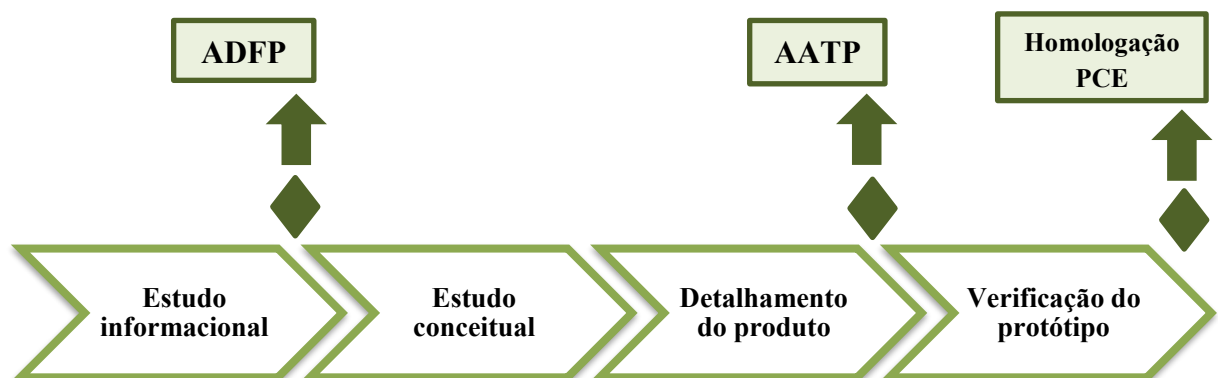


Figura 21– Entregas regulatórias das fases do PDP

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.2.2. Abordagem híbrida

Para a sistemática proposta nesta pesquisa, adota-se uma abordagem híbrida: no nível de macroplanejamento, será utilizada a abordagem tradicional do tipo *Stage-Gate*, conforme discutido na seção anterior. Já no nível de microplanejamento, serão incorporadas práticas oriundas das metodologias ágeis, conforme exemplificado no modelo *Agile-Stage-Gate* proposto por Cooper e Sommer (2016).

Cada fase do desenvolvimento será composta por um conjunto de atividades específicas, adaptadas do modelo de Rosenfeld *et al.* (2006), consideradas críticas para a homologação da fabricação do PCE, conforme ilustrado na Figura 22. A maioria dessas atividades integra as atribuições que o referido autor associa à área de conhecimento denominada Engenharia do Produto. As demais, embora vinculadas a outras áreas de conhecimento, também requerem participação efetiva da Engenharia do Produto, em conformidade com os princípios do DIP, que pressupõe a atuação coordenada e colaborativa entre múltiplas áreas ao longo de todo o processo de desenvolvimento.

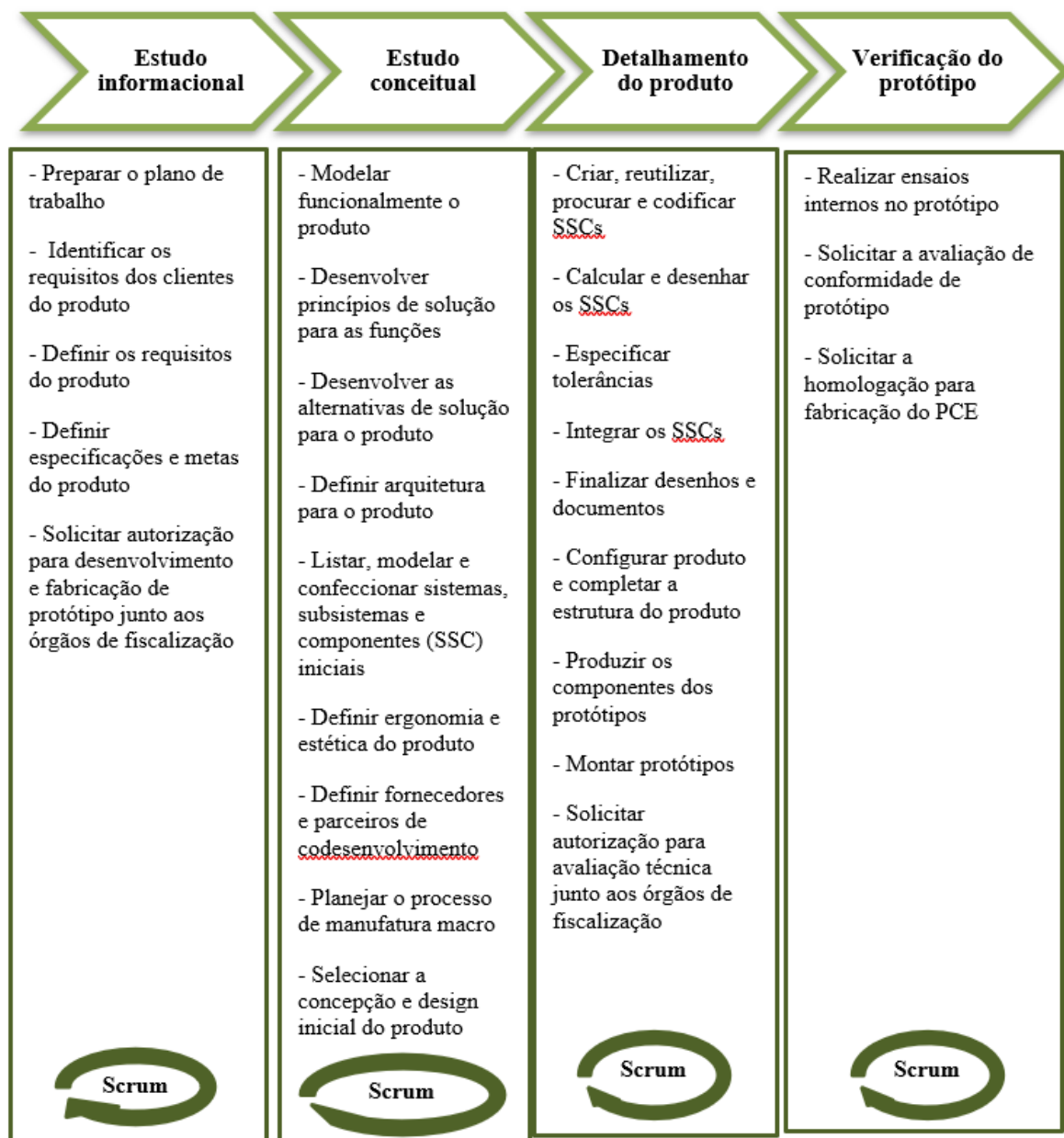


Figura 22 – Sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Essas atividades serão conduzidas a partir da adaptação de características selecionadas da estrutura do *framework Scrum*, em alinhamento com a abordagem híbrida *Agile-Stage-Gate*. As características do *Scrum* utilizadas nesta pesquisa serão apresentadas na seção seguinte, a fim de evidenciar sua adequação ao contexto do projeto. Para a execução, haverá o apoio da ferramentas quadro *kanban* e gráfico de *burn-down*. O objetivo é atender ao *backlog* do produto, com as atividades organizadas em ciclos de trabalho de duração fixa, denominados *sprints*. Ao final de cada *sprint*, espera-se a entrega de um ou mais incrementos do produto, os quais deverão atender à “definição de pronto”, isto é, um conjunto de critérios de aceitação previamente estabelecidos, que assegurem a maturidade técnica necessária para o avanço do projeto e a conformidade com os requisitos normativos aplicáveis.

Cada ciclo do *Scrum*, denominado *sprint*, está associado a uma definição de pronto, a qual está diretamente vinculada às entregas estabelecidas para cada fase do processo de desenvolvimento. Tais entregas representam marcos essenciais no fluxo de trabalho e são determinantes para o êxito na obtenção da homologação para a fabricação do PCE. Nesse contexto, tem-se:

- *Sprint 1*: Preparação do plano de trabalho;
- *Sprint 2*: Definição das especificações e metas do produto;
- *Sprint 3*: Obtenção da autorização para desenvolvimento e fabricação de protótipo junto aos órgãos de fiscalização;
- *Sprint 4*: Modelagem funcional do produto;
- *Sprint 5*: Definição da arquitetura do produto;
- *Sprint 6*: Seleção da concepção e design inicial do produto;
- *Sprint 7*: Criar, reutilizar, procurar, codificar sistemas, subsistemas e componentes (SSCs);
- *Sprint 8*: Definição das cotas nominais e desenho dos SSCs;
- *Sprint 9*: Especificação das tolerâncias dos SSCs;
- *Sprint 10*: Produção dos componentes dos protótipos e montagem;
- *Sprint 11*: Obtenção da autorização para avaliação técnica junto aos órgãos de fiscalização;
- *Sprint 12*: Realização dos ensaios internos no protótipo;
- *Sprint 13*: Obtenção da homologação do protótipo por certificação ou atestação;
- *Sprint 14*: Obtenção da homologação para fabricação do PCE.

A execução dessas atividades será de responsabilidade do *Scrum Team*, enquanto o acompanhamento do fluxo de trabalho ocorrerá por meio do quadro *Kanban*, conforme

ilustrado no Quadro 3, permitindo a visualização do progresso e a identificação de gargalos. Como ferramenta complementar de monitoramento, será utilizado o gráfico de *burn-down*, que possibilita acompanhar o progresso das *sprints* em relação ao tempo planejado, facilitando a detecção de desvios e a tomada de decisões. A adoção dessas práticas visa promover entregas frequentes, melhorar a comunicação entre os membros da equipe, aumentar a transparência do processo e acelerar a resposta a eventuais ajustes de requisitos.

Quadro 3 - Quadro kanban desenvolvimento de armamento

Backlog da sprint	Estudo Informacional		Estudo conceitual		Detalhamento do produto		Verificação do protótipo		Pronto
	Fazendo	Feito	Fazendo	Feito	Fazendo	Feito	Fazendo	Feito	
									
									
									

Fonte: Adaptado Muniz e Irigoyen (2021)

4.3. Implementação prática da sistemática

A implementação da sistemática foi realizada no contexto de uma pesquisa-ação conduzida em uma empresa estratégica de defesa, especificamente no desenvolvimento de um fuzil de alta precisão classificado como PCE. Essa aplicação prática teve como finalidade testar a aderência e a aplicabilidade do modelo em um ambiente real, caracterizado por forte regulação normativa, elevado rigor técnico e exigência de conformidade com requisitos operacionais específicos.

A aplicação da sistemática contemplou desde a etapa de estudo informacional até a verificação do protótipo, com destaque para a integração entre práticas tradicionais de desenvolvimento (com ênfase no macroplanejamento estruturado pelo modelo *Stage-Gate*) e adaptação dos métodos ágeis (*Scrum* e *Kanban*) utilizados no microplanejamento. Cada *sprint* foi estruturado de modo a gerar entregas incrementalmente alinhadas às exigências técnicas, documentais e regulatórias que compõem o processo de homologação de armamentos perante o Exército Brasileiro.

Considerando que a empresa onde a sistemática foi aplicada já dispõe de uma estrutura organizacional consolidada e em funcionamento, as definições das funções dos integrantes do projeto, bem como os eventos e ferramentas adotadas, também foram baseadas em adaptações

dos princípios do framework Scrum. Assim, foram adotadas algumas customizações, de modo a compatibilizar a metodologia com a realidade organizacional e com as necessidades específicas do projeto.

- **Dono do produto (*Product Owner*):** assume a responsabilidade pela gestão do *backlog* do produto, definindo e priorizando os requisitos com base nas necessidades do projeto e nos objetivos estratégicos da empresa. Além disso, é incumbido do macroplanejamento do projeto, assegurando sua conformidade com os marcos regulatórios exigidos para a homologação do PCE para fins de fabricação. Esta função foi atribuída ao Responsável Técnico pelos produtos da empresa, em razão de seu domínio técnico e da sua interface direta com os requisitos normativos e regulatórios aplicáveis.
- **Líder (*Scrum Master*):** é o responsável por assegurar a eficácia do *Scrum Team*, atuando como facilitador dos processos e removendo impedimentos que possam comprometer o andamento das atividades. Seu papel é promover um ambiente colaborativo, com foco na melhoria contínua. No contexto deste projeto, o *Scrum Master* também assume a responsabilidade pelo microplanejamento, garantindo que as tarefas estejam devidamente alinhadas ao *backlog* do produto e aos objetivos definidos para cada *sprint*. Esta função será exercida pelo Gerente de Projeto de Engenharia, profissional integrante da equipe de desenvolvimento.
- **Equipe de desenvolvimento (*Development Team*):** é a responsável pela execução das atividades previstas no projeto, atuando de forma autônoma na definição, seleção e distribuição das tarefas entre seus integrantes. A partir das metas estabelecidas para cada *sprint*, a equipe identifica as ações necessárias, organiza a alocação de responsabilidades e conduz a implementação das entregas ao longo do ciclo de trabalho. Considerando a estrutura organizacional da empresa em que a sistemática foi aplicada, este time é composto, majoritariamente, por profissionais das áreas de Engenharia de Produto, Engenharia de Processos, Produção, Qualidade e Suprimentos, refletindo uma abordagem multidisciplinar essencial para o Desenvolvimento Integrado do Produto.

Cabe destacar que a sistemática proposta nesta pesquisa foi concebida com base na observação empírica e na participação ativa do pesquisador no ambiente organizacional estudado. Buscou-se, assim, promover o alinhamento entre a prática observada no contexto real da organização e os referenciais teóricos analisados. Dessa forma, a forma de implementação apresentada neste trabalho reflete a configuração observada pelo pesquisador durante o desenvolvimento da pesquisa.

Por razões de sigilo industrial, alguns exemplos de figuras e quadros incluídos nesta subseção de implementação prática da sistemática, referentes às características específicas do desenvolvimento do Fuzil de Alta Precisão, são apresentados de forma genérica, não correspondendo fielmente às informações reais do produto estudado. Ressalta-se, contudo, que a descrição detalhada dessas informações não integra o escopo da pesquisa, cujo foco recai sobre a sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento necessário para alcançá-las.

4.3.1. Estudo Informacional

Esta fase do desenvolvimento teve início formal a partir do recebimento do Termo de Abertura do Projeto (TAP), momento em que as atividades de planejamento do projeto já haviam sido previamente concluídas. Almeida Filho e Rocha (2021) apresentam, em seu trabalho, a forma como esse planejamento foi conduzido.

A execução das atividades correspondentes ao Estudo Informacional foi conduzida pela equipe de desenvolvimento ao longo de três *sprints*, conforme a perspectiva do pesquisador. Essas *sprints* serão detalhadas nas subseções a seguir.

4.3.1.1. *Sprint 1: Preparação do plano de trabalho*

O primeiro passo foi a definição da equipe de desenvolvimento, a qual constituiu uma adaptação da estrutura originalmente planejada e apresentada por Almeida Filho e Rocha (2021). Essa configuração foi customizada com base nas diretrizes teóricas adotadas neste trabalho, resultando na seguinte composição:

- Dono do produto: Responsável técnico pelos produtos da empresa;
- Líder: Gerente de projeto de engenharia;
- Equipe de desenvolvimento: Composta por profissionais que permaneceram constantes ao longo do desenvolvimento até a etapa de verificação do protótipo. Fizeram parte dessa equipe o engenheiro supervisor da área de desenvolvimento do produto, um engenheiro de materiais, um engenheiro mecânico, dois técnicos especialistas em software CAD e dois técnicos especialistas em maquinário de prototipagem.

Com a intenção de implementar os conceitos de DIP no desenvolvimento do protótipo, profissionais de outras áreas do conhecimento foram integrados à equipe de forma rotativa, conforme as necessidades específicas das atividades em cada fase do desenvolvimento. Entre esses profissionais, destacam-se líderes, engenheiros e técnicos das áreas de processos de fabricação, produção, qualidade, compras e planejamento e controle da produção.

Como definição de pronto desta *sprint*, foi elaborado o plano de trabalho, no qual se desenvolveu o cronograma das atividades com base nas fases e nos eventos-chave do processo de desenvolvimento. Para isso, utilizou-se o software de gerenciamento do ciclo de vida do produto *Windchill*. Esse cronograma, conforme exemplificado na Figura 23, orientou todo o desenvolvimento do protótipo, permitindo a visualização da evolução contínua do processo, desde a *sprint* 1 até a *sprint* 14, incluindo todos os marcos relevantes até a fase de verificação do protótipo.

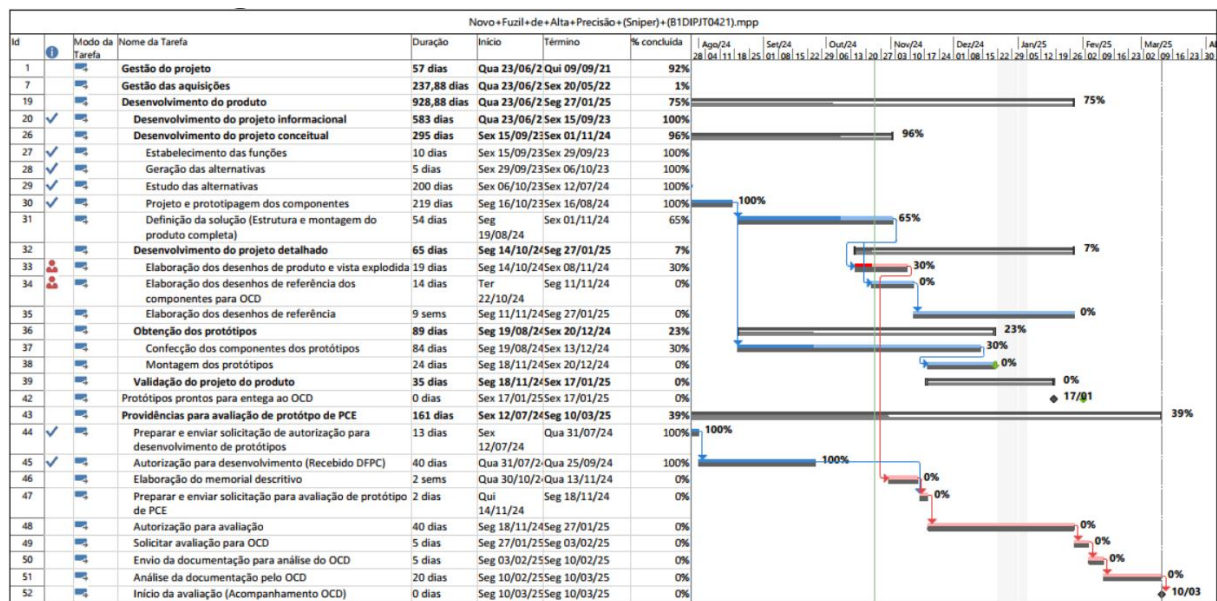


Figura 23 - Exemplo de cronograma de referência para o desenvolvimento

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.1.2. *Sprint 2: Definição das especificações e metas do produto*

Por tratar-se de um produto que requer avaliação técnica para sua homologação e, posteriormente, para seu apostilamento para fabricação, estabeleceu-se como requisito mínimo os critérios definidos pela Norma Técnica do Exército Brasileiro (NEB/T) E-268. Conforme a Portaria nº 189-EME, de 18 de agosto de 2020, essa norma constitui a base regulatória para a avaliação da conformidade de protótipos de fuzis. Os requisitos estabelecidos estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Requisitos mínimos do protótipo

REQUISITOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS
Aspecto Visual e Acabamento	O protótipo deve estar montado em conformidade com os desenhos.
Medidas e Tolerâncias	Devem estar em conformidade com o constante nos desenhos.
Segurança e Resistência a quedas	O protótipo deve resistir à queda sem ocorrência de disparos e sem qualquer dano que comprometa o seu funcionamento ou operacionalidade de acordo com procedimento estabelecido na norma.
Superpressão	O protótipo deve resistir ao tiro de superpressão sem apresentar peças deformadas, trincadas ou quebradas, mecanismos emperrados ou com funcionamento defeituoso ou mesmo alterações dimensionais da câmara ou da alma do cano.
Funcionamento	O protótipo deve funcionar em qualquer posição de tiro sem a ocorrência de incidentes, defeitos e variação de cadência.
Funcionamento nas condições limite	O protótipo deve funcionar sem incidentes nas temperaturas de -10°C a 50°C.
Precisão e Justeza	Em uma série de tiros, sobre alvo situado a 50 m, a arma deve apresentar os seguintes valores: semiperímetro ≤ 600 mm, raio médio ≤ 120 m e distância do ponto médio ≤ 150 mm.
Resistência	O protótipo deve ser capaz de resistir a 2500 tiros sem que ocorram defeitos de funcionamento e/ou peças danificadas, além dos limites estabelecidos na norma.
Inspeção visual, manual e metrológica	A norma apresenta uma relação de defeitos, cuja ocorrência pode determinar a interrupção da inspeção e a inabilitação do protótipo para avaliação técnica.

Fonte: Adaptado Brasil (1992)

Para a obtenção da definição de pronto desta *sprint*, que trata da definição das especificações e metas do produto, foram incluídas as seguintes atividades: detalhar o ciclo de vida do produto e definir seus clientes, identificar os requisitos dos clientes do produto e definir os requisitos do produto.

A equipe de desenvolvimento estabeleceu uma visão inicial abrangente do ciclo de vida do produto, com o objetivo de subsidiar decisões futuras ao longo do processo. Para isso, foi elaborada uma representação gráfica da trajetória do produto, conforme os estágios apresentados na Figura 24, baseados na evolução de suas vendas: desenvolvimento, lançamento, crescimento, maturidade e declínio (Rosenfeld *et al.*, 2006).

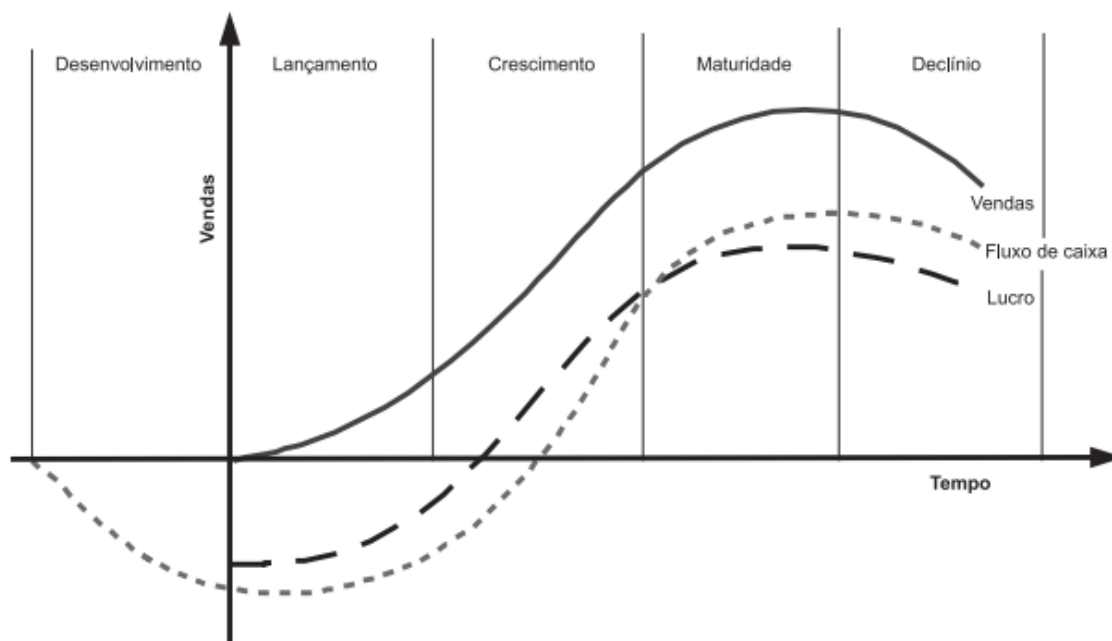


Figura 24 - Ciclo de vida segundo a evolução das vendas do produto

Fonte: Rosenfeld et al. (2006)

Na definição dos seus clientes, a equipe decidiu adotar, para a primeira versão do produto, o conceito de Menor Produto Viável (MPV), definido por Muniz e Irigoyen (2020) como uma aplicação enxuta voltada ao lançamento de um produto. Com um ciclo de desenvolvimento curto, o objetivo é criar uma versão funcional, contendo os elementos essenciais para cumprir o propósito para o qual o produto foi concebido.

Para a identificação dos requisitos dos clientes e a consequente definição dos requisitos do produto, foram analisados diversos regulamentos técnicos e normativos disponibilizados por potenciais clientes institucionais. Dentre os principais documentos considerados, destacam-se:

- Condicionantes Doutrinárias e Operacionais (CONDOP) nº 002/91 – Fuzil de Repetição, Calibre 7,62 mm de Alta Precisão, documento que estabelece as premissas doutrinárias e operacionais mínimas exigidas pelo Exército Brasileiro para esse tipo de armamento;
- Portaria nº 102-EME, de 8 de agosto de 2007, que aprova os Requisitos Operacionais Básicos nº 01/07 – Fuzil de Repetição, Calibre 7,62 mm de Alta Precisão, os quais definem as capacidades e funcionalidades essenciais do armamento para aplicação militar;
- Requisitos Técnicos Básicos nº 0001/2002, que homologa os Requisitos Técnicos Básicos nº 001/2002 – Fuzil de Repetição, Calibre 7,62 mm de Alta Precisão, documento que detalha os parâmetros técnicos mínimos exigidos para avaliação e qualificação do armamento;

- Norma Técnica SENASP nº 004/2021 – Armas Portáteis: Carabinas e Fuzis de Emprego na Segurança Pública, emitida pela Secretaria Nacional de Segurança Pública, a qual estabelece critérios técnicos e operacionais aplicáveis às forças de segurança pública no uso desses armamentos.

Complementarmente à análise dos regulamentos, esta etapa também compreendeu a investigação de editais de compras, a prospecção de tecnologias disponíveis no mercado, a realização de pesquisas de patentes relacionadas ao produto a ser desenvolvido, o levantamento de informações técnicas sobre produtos similares e a aplicação de métodos de interação direta com potenciais usuários. Essas ações permitiram ampliar a compreensão das necessidades dos clientes e das soluções tecnológicas existentes. O Quadro 5 reúne exemplos representativos das informações obtidas ao longo desse processo.

Quadro 5 – Relação exemplificativa entre requisitos do cliente e do produto para o fuzil de alta precisão

Nº	Requisitos do cliente	Requisitos do produto
1	Alta precisão de disparo	Raio de dispersão ≤ 29 mm a 100 m (1 MOA)
2	Alcance efetivo	Alcance efetivo ≥ 800 m com munição padrão
3	Confiabilidade em ambientes adversos	Operação sem falhas após exposição à poeira, lama, chuva, variações extremas de temperatura, entre outros.
4	Facilidade de manuseio e operação	Empunhadura ergonômica, ambidestra, e controles intuitivos
5	Robustez estrutural	Resistência a quedas, impactos e esforços mecânicos
6	Compatibilidade com acessórios	Trilhos Picatinny (MIL-STD 1913) para lunetas, bipé, lanterna etc.
7	Facilidade de manutenção	Desmontagem sem ferramentas especiais e baixo número de peças móveis
8	Segurança no manuseio	Possuir trava de segurança manual e automática
9	Baixo recuo e estabilidade no disparo	Freio de boca ou sistema de amortecimento integrado
10	Capacidade de uso com diferentes munições	Câmara compatível com munição .308 Winchester e com munições nacionais
11	Peso e dimensões adequados ao transporte tático	Peso $\leq 6,8$ kg e comprimento ≤ 1.200 mm
12	Capacidade de integração com sistemas táticos	Compatível com sistemas de visão noturna e balística externa
13	Durabilidade e vida útil estendida	Vida útil mínima de 5.000 disparos com manutenção periódica

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com as informações levantadas, foi possível elaborar a árvore de objetivos do produto, conforme se exemplifica na Figura 25.

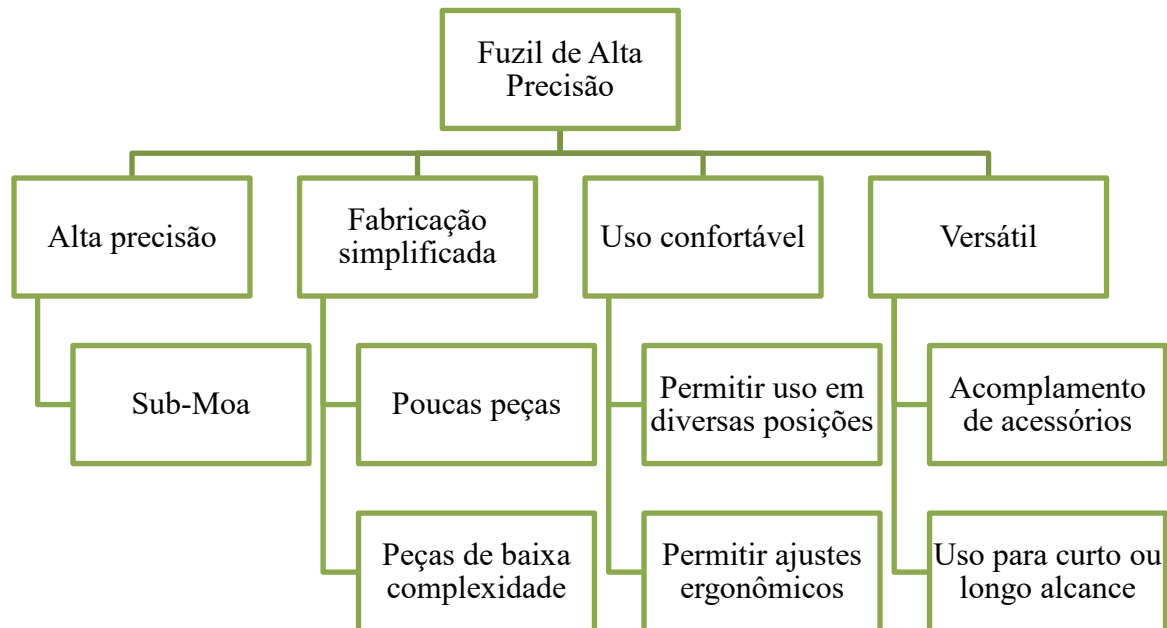


Figura 25 – Exemplo de árvore de objetivos do fuzil de alta precisão
Fonte: Adaptado de Almeida Filho e Rocha (2021)

A definição de pronto foi consolidada por meio da representação típica de um documento de especificações-meta do produto, classificadas como obrigatórias (O) ou desejáveis (D), conforme exemplo ilustrado no Quadro 6. Foram estabelecidos elementos sensores, por meio dos quais se tornou possível avaliar se os objetivos estavam ou não sendo atingidos nas diferentes fases do desenvolvimento do produto. Também foram identificadas as saídas indesejáveis, que representavam aspectos a serem evitados com a inclusão dessa especificação (Ferreira, 1997).

Quadro 6 – Exemplo de lista de especificações-meta para fuzil de alta precisão

Classe	N	Especificação de Projeto	D	O	Unidade Medição	Objetivo	Sensores	Saídas indesejáveis
Funcional	1	Dispersão máxima ≤ 29 mm a 100 m		X	mm	Garantir precisão operacional	Sistema de medição ótico	Dispersão > 29 mm
Funcional	2	Alcance efetivo ≥ 800 m		X	m	Garantir eficiência em longas distâncias	Alvo balístico com sensor	Baixa efetividade > 800 m

Funcional	3	Presença de sistema de redução de recuo	X		Qualitativo	Melhorar estabilidade e conforto no disparo	Acelerômetro e sensor de recuo	Recuo excessivo
Ambiental	4	Operação funcional de -10 °C a +50 °C		X	°C	Garantir uso em diversos ambientes	Câmara climática	Falha por variação térmica
Física	5	Peso total $\leq$ 6,8 kg		X	kg	Reduzir fadiga do operador	Balança de precisão	Peso excessivo prejudicando mobilidade
Física	6	Comprimento total $\leq$ 1.200 mm		X	mm	Facilitar transporte e manuseio	Trena	Dimensões fora do padrão logístico
Técnica	7	Compatibilidade de com munição 7,62x51 mm NATO	X		Qualitativo	Garantir interoperabilidade e logística	Câmara de munição	Incompatibilidade de alimentação
Segurança	8	Trava de segurança manual e automática		X	Qualitativo	Prevenir disparos acidentais	Teste funcional de trava	Acionamento involuntário
Modular	9	Trilho padrão MIL-STD 1913 para acessórios	X		Qualitativo	Permitir integração com acessórios	Verificação visual	Incompatibilidade com lunetas ou lanternas
Ergonomia	10	Empunhadura ambidestra com ajuste de comprimento	X		Qualitativo	Atender operadores destros e canhotos	Avaliação antropométrica	Inadequação anatômica
Manutenção	11	Desmontagem sem uso de ferramentas especiais	X		Qualitativo	Agilizar manutenção em campo	Teste de tempo de desmontagem	Tempo excessivo ou necessidade de ferramentas específicas
Durabilidade	12	Vida útil $\geq$ 5.000 disparos		X	Nº de disparos	Garantir longevidade operacional	Contador de ciclos / testes	Falhas antes da vida útil mínima
Estrutural	13	Resistência a quedas de até 1,2 m sem		X	Qualitativo	Garantir robustez estrutural durante o	Ensaio de queda	Trincas, empenamento, falha após queda

		falhas funcionais				emprego operacional		
--	--	----------------------	--	--	--	------------------------	--	--

Fonte: Adaptado de Ferreira (1997)

4.3.1.3. *Sprint 3: Obtenção da autorização para desenvolvimento e fabricação de protótipo junto aos órgãos de fiscalização*

Com as especificações-meta do produto devidamente estabelecidas, a equipe de desenvolvimento passou a dispor das informações necessárias para a elaboração do requerimento de solicitação de autorização, a ser protocolado junto à DFPC. Esse requerimento, regulamentado pela legislação vigente, constitui etapa obrigatória para o início do desenvolvimento e da fabricação do protótipo do PCE.

O requerimento deve conter, de forma inequívoca, o nome do produto, seu modelo e o respectivo código identificador. Por essa razão, tais elementos precisam ser previamente definidos com rigor técnico e metodológico, uma vez que, após sua formalização no processo, não é permitida a sua alteração nas fases subsequentes do desenvolvimento.

Para a definição desses elementos, a equipe adotou critérios de clareza, consistência e escalabilidade, em conformidade com boas práticas apontadas na literatura (IEC; ISO, 2009). Em termos de clareza, buscou-se que o nome refletisse a função principal ou a característica distintiva do produto, evitando ambiguidades que comprometessem a comunicação entre os diversos atores do processo. A consistência foi garantida por meio da adoção de convenções uniformes de nomenclatura, assegurando padronização na identificação ao longo da linha de produtos, além de facilitar o controle documental, os trâmites de homologação e o suporte pós-produção. Já a escalabilidade considerou a necessidade de estruturar a nomenclatura de modo a permitir a inclusão de futuras versões, calibres ou modificações do produto, sem perda de coerência e de rastreabilidade.

Aplicando esses critérios ao caso do fuzil de alta precisão em desenvolvimento, definiu-se a seguinte nomenclatura:

- Nome do produto: Fuzil de repetição, calibre 308 WIN, comprimento do cano 457 mm (18"), carregador capacidade de 10 cartuchos;
- Modelo: ISR (iniciais de IMBEL *Sniper Rifle*, correspondente, em português, a “Fuzil de Alta Precisão IMBEL”);
- Código: 100-18 (em que “100” especifica a versão e “18” o comprimento do cano).

A definição de pronto desta sprint foi consolidada com o recebimento da autorização oficial para o desenvolvimento e a fabricação do protótipo de PCE pela IMBEL, o que também

marcou a conclusão da fase de Estudo Informacional e da primeira etapa, apresentada na Figura 19 deste trabalho, para obtenção da homologação do PCE para fabricação em série.

4.3.2. Estudo Conceitual

Esta fase do desenvolvimento teve início formal a partir do recebimento da autorização para desenvolvimento e fabricação de protótipo. A execução das atividades correspondentes ao estudo conceitual foi conduzida pela equipe de desenvolvimento ao longo de três sprints, conforme a perspectiva do pesquisador. Essas *sprints* serão detalhadas nas subseções a seguir.

4.3.2.1. *Sprint 4: Modelagem funcional do produto*

A equipe de desenvolvimento iniciou a modelagem funcional do produto a partir da construção de um modelo de função total (ou global), o qual expressa a principal função do sistema por meio do relacionamento entre suas entradas e saídas. Conforme definido por Ferreira (1997), a função total representa uma síntese funcional do que se espera do produto, ou seja, a essência de sua operação no nível mais abstrato e geral.

A função total do produto foi definida com base na análise dos requisitos da lista de especificações-metas, consolidada durante a *Sprint 2*. Essa definição encontra-se exemplificada na Figura 26, que apresenta o esquema funcional elaborado para o fuzil de alta precisão. A função escolhida, acelerar o projétil, foi determinada com base na abordagem proposta por Almeida Filho e Rocha (2021), para representar a principal transformação realizada pelo sistema técnico em questão.

Nesse modelo, consideram-se como entradas do sistema o cartucho, a ação do atirador e a energia aplicada. Como saídas, espera-se obter o projétil acelerado, o estojo vazio, gases resultantes da combustão e a energia residual dissipada. Essa representação fornece uma base estruturada para o desdobramento posterior em subfunções e no refinamento da arquitetura funcional do produto.



Figura 26 – Exemplo de diagrama função total do fuzil de alta precisão
Fonte: Adaptado de Almeida Filho e Rocha (2021)

Quadro 7 – Exemplo de princípios de solução para as funções do fuzil de alta precisão

FUNÇÃO	PRINCÍPIOS
Armazenar cartuchos	Ser destacável com comprimento para armazenar no mínimo 5 cartuchos e no máximo 10 cartuchos sem impedir a troca do carregador na posição deitado.
Carregar um cartucho na câmara	O mecanismo de carregamento deve deslocar o mínimo possível.
Apoiar bochecha	Possuir mecanismo que permita o ajuste da altura de forma prática.
Apoiar a arma no ombro do atirador	Possuir mecanismo que permita o ajuste da distância do gatilho ao ombro de forma prática.
Fixar bipé	A forma de fixação do bipé deve ser compatível com os principais padrões no mercado e deve adicionar o mínimo de massa ao armamento.
Suportar mecanismos	Deve suportar quedas de 1,2 m de altura.
Disparar	O peso do gatilho pode ser regulado entre 1 kgf a 3 kgf.
Percutir cartucho	O sistema de percussão não deve dificultar o recuo do mecanismo de carregamento.
Acelerar projétil	O projétil a 800 m deve ter no mínimo 1.000 J de energia.
Expelir gases gerados	Não deve afetar a precisão do armamento.
Suprimir ruído dos gases	Deve permitir acoplamento de supressor de ruído sem ferramentas.
Extraí-los	O esforço do mecanismo de extração para empolgar a virola da munição deve ser menor possível.
Ejetar estojo	A ejeção do estojo deve ocorrer de forma uniforme, independentemente da velocidade de recuo do ferrolho.

Fonte: Adaptado de Almeida Filho e Rocha (2021)

A etapa subsequente consistiu no desenvolvimento das alternativas de solução para o produto, utilizando-se, para isso, a matriz morfológica como principal ferramenta de apoio, conforme exemplificado no Quadro 8. Segundo Rosenfeld *et al.* (2006), essa matriz organiza de forma simultânea as funções integrantes da estrutura funcional definida para o produto, associando-as a diferentes opções de solução correspondentes. Tal abordagem permite uma análise sistemática das combinações viáveis, contribuindo para a definição das configurações mais adequadas ao produto em desenvolvimento.

Quadro 8 – Exemplo de carta morfológica para fuzil de alta precisão

FUNÇÃO	SOLUÇÃO 1	SOLUÇÃO 2	SOLUÇÃO 3
Armazenar cartuchos	Carregador destacável 10 tiros com corpo bifilar com apresentação monofilar	Carregador destacável 10 tiros com corpo monofilar	Carregador destacável 5 tiros com corpo monofilar
Carregar um cartucho na câmara	<i>Short action</i>	<i>Long action</i>	
Apoiar bochecha	Parafuso, porca e contraporca	Parafuso e porca borboleta	
Apoiar a arma no ombro do atirador	Parafuso, porca e contraporca	Parafuso e porca borboleta	
Fixar bipé	Trilho picatinny	M-LOK/KeyMod	
Suportar mecanismos	Esqueletizada	Monocorpo em compósito	
Disparar	Gatilho ajustável de dois estágios		
Percutir cartucho	Percussor lançado		
Acelerar projétil	Cano pesado de 20"	Cano leve de 20"	Cano pesado de 18"
Expelir gases gerados	Pela boca sem direcionamento	Freio de boca	Quebra-chamas
Suprimir ruído dos gases	Sem supressão	Fixado por rosca	Fixado por adaptador
Extraír estojo	Impulsionado	Basculante	Garra
Ejetar estojo	Por impacto	Por pressão	

Fonte: Adaptado de Almeida Filho e Rocha (2021)

A combinação de princípios de solução compatíveis, identificados por meio da matriz morfológica, resultou na geração de diferentes concepções, conforme apresentado por Almeida Filho e Rocha (2021). Em seguida, por meio da aplicação da ferramenta de apoio à decisão QFD, foram avaliadas as alternativas tecnicamente viáveis. Esse processo permitiu a seleção da concepção de solução com melhor pontuação, a qual está exemplificada no Quadro 9 (Almeida Filho; Rocha, 2021).

Quadro 9 – Exemplo de concepção de solução para fuzil de alta precisão escolhido

FUNÇÃO	SOLUÇÃO
Armazenar cartuchos	Carregador destacável 10 tiros com corpo bifilar com apresentação monofilar
Carregar um cartucho na câmara	Short action
Apoiar bochecha	Parafuso e porca borboleta
Apoiar a arma no ombro do atirador	Parafuso e porca borboleta
Fixar bipé	M-LOK/KeyMod

Suportar mecanismos	Esqueletizada
Disparar	Gatilho ajustável de dois estágios
Percutir cartucho	Percussor lançado
Acelerar projétil	Cano pesado de 18"
Expelir gases gerados	Quebra-chamas
Suprimir ruído dos gases	Fixado por rosca
Extraír estojo	Impulsionado
Ejetar estojo	Por pressão

Fonte: Adaptado de Almeida Filho e Rocha (2021)

Com a definição da solução, os elementos funcionais do produto foram organizados em partes físicas, resultando na estruturação da arquitetura do produto. Essa arquitetura foi modelada em ambiente CAD em três dimensões, permitindo a materialização digital do conceito inicial do fuzil de alta precisão. A arquitetura gerada, exemplificada na Figura 28, consolidou o atingimento da definição de pronto desta *sprint*.



Figura 28 – Exemplo de arquitetura do fuzil de alta precisão

Fonte: Almeida Filho e Rocha (2021)

4.3.2.3. ***Sprint 6: Seleção da concepção e design inicial do produto***

Com as alternativas de solução e a arquitetura do produto definidas na *sprint* anterior, a equipe de desenvolvimento avançou para a elaboração da concepção inicial do produto. De

acordo com Rosenfeld *et al.* (2006), a arquitetura do produto representa, de modo geral, a organização das propriedades físico-técnicas essenciais ao seu funcionamento. No entanto, a avaliação e a escolha de uma alternativa de projeto não devem se restringir apenas a critérios de natureza técnica. É imprescindível considerar também aspectos relacionados ao uso, à estética, à viabilidade produtiva, aos custos, entre outros fatores pertinentes. Assim, o modelo correspondente ao princípio de solução do produto deve ser refinado e integrado, culminando na formulação do chamado modelo de concepção inicial do produto.

Com o objetivo de alcançar a concepção inicial do produto, foram incluídas nesta *sprint* as seguintes atividades: listar, modelar e confeccionar sistemas, subsistemas e componentes (SSC) iniciais; definir os aspectos ergonômicos e estéticos do produto; definir os fornecedores e parceiros para o codesenvolvimento; e planejar, em nível macro, o processo de manufatura.

A atividade de listar, modelar e confeccionar os sistemas, subsistemas e componentes (SSC) iniciais permitiu à equipe de desenvolvimento antecipar os impactos do ciclo de vida no projeto do produto. Para apoiar a avaliação desses impactos e subsidiar decisões mais assertivas durante o desenvolvimento, foi empregada a ferramenta de apoio à decisão de projeto DFMA.

A abordagem DFMA resulta da integração de duas estratégias complementares: o DFA, que foca no projeto visando à facilidade e eficiência do processo de montagem; e o DFM, que busca facilitar a fabricação dos componentes que integram o produto final após a montagem (Boothroyd; Dewhurst; Knight, 2010). Portanto, a aplicação do DFMA consiste no uso simultâneo das diretrizes de DFA e DFM, com o objetivo de reduzir a complexidade do produto, minimizar custos e aumentar a eficiência do processo produtivo.

Neste contexto, foram utilizados, principalmente, os seguintes princípios da ferramenta DFMA, apresentados por Rosenfeld *et al.* (2006), para auxiliar a equipe no desenvolvimento do produto:

- Simplificar, integrar e reduzir o número de peças;
- Utilizar componentes e materiais padronizados;
- Projetar para a fácil fabricação, por meio da seleção de processos compatíveis com os materiais;
- Adotar montagem modular ou baseada em componente-base;
- Utilizar as características especiais dos processos de fabricação;
- Evitar tolerâncias estreitas que excedam a capacidade natural do processo de manufatura;
- Projetar partes que minimizem o esforço e a ambiguidade na orientação e na manipulação;

- Projetar para montagem simples, por meio da utilização de movimentos diretos e da minimização do número de eixos de montagem.

Com base nesses princípios, foram definidos os componentes iniciais da arquitetura do fuzil de alta precisão, conforme exemplificado na Figura 29.

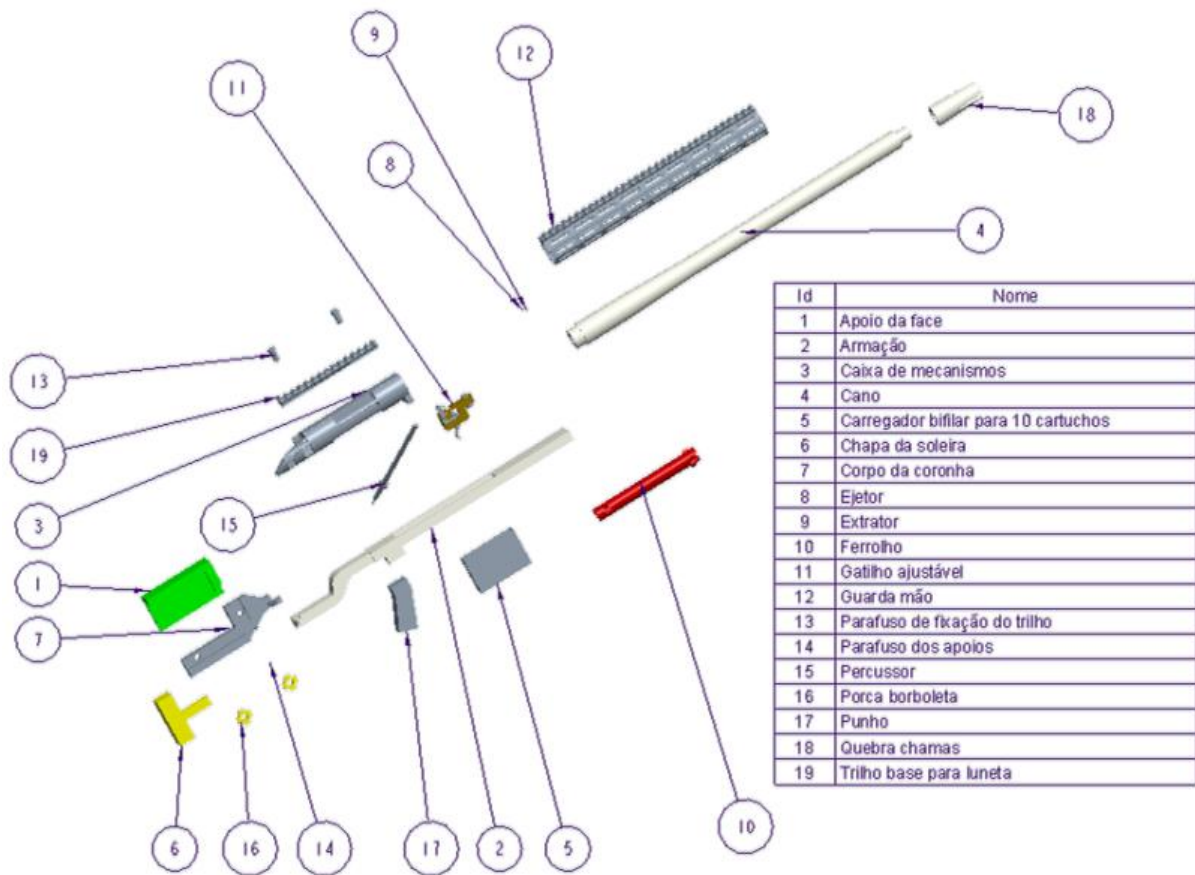


Figura 29 – Exemplo de componentes iniciais do fuzil de alta precisão

Fonte: Almeida Filho e Rocha (2021)

Para a formulação da concepção inicial do produto, também foi considerada a atividade de definição dos aspectos ergonômicos e estéticos. Buscou-se garantir que o produto não apenas atendesse às funções técnicas estabelecidas na estrutura funcional, mas que também apresentasse uma estética compatível com as expectativas dos usuários finais.

No que se refere à ergonomia, foram adotadas as recomendações propostas por Magrab (1997), que orientam o desenvolvimento centrado no usuário, com foco na interação segura, eficiente e confortável com o produto. As principais diretrizes consideradas foram:

- Adequar o produto às características físicas, cognitivas e ao nível de conhecimento do usuário;
- Simplificar e reduzir o número de tarefas necessárias para a operação do produto;

- Antecipar possíveis erros humanos e incorporar restrições no projeto que inibam ações incorretas por parte do usuário;
- Considerar as características ergonômicas do produto também sob a ótica do sistema de manufatura, visando facilitar a manipulação, montagem e manutenção.

Antes da conclusão da concepção inicial do produto, a equipe de desenvolvimento realizou atividades relacionadas à decisão estratégica de comprar ou fabricar os componentes.

No que se refere à decisão de compra, foram analisados e definidos, de forma preliminar, os fornecedores e parceiros de codesenvolvimento para a aquisição de componentes classificados como matéria-prima, semiacabados ou acabados. Para apoiar essa decisão, foram considerados, entre outros, os critérios propostos por Rosenfeld et al. (2006), que envolvem: perfil da empresa, gestão organizacional, responsabilidade ambiental, qualidade, capacidade logística, suporte pós-mercado, competências técnicas, capacidade de desenvolvimento de produto, produtividade e práticas de compras.

Quanto à decisão de fabricação interna dos componentes, a análise foi orientada pelo interesse estratégico da organização e pela capacidade instalada, o que permitiu a elaboração inicial de um plano macro do processo de manufatura.

Essa atividade teve como objetivo identificar os processos produtivos aplicáveis aos SSCs, bem como os ferramentais necessários e os principais fatores de custo envolvidos, incluindo materiais, mão de obra direta e indireta, ferramentas e consumíveis, utilidades, capital investido, entre outros elementos relevantes para a estimativa de viabilidade produtiva.

Concluídas essas atividades, obteve-se a concepção inicial do produto, representada na Figura 30, marcando o atendimento aos critérios estabelecidos para a definição de pronto desta *sprint*, bem como a conclusão da fase de estudo conceitual.



Figura 30 - Concepção inicial do fuzil de alta precisão
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.3. Detalhamento do produto

Antes do início da fase de detalhamento do produto, é importante destacar que, conforme mencionado por Rosenfeld et al. (2006), essa etapa mantém integração direta com a fase de estudo conceitual, havendo superposição parcial entre ambas. Conforme ilustrado na Figura 31, na fase de estudo conceitual foi realizado um desdobramento sucessivo do produto final em SSCs, seguindo um processo de cima para baixo (*top-down*), com o objetivo de atender aos requisitos estabelecidos. Já na fase de detalhamento do produto, ocorre o processo inverso (*bottom-up*), no qual os SSCs são gradualmente integrados até a configuração final do produto, momento em que o conjunto é avaliado de forma global.

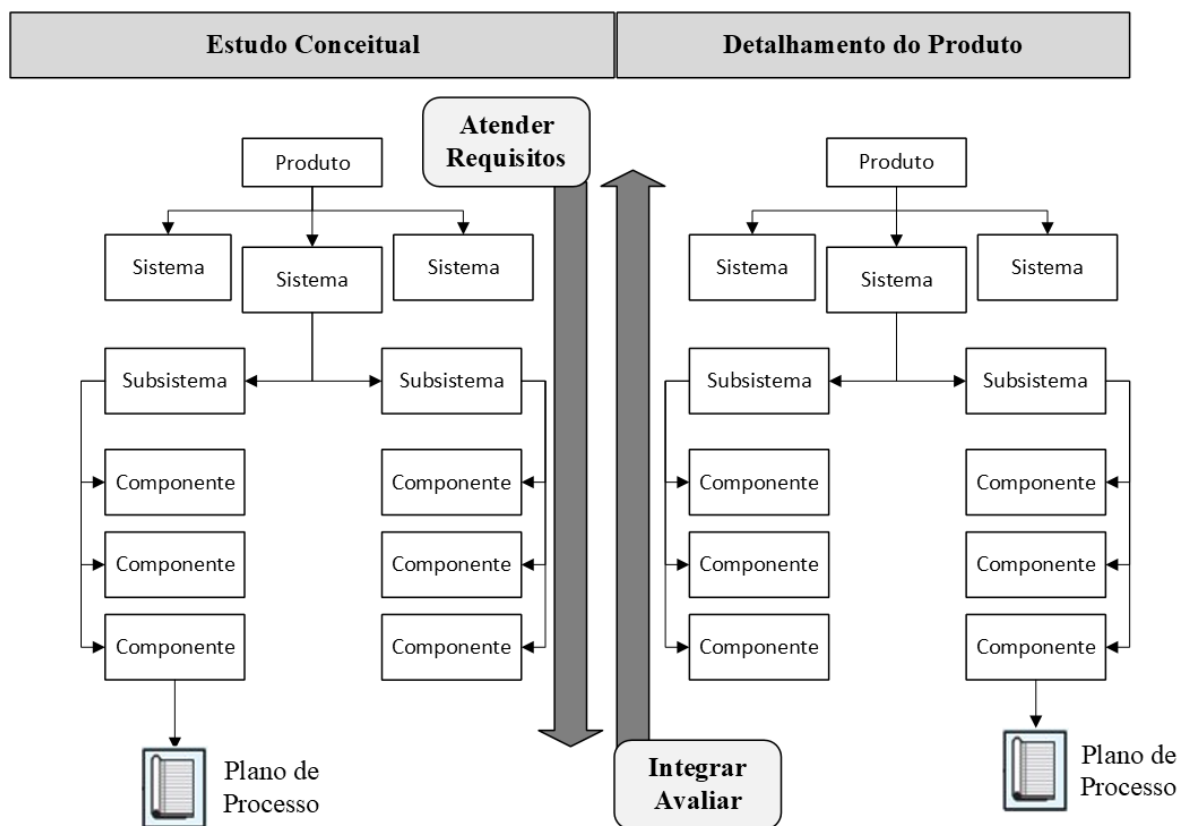


Figura 31 - Integração do estudo conceitual e detalhamento do produto

Fonte: Adaptado Rosenfeld et al. (2006)

De acordo com a perspectiva adotada pelo pesquisador, a fase de detalhamento do produto iniciou-se formalmente a partir da definição da concepção inicial do fuzil de alta precisão, estabelecida na *sprint* anterior, e teve como marco final a obtenção da autorização para avaliação técnica junto à DFPC. Essa fase foi desenvolvida pela equipe de desenvolvimento ao longo de cinco *sprints*, cujas atividades são descritas nas subseções a seguir.

4.3.3.1. *Sprint 7: Criar, reutilizar, procurar, codificar sistemas, subsistemas e componentes (SSCs)*

Nesta sprint, a equipe de desenvolvimento, já de posse dos SSCs identificados de forma genérica na fase de estudo conceitual, deu continuidade ao seu detalhamento com o objetivo de consolidar a documentação e a configuração final do produto.

A primeira tarefa consistiu em buscar a reutilização de SSCs existentes, seja proveniente da própria empresa, seja disponíveis no mercado. Esgotadas essas possibilidades, prosseguiu-se para a criação e o detalhamento de novos SSCs.

Para orientar esse processo, adotou-se a lógica apresentada por Rosenfeld *et al.* (2006), ilustrada na Figura 32, que estabelece cinco possibilidades para a definição dos componentes:

- Existe um item idêntico que pode ser reutilizado;
- Existe um item semelhante ao que se deseja;
- Não existe nada semelhante;
- Não foi identificado nenhum item no mercado que possa ser adquirido;
- Existe a possibilidade de aquisição direta do item no mercado.

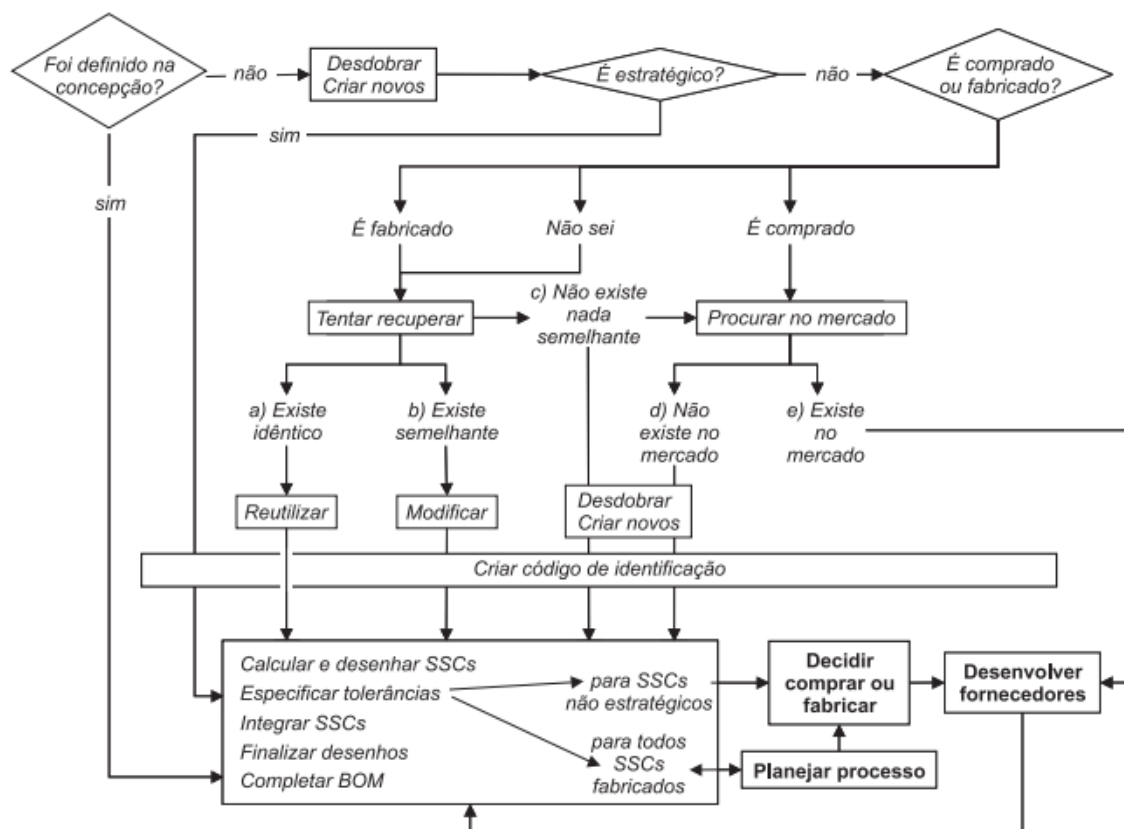


Figura 32- Lógica da tarefa de criar, reutilizar, procurar e criar e codificar SSCs

Fonte: Rosenfeld *et al.* (2006)

Nesta *sprint*, também foram classificados os itens considerados estratégicos, ou seja, aqueles que incorporam tecnologias que a empresa pretende manter sob seu domínio. Nesses casos, os itens foram destinados à fabricação interna, exigindo, portanto, o desenvolvimento completo de seus projetos pela própria organização.

Como referência para a tomada de decisão sobre quais SSCs seriam classificados como estratégicos, foram analisados os seguintes fatores:

- Principais SSCs diretamente envolvidos no mecanismo de funcionamento do fuzil de alta precisão;
- SSCs enquadrados como Produtos Controlados pelo Exército, conforme a Portaria nº 118-COLOG, de 4 de outubro de 2019;
- SSCs que, de acordo com a Portaria nº 60-COLOG, de 15 de março de 2020, devem receber a mesma codificação da arma para fins de rastreabilidade.

A etapa final desta *sprint* consistiu em assegurar que todos os SSCs possuíssem um código de identificação. A conclusão desta *sprint*, e a consequente definição de pronto, foi caracterizada pela consolidação da estrutura do fuzil de alta precisão, resultante da designação de sistemas, subsistemas e componentes, conforme exemplificado na Figura 33, na qual estão destacados os itens classificados como estratégicos.

4.3.3.2. *Sprint 8: Definição das cotas nominais e desenho dos SSCs*

Nesta *sprint*, a equipe de desenvolvimento concentrou-se na definição das cotas nominais e na elaboração dos desenhos técnicos dos SSCs do fuzil de alta precisão, com o objetivo de dar continuidade às especificações geométricas necessárias à fabricação. Esse trabalho foi conduzido tomando como referência os parâmetros gerais do produto estabelecidos na fase de estudo conceitual.

Para os SSCs baseados em tecnologias tradicionais, empregaram-se equacionamentos, manuais técnicos, normas e sistemas consolidados, muitos deles de domínio público, para o cálculo das especificações e a elaboração dos respectivos desenhos. O Quadro 10 apresenta exemplos de fontes de padronização de SSCs de domínio público. Entretanto, quando a tecnologia envolvia soluções inovadoras, adotaram-se novos métodos de cálculo e, em alguns casos, foram construídos protótipos para a avaliação funcional dos sistemas ou do produto resultante.

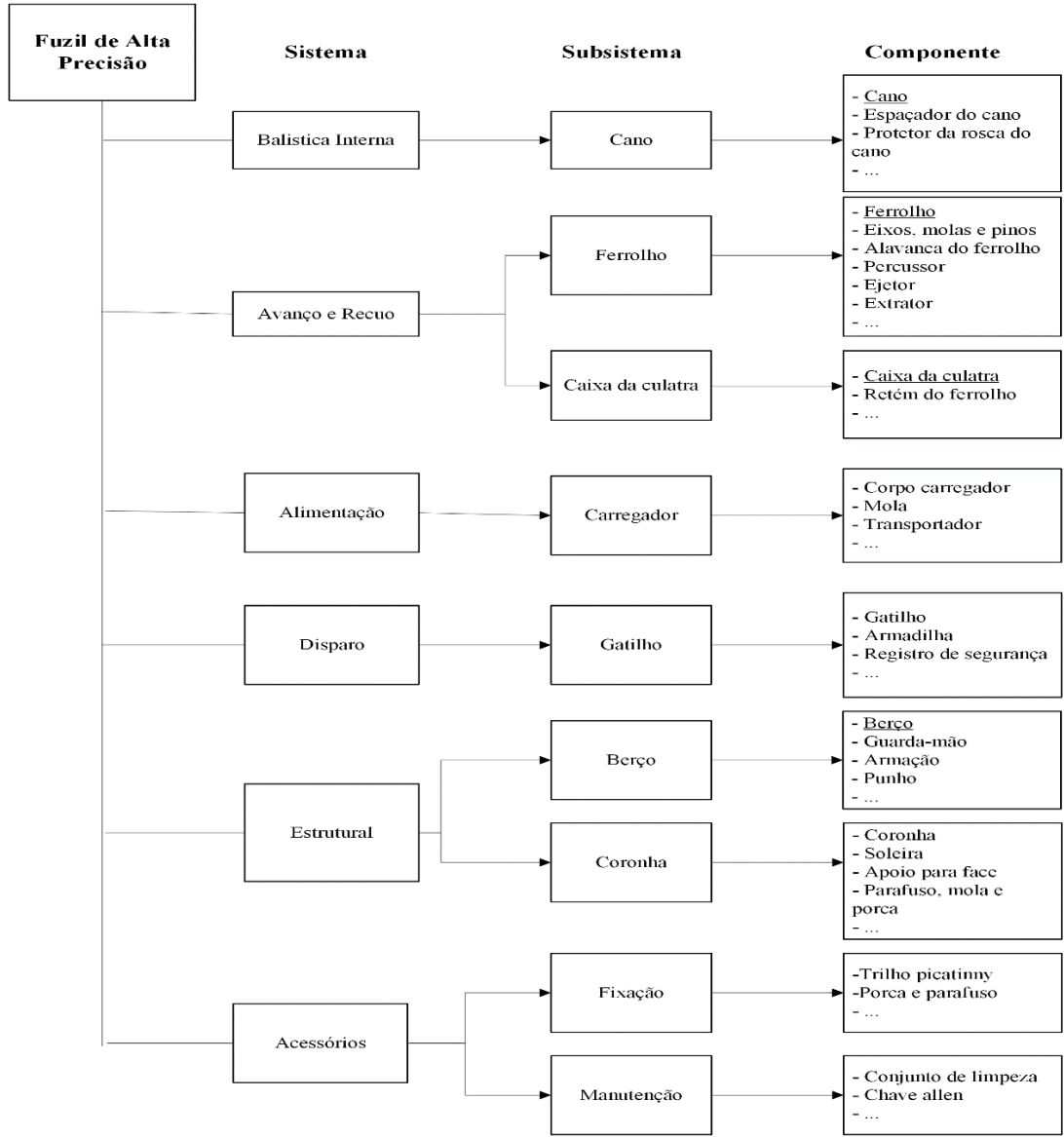


Figura 33 – Exemplo de estrutura do fuzil de alta precisão
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Quadro 10 - Exemplos de fontes de padronização

SSCS	PADRÃO/NORMA	ORGÃO/FABRICANTE
Câmara	Match	Manson
Carregador	AICS	Accuracy International Ltd.
Fixadores de acessórios	M-LOK	Magpul
Trilho Picatinny	STANAG 4694	MIL-STD-1913
Rosca do dispositivo de boca	UNEF	ASME
Porcas, parafusos e pinos	DIN	DIN

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A elaboração dos desenhos técnicos foi conduzida desde o início utilizando ferramentas CAD, permitindo a modelagem tridimensional de sólidos do produto e seus componentes. A modelagem CAD foi integrada a outros sistemas de projeto assistido por computador (CAE/CAM), gestão de dados do produto (PDM) e gestão do ciclo de vida do produto (PLM), todos centralizados no software *Windchill*®, que incorporou e gerenciou esses recursos de forma integrada.

As principais funcionalidades do *Windchill*® aplicadas ao projeto foram:

- Gerenciamento de Estrutura do Produto (*BOM Management*);
- Controle de Revisões e Versionamento;
- Integração CAD–PDM–PLM;
- Gestão de Documentos Técnicos;
- *Workflow* de Aprovação e Liberação;
- Gerenciamento de Configuração;
- Integração com Simulações (CAE) e Manufatura (CAM);
- Rastreamento de Requisitos.

Ao final desta *sprint*, todos os SSCs passaram a contar com desenhos técnicos contendo as respectivas cotas nominais. A definição de pronto foi atendida com a disponibilização integral do conjunto de desenhos, incluindo a representação tridimensional em modelos sólidos do produto e de seus componentes, conforme exemplificado na Figura 34.

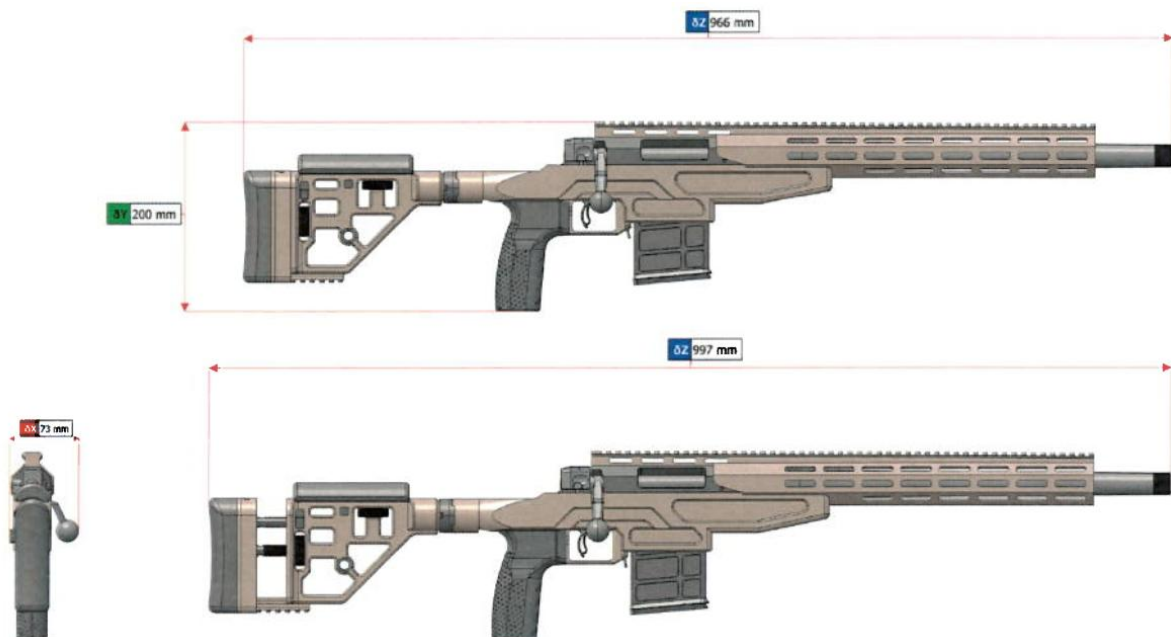


Figura 34 - Modelo geométrico tridimensional do fuzil de alta precisão

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.3.3. *Sprint 9: Especificação das tolerâncias dos SSCs*

Nesta *sprint*, a equipe de desenvolvimento concentrou-se na definição das tolerâncias dimensionais, geométricas e de acabamento superficiais aplicáveis aos SSCs do fuzil de alta precisão. O objetivo principal foi garantir que os desenhos técnicos contemplassem requisitos capazes de assegurar a intercambiabilidade, a confiabilidade funcional e a viabilidade de fabricação do produto.

Foram empregados dois métodos para a especificação das tolerâncias, os quais Rosenfeld *et al.* (2006) classificou como analíticos e experimentais. No método analítico, utilizaram-se modelos matemáticos e de simulação para definir os valores de tolerância e, em seguida, analisar os seus efeitos sobre os elementos hierarquicamente superiores, ou seja, os SSCs. Os valores iniciais das tolerâncias foram estabelecidos com base em melhores práticas aplicáveis a componentes usuais, sendo limitados pela capacidade dos processos produtivos disponíveis. Para componentes que não se enquadravam nesses casos, a definição inicial baseou-se na experiência dos projetistas. Quando essa abordagem não se mostrava suficiente, aplicou-se o método experimental, no qual foram conduzidos ensaios de diferentes tipos a fim de determinar os valores adequados. A Figura 35 ilustra a lógica dos métodos empregados.

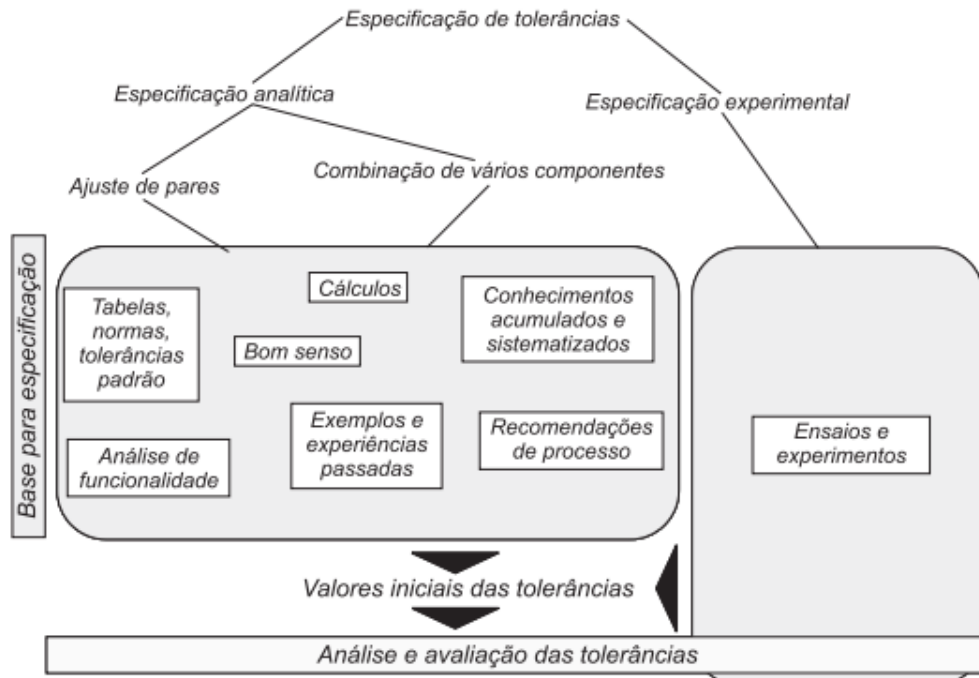


Figura 35 - Métodos de especificar tolerâncias

Fonte: Rosenfeld et al. (2006)

A definição de pronto desta *sprint* foi alcançada com a emissão dos desenhos técnicos revisados, contendo as tolerâncias dimensionais, geométricas e de acabamento superficial dos SSCs do fuzil de alta precisão.

4.3.3.4. *Sprint 10: Produção dos componentes dos protótipos e montagem*

Convém destacar que alguns componentes dos protótipos já vinham sendo produzidos, tanto internamente quanto por fornecedores externos, com a finalidade de subsidiar a tomada de decisão nas *sprints* anteriores. Nesta *sprint*, entretanto, foi formalizada a produção integral dos componentes necessários à montagem dos protótipos, consolidando de maneira sistemática o processo de transformação dos desenhos técnicos em peças físicas.

Embora o escopo desta pesquisa estivesse mais direcionado à área de conhecimento da engenharia de produto, com foco em atividades-chave voltadas à homologação, é relevante salientar que, nesta *sprint*, também foram desenvolvidas atividades essenciais relacionadas à engenharia de processos, com impacto direto no futuro escalonamento da produção.

Durante a produção dos protótipos funcionais, avançaram atividades como: a decisão entre fabricar ou adquirir SSCs; o desenvolvimento e a qualificação de fornecedores; o planejamento dos processos de fabricação e montagem; o projeto de recursos de manufatura e de dispositivos de controle de qualidade, entre outras.

A produção dos protótipos funcionais foi realizada em número reduzido de unidades, suficientes apenas para suportar a homologação do produto. Em diversos casos, os componentes foram fabricados de forma quase artesanal, o que seria inviável em produção seriada, mas constituiu um ponto de partida para o desenvolvimento do processo produtivo. Um exemplo relevante refere-se a alguns componentes em polímero do fuzil, que, nesta fase, precisaram ser usinados, uma vez que não havia moldes de injeção disponíveis. Esses moldes representam um investimento elevado e, nesta etapa de desenvolvimento, ainda configurariam um risco, pois os protótipos do fuzil de alta precisão não haviam sido submetidos às avaliações técnicas para homologação. Contudo, no planejamento do processo de fabricação em larga escala, foi prevista a necessidade de aquisição do molde de injeção, de modo a viabilizar o processo mais adequado para a produção dos componentes em polímero.

Conforme descrito por Rosenfeld *et al.* (2006), os protótipos funcionais são desenvolvidos a partir de desenhos técnicos elaborados nas fases finais do projeto do produto, utilizando-se recursos de ferramentaria voltados à produção em pequenas quantidades. Sua principal finalidade é permitir a validação e/ou homologação do produto, ou de partes dele, em etapas avançadas do desenvolvimento. Esses protótipos possibilitam verificar o funcionamento

adequado do sistema, sua viabilidade de montagem, a conformidade com restrições e premissas estabelecidas, além de avaliar o desempenho e a aderência às especificações projetadas.

Ao final desta *sprint*, todos os principais componentes do fuzil de alta precisão estavam disponíveis em versão prototípica e devidamente montados. A definição de pronto foi atendida com a disponibilização dos protótipos completos para as etapas subsequentes de ensaios e validação, conforme ilustrado na Figura 36, que apresenta exemplos dos protótipos montados.



Figura 36 - Protótipos do Fuzil de Alta Precisão
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.3.5. *Sprint 11: Obtenção da autorização para avaliação técnica junto aos órgãos de fiscalização*

Nesta *sprint*, concentrou-se o esforço em formalizar os trâmites necessários para a obtenção das autorizações junto aos órgãos de fiscalização, condição indispensável para a continuidade do processo de homologação do fuzil de alta precisão. Essa etapa representou a continuidade da integração entre as atividades internas de desenvolvimento e o amparo regulatório externo, exigindo conformidade com a legislação vigente e com os regulamentos específicos aplicáveis aos PCE.

Nesse estágio do desenvolvimento, todos os SSCs já haviam sido criados, adquiridos (quando aplicável), projetados, especificados, testados e integrados. Assim, a *sprint* iniciou-se com a preparação e organização da documentação técnica consolidada nas *sprints* anteriores, necessária à solicitação junto à DFPC para obtenção da autorização de avaliação técnica de protótipo de PCE.

De acordo com Brasil (2020), essa documentação compreende:

- Requerimento à DFPC;
- Memorial descritivo;

- Desenhos técnicos do protótipo e de seus componentes; e a
- ART específica do projeto do PCE a ser avaliado.

Todo o conjunto foi estruturado de forma a assegurar rastreabilidade das informações e comprovação da adequação do produto aos requisitos normativos.

Com o recebimento da autorização da DFPC para a avaliação técnica do protótipo de PCE, a definição de pronto desta sprint foi alcançada, consolidando também a conclusão da fase de detalhamento do produto.

4.3.4. Verificação do protótipo

A fase de Verificação do Protótipo teve como objetivo validar o desempenho, a conformidade e a adequação do Fuzil de Alta Precisão frente aos requisitos técnicos e regulatórios estabelecidos. Essa etapa constituiu-se como um marco de transição entre o desenvolvimento experimental e a consolidação do produto para uso operacional, garantindo que o protótipo atendesse tanto aos critérios funcionais e de confiabilidade quanto às exigências legais e normativas aplicáveis aos PCE. A fase foi organizada em três *sprints*, descritas a seguir.

4.3.4.1. *Sprint 12: Realização dos ensaios internos no protótipo*

Os SSCs, ao longo das *sprints* anteriores, foram avaliados de forma qualitativa, analítica ou experimental, em conformidade com as boas práticas de desenvolvimento de produto descritas por Rosenfeld et al. (2006) e ilustradas na Figura 37.

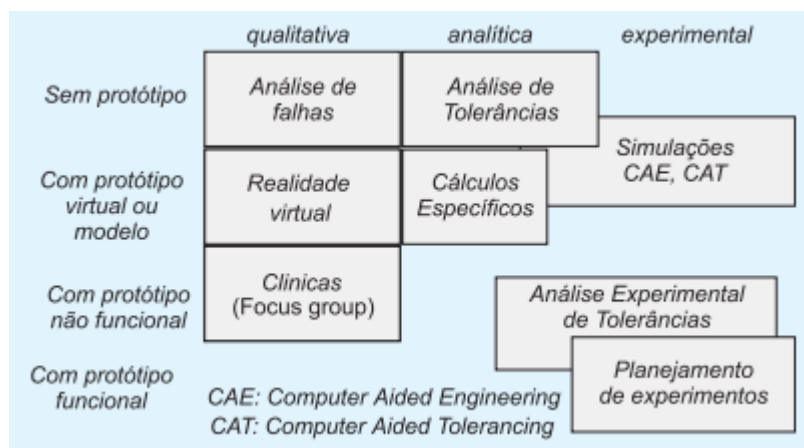


Figura 37 - Métodos de avaliação SSCs.

Fonte: Rosenfeld et al. (2006)

Nesta *sprint*, a ênfase voltou-se à submissão dos protótipos a ensaios internos conduzidos pela própria equipe de desenvolvimento, em ambiente controlado, com o objetivo de validar os requisitos mínimos estabelecidos pelo órgão responsável pela fiscalização e autorização das atividades relacionadas à produção de armas de fogo, o Comando do Exército.

Esses requisitos encontram-se definidos na NEB/T E-268, aplicável a protótipos de armas de caça de alma raiada.

Os ensaios internos tiveram como finalidade verificar o atendimento do protótipo aos parâmetros de desempenho previstos pela NEB/T E-268, contemplando a análise do correto funcionamento dos sistemas e subsistemas integrados, a identificação de eventuais não conformidades e, quando necessário, a implementação de ajustes técnicos antes da submissão a avaliações oficiais. A relação dos ensaios realizados encontra-se no Quadro 4 - Requisitos mínimos do protótipo, previamente apresentado na *Sprint 2*. A Figura 38 exemplifica um desses ensaios internos, destacando o posicionamento do fuzil de alta precisão para a submissão ao teste de funcionamento na posição de -80° .



Figura 38 - Posicionamento do fuzil para teste a -80°

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A definição de pronto desta *sprint* foi atingida com a aprovação do protótipo nos ensaios internos e a elaboração dos relatórios de desempenho e conformidade técnica, garantindo evidências objetivas e rastreáveis que subsidiam as etapas subsequentes do processo de homologação.

4.3.4.2. Sprint 13: Obtenção da homologação do protótipo por certificação ou atestação

Com base nos resultados dos ensaios internos, iniciou-se o processo para obtenção da homologação do protótipo por meio de certificação ou atestação de conformidade. A primeira decisão consistiu em definir qual OAC seria responsável pela condução dos ensaios técnicos de homologação. Para apoiar essa decisão, foi realizado um estudo comparativo considerando fatores econômicos, logísticos, regulatórios e de prazo para a avaliação técnica.

A IMBEL, criada pela Lei nº 6.227, de 14 de julho de 1975, constitui-se como empresa pública federal dependente, vinculada ao Ministério da Defesa por intermédio do Comando do Exército. Nos termos da Lei Complementar nº 101/2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal), é classificada como estatal dependente, em razão de sua necessidade de aporte orçamentário da União para custeio de despesas operacionais e de pessoal. Essa condição a insere em um regime de maior controle estatal, alinhando sua atuação às políticas e diretrizes estratégicas da Defesa Nacional.

No que se refere à avaliação de conformidade de PCE, o Decreto nº 10.030/2019 e a Portaria nº 189-EME, de 18 de agosto de 2020 (EB20-N-04.003) estabelecem que esse processo pode ocorrer por duas modalidades:

- Certificação, conduzida por OCD, devidamente acreditado para atuar no escopo técnico correspondente ao PCE em avaliação;
- Atestação, realizada e homologada diretamente pelo Exército Brasileiro.

Considerando a natureza estratégica da IMBEL como estatal dependente, a modalidade de atestação foi identificada como a mais adequada. Essa escolha proporciona maior celeridade procedimental para o caso específico da empresa.

Dessa forma, foi protocolado junto ao CAEx o requerimento para avaliação técnica de protótipo de PCE por atestação, acompanhado da seguinte documentação:

- Autorização para Avaliação Técnica de Protótipo de PCE, emitida pela DFPC;
- Memorial Descritivo do protótipo;
- Desenhos técnicos do protótipo e de seus componentes;
- ART específica do projeto do PCE em análise.

Após a abertura do processo no CAEx, foram enviados os protótipos, materiais e demais documentos complementares solicitados para a condução da avaliação.

É importante destacar que a implantação prática da sistemática foi verificada até essa tarefa, uma vez que, até a conclusão do período da pesquisa, as etapas subsequentes ainda não

havam sido finalizadas. A verificação dessas etapas não integra o escopo do presente estudo, sendo consideradas como próximos passos e recomendações de boas práticas a serem seguidas.

A definição de pronto desta *sprint* será alcançada com a homologação do protótipo por atestação, formalizada pela emissão do RAT pelo CAEx e sua homologação pelo DCT, conforme previsto na legislação vigente (Brasil, 2020).

4.3.4.3. Sprint 14: Obtenção da homologação para fabricação do PCE

Encerrando a fase de Verificação do Protótipo, esta *sprint* tem como foco a obtenção da homologação para a fabricação em série do fuzil de alta precisão. Em conformidade com a regulamentação vigente (Brasil, 2020), após a homologação do RAT, a IMBEL protocolará, junto à DFPC, requerimento para o apostilamento da atividade de fabricação do referido fuzil em seu título de registro. Ao requerimento serão anexadas cópias do RAT homologado, do memorial descritivo e dos desenhos técnicos correspondentes.

A definição de pronto desta *sprint* será caracterizada pelo deferimento do apostilamento, que incorporará oficialmente o Fuzil de Alta Precisão ao título de registro da IMBEL. Esse resultado consolidará a conclusão do ciclo de desenvolvimento do protótipo e sua transição para a fase industrial de fabricação.

4.4. Avaliação do desempenho da sistemática proposta

A aplicação da sistemática de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, no contexto da pesquisa-ação conduzida, possibilitou avaliar sua aderência e utilidade prática. As iniciativas direcionadas à sistematização e à padronização da gestão do processo de desenvolvimento de protótipos na empresa pesquisada, por meio da adoção de ferramentas baseadas em abordagens híbridas, resultaram em avanços concretos, tanto no âmbito técnico quanto no organizacional. Tais resultados são apresentados a seguir, com o propósito de evidenciar o potencial da proposta para o processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves.

4.4.1. Desempenho nas auditorias internas e externas

A Fábrica de Itajubá mantém certificações como a ISO 9001:2015, voltada à gestão da qualidade, e a AQAP 2110, que estabelece requisitos da OTAN para garantia da qualidade em produtos de defesa, conforme ilustrado na Figura 39. Complementarmente, adota a ISO 14001:2015, referente à gestão ambiental, e a ISO 45001:2018, direcionada à saúde e segurança ocupacional. Em conjunto, essas normas evidenciam o compromisso da organização com a conformidade regulatória, a melhoria contínua e a sustentabilidade de seus processos.



Figura 39- Certificado ISO 9001:2015 e AQAP 2110

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Nesse contexto, durante o processo de desenvolvimento do protótipo do fuzil de alta precisão, no período de 2022 a 2025, a equipe foi submetida a auditorias internas e externas. Essas avaliações tiveram como finalidade verificar a aderência aos requisitos normativos, a efetividade dos processos e a conformidade dos registros gerados durante o ciclo de desenvolvimento.

Os resultados obtidos nessas auditorias foram positivos e refletiram diretamente a efetividade das iniciativas de sistematização e padronização implementadas por meio da sistemática de boas práticas proposta, evidenciando avanços significativos tanto na gestão documental quanto na execução prática das etapas de desenvolvimento.

Para esta pesquisa, foi considerado como parâmetro de análise a cláusula 8.3 da ISO 9001:2015, que trata especificamente do projeto e desenvolvimento de produtos e que, portanto, apresenta relação direta com o setor responsável pela gestão do processo de desenvolvimento dos protótipos. Os desempenhos obtidos nessa cláusula foram utilizados como referência para avaliar a efetividade da sistemática de boas práticas de gestão proposta.

A seguir, apresenta-se o Quadro 11, organizado por ano e por tipo de auditoria, no qual estão sintetizados os principais resultados obtidos pelo setor responsável durante o período analisado, conforme análise dos relatórios de auditorias internas e externas referentes aos anos de 2022 a 2025.

Quadro 11- Auditorias internas e externas no desenvolvimento do protótipo do Fuzil de Alta Precisão

Ano	Tipo de Auditoria	Norma/Referencial	Resultado Obtido	Observações principais
2022	Interna	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Não conforme	Falha nas saídas de projeto de desenvolvimento da pistola.
2022	Externa	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Conforme	Não há
2023	Interna	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Conforme	Não há
2023	Externa	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Conforme	Recomendação melhoria para formalizar a sistemática da GPDP.
2024	Interna	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Conforme	Não há
2024	Externa	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Conforme	Apontou-se como ponto forte a utilização do sistema de software <i>Windchill</i> ® para a GPDP.
2025	Interna	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Conforme	Recomendação melhoria para padronizar um único registro para as análises críticas de P&D.
2025	Externa	ISO 9001:2015 / Cláusula 8.3	Conforme	Não há

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise dos resultados das auditorias internas, realizadas previamente às auditorias externas e em intervalo suficiente para a correção de eventuais inconformidades, evidencia que, em 2022, foi registrada uma não conformidade relacionada às saídas de projeto no desenvolvimento de uma pistola destinada a processos subsequentes. É importante ressaltar que, nesse caso, não foi aplicado a sistemática de boas práticas para gestão do processo de desenvolvimento de protótipos apresentada nesta dissertação, uma vez que o produto em questão não fazia parte do escopo da pesquisa.

A partir dessa inconformidade inicial, a empresa passou a aplicar a sistemática proposta também em outros produtos fora do escopo deste estudo, o que contribuiu para a obtenção de conformidade na auditoria externa ainda em 2022. Nos anos seguintes (2023, 2024 e 2025), tanto as auditorias internas quanto as externas registraram conformidade em relação ao requisito 8.3 da ISO 9001:2015, que trata do projeto e desenvolvimento de produtos, indicando uma evolução consistente da maturidade do processo.

Em relação à recomendação de melhoria registrada na auditoria externa de 2023, referente à formalização da sistemática da GPDP, observa-se que ela ocorreu em razão do período de transição entre a sistemática anterior e a sistemática proposta nesta pesquisa. Nesse

momento, a nova sistemática já estava em aplicação prática, mas ainda não havia sido formalizada em documento institucional, o que motivou a recomendação.

Na auditoria externa de 2024, foi apontado como ponto forte a utilização do sistema de software *Windchill*® para a GPDP. Essa melhoria está diretamente relacionada a sistemática proposta neste trabalho, que prevê a integração de ferramentas de apoio ao PDP, como os sistemas PLM e PDM, além de aplicações de projeto assistido por computador (CAD, CAM e CAE).

Quanto à recomendação de melhoria registrada na auditoria interna de 2025, que tratou da padronização de um único registro para as análises críticas de P&D, esta decorreu do fato de que, com a adoção de práticas inspiradas em abordagens ágeis, especialmente no uso de adaptações do framework *Scrum*, eram realizados registros após cada reunião. Na visão do auditor responsável, tal prática poderia ocasionar sobrecarga administrativa, razão pela qual foi sugerida a unificação dos registros em um único documento. Esse apontamento reforça a constatação de que alguns procedimentos típicos das metodologias ágeis não são totalmente adequados ao contexto do desenvolvimento de armamentos leves, evidenciando a necessidade de uma abordagem híbrida que combine, de forma equilibrada, elementos de métodos tradicionais e ágeis.

De modo geral, os resultados apresentados no Quadro 11 evidencia um desempenho majoritariamente positivo nas auditorias internas e externas realizadas no período de 2022 a 2025. Esse desempenho demonstra não apenas a aderência da organização aos marcos regulatórios e normativos, mas também a efetividade das iniciativas de sistematização e padronização implementadas por meio da sistemática de boas práticas proposta nesta pesquisa. Em outras palavras, a consolidação de procedimentos documentados, a definição de pronto em cada *sprint* e o alinhamento entre atividades técnicas e requisitos normativos contribuíram para fortalecer o processo e assegurar a conformidade nas auditorias.

Além disso, a manutenção de resultados positivos ao longo de quatro anos consecutivos, com exceção da auditoria interna de 2022, evidencia a capacidade da sistemática em sustentar a melhoria contínua, reduzindo riscos de não conformidades e reforçando a credibilidade da organização junto às instâncias reguladoras. Dessa forma, os resultados alcançados nas auditorias internas e externas podem ser interpretados como um indicativo concreto da viabilidade e da robustez da sistematização de boas práticas para gestão proposta para o desenvolvimento de protótipos de armamentos leves.

4.4.2. Atendimento aos marcos regulamentares e desempenho nas avaliações internas

Um dos indicadores de desempenho da sistemática proposta foi sua capacidade de alinhar o PDP aos rigorosos marcos regulatórios do setor de defesa, assegurando que o produto estivesse tecnicamente apto para as avaliações conduzidas pelo OAC, requisito essencial para a homologação junto ao Exército Brasileiro.

Antes de serem submetidos às validações técnicas externas, o pacote técnico e os protótipos passaram por procedimentos internos de validação, conduzidos pela própria fábrica. Como exemplo, destacam-se as avaliações realizadas em conformidade com a NEB/T E-268 , com o objetivo de verificar a consistência do pacote técnico e o desempenho do protótipo, assegurando que ambos atendessem aos requisitos mínimos antes da submissão à avaliação técnica externa, etapa indispensável à homologação.

A conformidade obtida nessas avaliações internas contribuiu diretamente para a aprovação da sistemática de gestão proposta. Verificou-se que a estruturação das atividades em *sprints*, com definições de pronto bem estabelecidas, permitiu que os requisitos normativos fossem avaliados de forma incremental, demonstrando alinhamento contínuo às exigências regulamentares do setor.

Além do desempenho nas avaliações técnicas internas, a sistemática demonstrou efetividade no cumprimento dos trâmites processuais externos, conforme segue:

- ADFP: obtida junto à DFPC ao final do Estudo Informacional (*Sprint 3*);
- AATP: concedida pela DFPC ao término da fase de Detalhamento do Produto (*Sprint 11*);
- Submissão à Avaliação Técnica pelo CAEx: iniciada após a conclusão das avaliações internas (*Sprint 12*), com o envio dos protótipos e da documentação técnica exigida (*Sprint 13*).

A verificação prática da pesquisa-ação foi concluída nesta etapa. Embora a emissão final do RAT pelo CAEx e o posterior apostilamento da fabricação pela DFPC (*Sprint 14*) extrapolem o cronograma de conclusão da pesquisa, o desempenho da sistemática foi comprovado pela conformidade obtida nos ensaios internos e pelo sucesso na execução das etapas processuais e regulatórias que viabilizaram a submissão do produto à homologação final.

4.4.3. Percepção da equipe de desenvolvimento sobre a sistemática

Com o objetivo de compreender a aceitação, os efeitos práticos e as oportunidades de aprimoramento da sistemática de boas práticas para gestão do processo de desenvolvimento de

protótipos de armamentos leves, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os integrantes da equipe responsável pelo desenvolvimento do protótipo do Fuzil de Alta Precisão. Participaram do processo o gerente do produto, o líder da equipe, bem como engenheiros e técnicos das áreas de conhecimento envolvidas no processo de desenvolvimento, totalizando 15 profissionais diretamente engajados nas diferentes fases do projeto.

As entrevistas tiveram como propósito identificar a percepção da equipe sobre a aplicação da sistemática proposta, abordando aspectos como a clareza das etapas, a correspondência entre a sistemática e a prática executada, os benefícios percebidos, as dificuldades enfrentadas, os aprendizados gerados e as sugestões de melhoria. As respostas foram analisadas de forma qualitativa, agrupando-se os principais achados por dimensão temática.

Compreensão e aderência da sistemática

Os entrevistados avaliaram de forma positiva o grau de clareza e organização das etapas apresentadas na sistemática. A estrutura dividida em sprints e a vinculação das entregas regulatórias foram apontadas como elementos que facilitaram o entendimento das responsabilidades e dos pontos de controle ao longo do ciclo de desenvolvimento.

A maioria reconheceu que a sistemática reflete, de modo geral, as atividades efetivamente realizadas na prática, embora alguns tenham ressaltado que a representação das fases em paralelo, e não de forma estritamente sequencial, corresponde melhor à realidade operacional do desenvolvimento de protótipos.

Benefícios percebidos

Entre os benefícios mais mencionados, destacou-se a maior previsibilidade e padronização das etapas, o que contribuiu para o melhor planejamento das atividades e para a redução de incertezas no cronograma.

A equipe ressaltou, ainda, a melhoria na comunicação interna e na integração entre os diferentes setores, resultado direto da participação conjunta de diversas áreas de conhecimento.

Outro ponto enfatizado foi o aprimoramento do controle de requisitos e da rastreabilidade das especificações técnicas. Os engenheiros apontaram que a formalização de critérios e registros reduziu significativamente o retrabalho e as falhas durante os ensaios.

Para os técnicos de prototipagem, a sistemática proporcionou maior compreensão das interdependências entre o desenvolvimento do produto e o desenvolvimento do processo de fabricação, favorecendo o alinhamento técnico e o cumprimento dos prazos estabelecidos.

Parte da equipe destacou ainda que a adoção de métodos híbridos conferiu maior flexibilidade para a incorporação de ajustes identificados durante os ensaios do protótipo, tornando o processo menos rígido e mais responsivo às demandas emergentes.

Dificuldades e resistências

Apesar dos avanços, a implementação da sistemática enfrentou desafios organizacionais e operacionais. O principal obstáculo relatado foi a dificuldade de manter a equipe totalmente dedicada ao projeto, uma vez que atividades paralelas e demandas emergenciais frequentemente interrompiam o andamento das tarefas planejadas, comprometendo a continuidade dos sprints.

Também foram mencionadas limitações de recursos tecnológicos e de maquinário de prototipagem, que exigiram prazos mais longos para a execução de determinadas etapas do desenvolvimento.

No que se refere às reuniões, embora a abordagem ágil recomende encontros diários, na prática foi necessário ajustá-los para uma frequência semanal, de modo a compatibilizar as demandas do projeto com as demais responsabilidades da equipe.

Resultados e aprendizados

Mesmo diante das dificuldades, os entrevistados reconheceram ganhos expressivos de aprendizado coletivo e de profissionalização do processo de desenvolvimento.

A equipe destacou que a nova sistemática estimulou a reflexão sobre as etapas críticas do projeto, promoveu o compartilhamento de conhecimento entre áreas e contribuiu para a consolidação de práticas organizacionais mais consistentes.

Os resultados indicam que a sistemática proposta elevou o nível de maturidade da gestão do processo de desenvolvimento de protótipos, especialmente por integrar aspectos técnicos, regulatórios e gerenciais em uma estrutura coerente e sistêmica.

A clareza dos papéis, a formalização das entregas e o controle documental foram percebidos como avanços que fortaleceram a governança do processo.

Segundo os entrevistados, desconsiderando as interrupções decorrentes de atividades paralelas rotineiras e emergenciais, observou-se redução no tempo total de desenvolvimento até a homologação do protótipo.

De forma geral, a equipe acredita que a sistemática contribuirá para maior eficiência e qualidade no desenvolvimento de armamentos leves, demonstrando potencial de aplicação em outros projetos da empresa.

Sugestões e oportunidades de melhoria

As principais sugestões de aprimoramento envolveram a adequação dos tempos de execução de cada *sprint* à realidade operacional, a incorporação de tecnologias digitais emergentes, como inteligência artificial, manufatura aditiva, sistemas ciberfísicos e conceitos da Indústria 4.0, e a formação de equipes dedicadas integralmente aos projetos de desenvolvimento, a fim de garantir maior continuidade e eficiência nas etapas subsequentes.

Também foi sugerida a ampliação da sistemática para outras linhas de produtos da empresa, com as devidas adaptações às especificidades e ao grau de complexidade de cada tipo de armamento.

A síntese dessas percepções está apresentada no Quadro 12, que organiza os principais pontos levantados pela equipe.

Quadro 12 - Percepções da equipe de desenvolvimento sobre a sistemática proposta

Dimensão avaliada	Percepção da equipe	Exemplos de falas coletadas
Clareza e organização do processo	Estruturação das fases e pontos de controle aumentou previsibilidade e responsabilidade	“Agora sabemos exatamente em que fase do projeto estamos e qual a importância das entregas que realizamos para as subsequentes.”
Comunicação e integração	Maior transparência e colaboração entre setores	“O envolvimento dos profissionais de diferentes setores contribuiu para que, ainda no desenvolvimento do protótipo, analisássemos aspectos críticos para as fases seguintes e aprimorássemos nossas decisões na produção e documentação técnica.”
Gestão de requisitos e rastreabilidade	Acompanhamento mais consistente das especificações, com redução de retrabalhos	“Os requisitos estão melhor controlados, não se perdem mais no processo, principalmente por causa da eliminação de decisões unilaterais.”
Agilidade na resposta a mudanças	Flexibilidade para incorporar ajustes no protótipo devido a inconformidades detectadas durante ensaios internos	“As alterações foram absorvidas de forma muito mais rápida, tanto na adaptação do protótipo quanto na atualização da documentação técnica.”
Resistências e desafios	Dificuldades em manter a equipe em dedicação exclusiva ao projeto, devido a demandas rotineiras e emergenciais	“Muitas vezes tínhamos que interromper o projeto para atender outras demandas. O bom da sistemática é que, ao retornarmos, sabíamos exatamente onde paramos, evitando atrasos adicionais.”
Aderência da sistemática à prática	O sistemática refletiu as atividades executadas, mas exigiu ajustes à realidade operacional	“A sistemática mostrou o que deveríamos fazer, mas nem sempre conseguíamos aplicar integralmente.”

Aprendizado e valorização profissional	Desenvolvimento de competências e alinhamento com boas práticas apresentadas na literatura	“Aprendemos bastante com a sistemática; ela trouxe profissionalismo ao processo. Com a interação entre setores, compreendemos melhor como nosso trabalho influencia o deles.”
Sugestões	Modernização do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves com incorporação de tecnologias digitais modernas.	“Agora que sistematizamos nossos processos, podemos evoluir para a incorporação de tecnologias digitais modernas, como a utilização dos conceitos da Indústria 4.0”

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.4.4. Discussões dos resultados

Com base nos dados apresentados nas subseções anteriores, esta discute os resultados da avaliação da sistemática proposta, consolidando as evidências obtidas nas auditorias de qualidade (Seção 4.4.1), nas conformidades dos marcos regulamentares e das avaliações técnicas (Seção 4.4.2) e na percepção da equipe de desenvolvimento (Seção 4.4.3). O objetivo é interpretar de que forma esses resultados confirmam a efetividade da sistemática ao contexto específico da BID.

A análise evidencia que a sistemática proposta atendeu aos objetivos da pesquisa, oferecendo uma estrutura que equilibra o rigor regulatório exigido pelo setor de defesa com a flexibilidade operacional necessária ao desenvolvimento de produtos complexos. Os três pilares da avaliação, conformidade de processo, eficácia técnica e aceitação organizacional, compõem uma verificação consistente da proposta.

No que se refere à conformidade de processo, os resultados das auditorias internas e externas (Seção 4.4.1) revelam avanços significativos. A obtenção de conformidade sustentada na cláusula 8.3 da ISO 9001:2015, após histórico de não conformidade na auditoria interna em projeto conduzido sem a aplicação da sistemática, demonstra que a sistematização proposta aprimora a governança e o controle do processo de desenvolvimento de protótipos. A auditoria de 2024 destacou, ainda, o uso do sistema PLM (*Windchill*®) como ponto forte, validando a integração de ferramentas digitais de gestão prevista na sistemática como um mecanismo eficaz para assegurar rastreabilidade e controle documental em ambientes regulados.

A recomendação registrada na auditoria interna de 2025, relacionada à padronização dos registros de reuniões, indica a necessidade de aprimorar a integração entre as práticas de gestão ágil e os requisitos de documentação previstos no sistema da qualidade. Essa observação evidencia um ponto de atenção recorrente em ambientes organizacionais que combinam metodologias diferentes, nos quais o equilíbrio entre a flexibilidade operacional e a

formalização de registros requer ajustes contínuos. No contexto analisado, a recomendação sugere oportunidade de melhoria na harmonização entre os procedimentos ágeis de acompanhamento das atividades e as exigências documentais associadas à conformidade regulatória.

Em relação à eficácia técnica, os resultados nas obtenções das autorizações para desenvolvimento, fabricação e avaliação técnica, juntamente com as avaliações técnicas internas confirmam a efetividade da sistemática. O sucesso obtido nesses marcos regulatórios externos e internos comprova que a sistemática orienta de forma efetiva o desenvolvimento de protótipos tecnicamente complexo. A estruturação das fases (Estudo Informacional, Conceitual, Detalhamento e Verificação) e a vinculação das entregas regulatórias às definições de pronto de cada *sprint* configuram uma estratégia prática e efetiva para navegar o complexo sistema regulatório da BID, favorecendo simultaneamente a conformidade e a progressão técnica.

Quanto à aceitação organizacional, a percepção da equipe (Seção 4.4.3) reforça a aderência e a aplicabilidade da sistemática. Os participantes da pesquisa-ação destacaram que a sistemática proposta promoveu maior profissionalismo, previsibilidade e integração entre setores, além de aprimorar a comunicação e a clareza das responsabilidades. A valorização da flexibilidade do modelo híbrido, especialmente na capacidade de incorporar ajustes durante os ensaios e revisões, confirma o benefício da incorporação de práticas ágeis no microplanejamento.

Os desafios identificados pela equipe não apontam falhas estruturais na sistemática, mas refletem limitações organizacionais recorrentes, como a dificuldade em manter equipes com dedicação exclusiva e a competição com demandas emergenciais. A necessidade de ajustar cerimônias ágeis, como converter reuniões diárias em encontros semanais, constitui um indicador da importância da adaptação contextualizada em detrimento da aplicação rígida de *frameworks*. A percepção de redução do tempo total de desenvolvimento, quando descontadas as interrupções, reforça a efetividade do fluxo de trabalho proposto.

Em síntese, a discussão dos resultados demonstra que a sistemática proposta é eficaz, controlada, híbrida e profissionalizante para o contexto da BID, conforme caracterizado a seguir.

- Eficaz: conduz à geração de um protótipo tecnicamente viável e capaz de obter homologação regulatória;
- Controlado: favorece conformidade com os requisitos da ISO 9001 e com as normas de defesa (AQAP), reforçando a governança do processo;

- Híbrido e adaptável: integra com êxito a estrutura do Stage-Gate, essencial para a conformidade regulatória, à flexibilidade do Scrum, indispensável para o desenvolvimento incremental e iterativo;
- Profissionalizante: eleva a maturidade da gestão do PDP, aprimorando a comunicação, a rastreabilidade e o aprendizado coletivo dentro da organização.

Assim, o conjunto das evidências empíricas indica que a sistematização de boas práticas proposta constitui uma alternativa viável e efetiva para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves na BID, conciliando exigências normativas com práticas contemporâneas de engenharia e gestão híbrida de projetos.

Ademais, a sistematização e a digitalização dos processos promovida pela sistemática representa um marco preparatório essencial para a transformação digital no setor, criando as bases necessárias para a futura integração de tecnologias emergentes associadas à Indústria 4.0. A padronização dos fluxos e a rastreabilidade dos dados de projeto são condições indispensáveis para que as organizações da BID avancem rumo a ecossistemas produtivos inteligentes, interconectados e orientados por dados, capazes de sustentar ganhos contínuos de desempenho e inovação tecnológica.

5. Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo geral propor uma sistematização de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves, por meio da adaptação e integração de abordagens tradicionais e híbridas de desenvolvimento de produtos ao contexto da Base Industrial de Defesa (BID), contemplando as principais regulamentações brasileiras aplicáveis.

A condução de uma pesquisa-ação na IMBEL-FI, tendo como objeto de estudo o desenvolvimento do Fuzil de Alta Precisão IMBEL 308 ISR-100/18, permitiu a aplicação e verificação da sistemática proposta em um ambiente industrial real.

A questão de pesquisa que norteou este estudo, **Como estruturar uma sistemática de boas práticas para a gestão do processo de desenvolvimento de protótipos de armamentos leves na Base Industrial de Defesa do Brasil, que integre práticas tradicionais e híbridas e, simultaneamente, assegure o atendimento às exigências regulatórias?**, foi respondida de forma satisfatória. A sistemática desenvolvida (Figura 22) demonstrou ser capaz de conciliar o rigor metodológico de modelos preditivos com a flexibilidade de abordagens adaptativas, viabilizando um processo de desenvolvimento mais estruturado, rastreável e aderente às complexas exigências normativas do setor de defesa.

O objetivo geral foi alcançado. A sistematização proposta logrou êxito em integrar as fases do PDP, como estudo informacional, estudo conceitual, detalhamento do produto e verificação do protótipo, com os marcos regulatórios mandatórios, como a ADFP e a AATP. A utilização de práticas ágeis, como adaptações do *Scrum* e *Kanban*, no microplanejamento de 14 *sprints*, conferiu a flexibilidade necessária para o desenvolvimento iterativo, enquanto a estrutura macro do *Stage-Gate* garantiu o controle gerencial e a conformidade documental exigidos.

Os objetivos específicos também foram atingidos:

- O marco regulatório nacional foi diagnosticado (Seção 4.1), identificando os instrumentos normativos e os papéis de órgãos como a DFPC, o COLOG e o CAEx;
- Modelos de referência, notadamente o Modelo Unificado de PDP de Rozenfeld *et al.* (2006), foram investigados e adaptados à realidade da BID;
- A integração entre metodologias foi explorada com sucesso, resultando na adaptação do modelo híbrido *Agile-Stage-Gate* (Seção 4.2.2), que se mostrou funcional para orientar o desenvolvimento até a submissão do protótipo para homologação.

A verificação da sistemática proposta foi validada por múltiplos indicadores, conforme detalhado na Seção 4.4. O desempenho positivo e a conformidade sustentada na cláusula 8.3 da ISO 9001:2015, atestaram a robustez da governança do processo. A recomendação de auditoria sobre a padronização de registros (Seção 4.4.1) evidenciou a necessidade de equilíbrio contínuo entre a formalidade documental exigida pela BID e a fluidez das cerimônias ágeis.

A eficácia técnica da sistemática foi comprovada pelo sucesso na obtenção das autorizações regulatórias (ADFP e AATP), pela conformidade nos ensaios internos baseados na NEB/T E-268 e pela submissão do protótipo à avaliação técnica oficial do CAEx. A percepção positiva da equipe de desenvolvimento (Seção 4.4.3) validou os ganhos de profissionalização, comunicação intersetorial, rastreabilidade e a capacidade de absorver mudanças de forma ágil.

As contribuições desta pesquisa se expressam em três dimensões complementares:

- Acadêmica: contribuição ao campo científico ao propor uma sistemática de boas práticas voltada ao setor de armamentos leves, abordando uma temática ainda pouco explorada na literatura sobre o PDP em ambientes estratégicos e altamente regulados;
- Prática: oferece às empresas da BID uma ferramenta de gestão verificada, útil para a padronização de processos, treinamento de equipes e melhoria contínua, alinhada ao uso de ferramentas adaptáveis a abordagens híbridas;
- Estratégica: fortalecimento da autonomia tecnológica e da competitividade nacional, contribuindo para a consolidação de uma indústria de defesa robusta e soberana, alinhada às diretrizes da Política Nacional da Base Industrial de Defesa.

Conclui-se, assim, que a sistemática de boas práticas proposta responde satisfatoriamente à questão de pesquisa, oferecendo uma abordagem híbrida eficaz, controlada e adaptável, que concilia as exigências normativas com as práticas contemporâneas de engenharia, fortalecendo a governança do PDP na BID.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Considerando as delimitações e limitações da presente pesquisa, recomenda-se para trabalhos futuros:

- Expansão do ciclo de vida: estender a sistemática às etapas iniciais e finais do ciclo de vida do produto, incluindo planejamento estratégico, definição de portfólio, preparação da produção, lançamento, produção seriada, manutenção e desativação, promovendo a visão completa da GPDP;

- Incorporação de requisitos específicos: Complementar a sistemática proposta para abranger as exigências adicionais de clientes estratégicos, como os órgãos de segurança pública (ex: normas SENASP), e as condições para o enquadramento de produtos como Sistema de Material de Emprego Militar (SMEM);
- Aprofundamento da transformação digital: investigar a integração de tecnologias avançadas da Indústria 4.0, como manufatura aditiva, inteligência artificial, digital *twins* e sistemas ciberfísicos, utilizando a sistemática de gestão proposta como a base fundamental para a digitalização completa do PDP;
- Aplicação a outros produtos da BID: avaliar a flexibilidade e a capacidade de adaptação da sistemática proposta no desenvolvimento de outros tipos de PCE, como munições, sistemas eletrônicos ou plataformas, verificando os ajustes necessários para diferentes níveis de complexidade;
- Análise de métricas quantitativas: realizar um estudo longitudinal para avaliar o impacto da adoção da sistemática em métricas quantitativas de desempenho do PDP, como a redução do lead time total do projeto, otimização de custos, índice de retrabalho e outros indicadores de qualidade;
- Internacionalização e normas comparadas: conduzir pesquisas complementares sobre as exigências normativas internacionais e os processos de certificação em contextos externos ao Brasil, visando a adaptação da sistemática para apoiar a inserção competitiva da BID em mercados globais;
- Sustentabilidade no PDP de defesa: Explorar abordagens sustentáveis de desenvolvimento, incorporando princípios de processos produtivos ecoeficientes e estratégias de economia circular ao PDP.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA FILHO, R. G.; ROCHA, T. F. C. **Aplicação de projeto para manufaturabilidade e montagem (DFMA) na concepção de um fuzil de alta precisão**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Manufatura Avançada) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.
- AMARAL, C. S. T.; ROZENFELD, H. Sistematização das melhores práticas de desenvolvimento de produtos para acesso livre e compartilhamento na internet. **Produto & Produção**, v. 9, n. 2, 2008.
- AMIGO, C. R. **Modelos de referência para o processo de desenvolvimento de produtos: novas possibilidades de representação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- ANDERSON, D. J.; CARMICHAEL, A. **Essential Kanban Condensed**. Nashville: Blue Hole Press, 2016. ISBN 0984521429.
- AHO, A. M.; UDEN, L. Strategic management for product development. **Business Process Management Journal**, v. 19, n. 4, p. 680-697, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 9001:2015**. Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14001:2015**. Sistemas de gestão ambiental– Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 45001:2018**. Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. D. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 2008.
- BAPTISTA, A. J.; PEIXOTO, D.; FERREIRA, A. D.; PEREIRA, J. P. Lean design-for-X methodology: Integrating modular design, structural optimization and ecodesign in a machine tool case study. **Procedia CIRP**, 69, 722-727, 2018.
- BARBOSA, G. F. **Aplicação da metodologia DFMA - Design for Manufacturing and Assembly - no projeto e fabricação de aeronaves**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-30012008-103011/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Desenvolvimento de Novos Produtos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1998.

BECK, Kent et al. **Manifesto para o Desenvolvimento Ágil de Software**. 2001. Disponível em: <https://agilemanifesto.org/iso/ptbr/manifesto.html>. Acesso em: 5 nov. 2025.

BENABDELLAH, A. C.; ZEKHNINI, K. Sustainable product development: the intersection of Design for X, Big Data and Industrial Internet of Things with fuzzy logic theory. In: **2021 Third International Conference on Transportation and Smart Technologies (TST)**. IEEE, 2021.

BOENO, M. R. S.; BOTINO, V. S.; DE AGUIAR, J. C. Reflexões epistemológicas sobre guerras contemporâneas e a política de aquisições de defesa no Brasil sob a perspectiva do advocacy coalition framework (ACF). **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 14, n. 1, 2025.

BOOTHROYD, G. Design for manufacture and assembly: the Boothroyd-Dewhurst experience. In: **Design for X: concurrent engineering imperatives**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product design for manufacturing and assembly**. New York: Marcel Dekker Inc., 2010.

BRASIL. **Lei nº 6.227, de 14 de julho de 1975**. Autoriza o Poder Executivo a constituir uma empresa pública denominada Indústria de Material Bélico do Brasil – IMBEL. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1975.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Norma Técnica NEB/T E-268**: protótipo de arma de caça de alma raiada - requisitos gerais - especificação, 1992.

BRASIL. **Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000**. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 maio 2000.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 3.665, de 20 de novembro de 2000**. Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105). Brasília: Presidência da República, 2000.

BRASIL. **Lei nº 10.826, de 22 de dezembro de 2003**. Dispõe sobre registro, posse e comercialização de armas de fogo e munição, sobre o Sistema Nacional de Armas-Sinarm, define crimes e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2003.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Brasília: Ministério da Defesa, 2012.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria nº 1.346/MD, de 28 de maio de 2014**. Credencia Empresas Estratégicas de Defesa – EED. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2014.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria Normativa Nº 9/GAP/MD, DE 13 de janeiro de 2016**. Aprova o Glossário das Forças Armadas – MD35-G-01 (5ª Edição/2015). Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Comando Logístico do Exército. **Portaria nº 56, de 5 de junho de 2017**. Dispõe sobre procedimentos administrativos para a concessão, a revalidação, o apostilamento e o cancelamento de registro no Exército para o exercício de atividades com produtos controlados e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2017.

BRASIL. **Decreto nº 10.030, de 30 de setembro de 2019**. Dispõe sobre o Regulamento de Produtos Controlados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2019.

BRASIL. Comando Logístico. **Portaria nº 118, de 4 de outubro de 2019**. Dispõe sobre a lista de Produtos Controlados pelo Exército e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 out. 2019.

BRASIL. Estado-Maior do Exército. **Portaria nº 189, de 18 de agosto de 2020**. Aprova as Normas Reguladoras dos Processos de Avaliação de Produtos Controlados pelo Exército. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Norma Técnica NEB/T E-267 B**: protótipo de arma de porte - requisitos gerais - especificação. 1º ed, 2021.

BRASIL. Comando Logístico. **Portaria nº 213, de 15 de setembro de 2021**. Aprova as Normas Reguladoras dos dispositivos de segurança e dos procedimentos para identificação e marcação de armas de fogo e suas peças, fabricadas no país, exportadas e importadas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP). **Norma Técnica nº 004/2021 – Armas Portáteis: Carabinas e Fuzis de Emprego na Segurança Pública**. Brasília, DF: SENASP, 2021.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 11.169, de 10 de agosto de 2022**. Institui a Política Nacional da Base Industrial de Defesa - PNBID. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022.

BRASIL. Comando do Exército. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Portaria DCT/C Ex nº 007, de 27 de janeiro de 2023**. Aprova as Necessidades de Conhecimentos Específicos da Linha de Ensino Militar Científico-Tecnológico para o ano de 2024, do Plano de Cursos e Estágios Gerais no Exército Brasileiro (PCE - EB), do Plano de Cursos e Estágios em Estabelecimentos de Ensino Cívico Nacionais (PCE - EECN) e do Plano de Cursos e Estágios em Nações Amigas (PCENA). Boletim do Exército, Brasília, DF, 2023.

BRASIL. Comando do Exército; Polícia Federal. **Portaria Conjunta n. 2, de 6 de novembro de 2023**. Dispõe sobre os parâmetros de aferição e listagem de calibres nominais de armas de fogo e das munições de uso permitido e restrito. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 213, p. 12-14, 7 nov. 2023.

BRASIL. Comando do Exército. **Portaria C Ex nº 2.152, de 5 de janeiro de 2024**. Aprova as Instruções Gerais para a Gestão do Ciclo de Vida dos Sistemas e Materiais de Emprego Militar (EB10-IG-01.018). 3. ed. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jan. 2024.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Norma Técnica NEB/T E-266**: protótipo de arma de caça de alma lisa - requisitos gerais - especificação. Rio de Janeiro: Diretoria de Fabricação, [s.d.].

BROWNING, T. R.; FRICKE, E.; NEGELE, H. Key concepts in modeling product development processes. **Systems engineering**, v. 9, n. 2, p. 104-128, 2006.

CARVALHO, F. L. S.; FERREIRA, J. L. Análise da maturidade do processo de desenvolvimento de produtos associados à Indústria 4.0 no mercado capixaba através de pesquisa aplicada. **Brazilian Journal of Production Engineering**, Vitória, v. 8, n. 2, 2022.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. Heavyweight product managers. **McKinsey Quarterly**, n. 1, p. 42-60, 1991.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. **Managing new product and process development: text and cases**. New York: The Free Press, 1992.

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

COOPER, R. G. **Winning at New Products: accelerating the process from idea to launch**. 2. ed. Reading: Addison-Wesley Publishing, 1993.

COOPER, R. G.; KLEINSCHMIDT, E. J. Determinants of timeliness in product development. **Journal of Product Innovation Management: An international publication of the product development & management association**, v. 11, n. 5, p. 381-396, 1994.

COOPER, R. G.; SOMMER, A. F. Agile-Stage-Gate: New idea-to-launch method for manufactured new products is faster, more responsive. **Industrial Marketing Management**, v. 59, p. 167-180, 2016.

COOPER, R. G. **Winning at New Products: Creating Value Through Innovation**. 5. ed. New York: Basic Books, 2017.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International journal of operations & production management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

DA SILVA, R. M. M. **Potencial da Utilização de Ferramentas CAE no Processo Produtivo de Cutelaria: Apresentação de Caso de Estudo**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Minho, Portugal, 2022.

DEWES, M. de F. **Projetos nacionais de inovação: práticas do setor espacial brasileiro**. 2012. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DISSELKAMP, J. P.; CIEPLY, J.; DYCK, F.; GROTHE, R.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R. Integrated product and production development-a systematic literature review. **Procedia CIRP**, v. 119, p. 716-721, 2023.

D'OLIVEIRA, C. R.; ANDRADE, G. J. B.; SILVA, C. E. S. Análise da implementação da metodologia QFD nas fases do PDP em uma empresa do ramo automotivo. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 27, p. 1-10, 2007.

DOURADO, J. P.; FERREIRA, A. C.; SILVA, R. Early Supplier Involvement Challenges in New Product Development Projects: a Bibliographic Overview of Lean Production in the Automotive Industry. **Engineering Management in Production and Services**, v. 16, n. 3, 2024.

FERNANDES, P. T.; CANCEGLIERI JÚNIOR, O.; SANT'ANNA, Â. M. O. Method for integrated product development oriented to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, p. 775-793, 2017.

FERREIRA, M. G. G. **Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

FETTKE, P.; LOOS, P. Using reference models for business engineering-state-of-the-art and future developments. In: **2006 Innovations in Information Technology**. IEEE, 2006.

FRANCISCO, M. G.; CANCEGLIERI JUNIOR, O.; SANT'ANNA, Â. M. O. Design for six sigma integrated product development reference model through systematic review. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 11, n. 4, p. 767-795, 2020.

FREIRE, R. R. A diplomacia de defesa e a estratégia da dissuasão. **Cadernos de Estudos Estratégicos**, 2021.

GIACHETTI, Giovanni; DE LA VARA, José Luis; MARÍN, Beatriz. A model-driven approach to adopt good practices for agile process configuration and certification. **Computer Standards & Interfaces**, v. 86, p. 103737, 2023. DOI: 10.1016/j.csi.2023.103737.

GINTING, R.; SATRIO, M. R. Integration of quality function deployment (QFD) and value engineering in improving the quality of product: a literature review. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020.

GOETSCH, D. L.; DAVIS, S. B. **Quality management for organizational excellence: Introduction to total quality**. 8. ed. Pearson, 2016.

IEC; ISO. IEC/ISO 81346: **Reference Designation System (RDS)**. Geneva: International Electrotechnical Commission; International Organization for Standardization, 2009.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Propulsão**: discorre sobre tipos de propulsão. Cachoeira Paulista: INPE, 2015.

KALISH, D.; BUREK, S.; COSTELLO, A.; SCHWARTZ, L.; TAYLOR, J. Integrating Sustainability into New Product Development: Available tools and frameworks can help companies ensure that sustainability is embedded as a fundamental building block of new product development. **Research-Technology Management**, v. 61, n. 2, p. 37-46, 2018.

KUO, T. C.; HUANG, S. H.; ZHANG, H. C. Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. **Computers & industrial engineering**, v. 41, n. 3, p. 241-260, 2001.

LAURENTI, Rafael; VILLARI, Bruno Domiciano; ROZENFELD, Henrique. Problemas e melhorias do método FMEA: uma revisão sistemática da literatura. **P&D em Engenharia de Produção**, v. 10, n. 1, p. 59-70, 2012.

LOBATO, K. C. D. **Sistematização de boas práticas para o processo de desenvolvimento e certificação de equipamentos médicos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

MAGRAB, E. B. **Integrated product and process design and development: the product realization process**. Boca Raton: CRC Press, 1997.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. **Guia para Elaboração de Monografia e TCC em Engenharia de Produção**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

MEERKAMM, Harald. Design for X—A core area of design methodology. **Journal of Engineering Design**, v. 5, n. 2, p. 165-181, 1994.

MENDONÇA, C. J. A. **Desenvolvimento de implante ortopédico para o tratamento da fratura de Hoffa utilizando tecnologia CAD/CAE/CAM: proposta de um novo método de fixação**. 2024. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

MONCZKA, R. M.; HANDFIELD, R. B.; GIUNIPERO, L. C.; PATTERSON, J. L. **Purchasing & supply chain management**. Cengage Learning, 2021.

MOURA, Cândido. Análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA): manual de referência. **SAE J-1739**, 2000.

MUNIZ, A.; IRIGOYEN, A. **Jornada Kanban na prática: unindo teoria e prática com o objetivo de acelerar o aprendizado do Kanban para quem está iniciando**. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2021. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MUNIZ, A.; IRIGOYEN, A.; CORRÊA, D.; TARGINO, R. **Jornada ágil do produto: unindo práticas e frameworks para capacitar Donos do Produto (Product Owners) e Gerentes de Produtos (Product Managers) com foco no fluxo de valor entregue ao cliente**. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2025.

Negrete, A. C.; Leite, A. W.; Leske, A. C.; Migon, E. X.; Côrrea, F. G.; Andrade, I. O.; Assis, J. A.; Vianello, J. M.; Ferreira, M. J. B.; Matos, P. O.; Brustolin, V. M.; **Mapeamento da base industrial de defesa**. Brasília: ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial; Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016.

NIAZI, A.; DAI, J. S.; BALABANI, S.; SENEVIRATNE, L. Product cost estimation: Technique classification and methodology review. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 128, n. 2, p. 563-575, 2006.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (NATO). **AQAP 2110:2016**. NATO Quality Assurance Requirements for Design, Development and Production. Brussels: NATO

Standardization Office, 2016.

OLIVEIRA, N. C. de P.; OLIVEIRA, E. A. de A. Q.; SANTOS, V. da S.; QUINTAIROS, P. C. R. Modelo para gestão do processo de pesquisa e desenvolvimento de produtos para saúde. **Latin American Journal of Business Management**, v. 3, n. 1, 2012.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Engineering Design: a systematic approach**. 3. ed. London: Springer Verlag, 2007.

PELISSER, C.; CAPELETTO, A.; MARTINI, J.; BET, F. J.; HOELSCHER, F. F.; ZILIO, D. M. CAD/CAE/CAM aplicados ao layout, design e modelagem industrial: uma revisão. **Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838**, v. 14, n. 1, 2021.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. Guia PMBOK. 6. ed. EUA: Project Management Institute, 2017.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. Guia PMBOK. 7. ed. EUA: Project Management Institute, 2021.

PONS, D. Project management for new product development. **Project management journal**, v. 39, n. 2, p. 82-97, 2008.

PUGH, S. **Total Design: integrated methods for successful product engineering**. London: Addison-Wesley Publishing. 1991.

RIHAR, L.; ŽUŽEK, T.; KUŠAR, J. How to successfully introduce concurrent engineering into new product development? **Concurrent Engineering**, v. 29, n. 2, p. 87-101, 2021.

RODRIGUES, A. C. **Desenvolvimento de produtos ágil: lean, scrum e lean startup-uma pesquisa-ação na indústria de medical devices**. 2019. Dissertação (Mestrado em Empreendedorismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

SCHMIDT, F. H. **Desafios e oportunidades para uma indústria espacial emergente: o caso do Brasil**. Brasília: IPEA, 2011.

SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. The scrum guide (2020). **The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game**, 2020.

SOŃTA-DRĄCZKOWSKA, E.; MROŻEWSKI, M. Exploring the role of project management in product development of new technology-based firms. **Project Management Journal**, v. 51, n. 3, p. 294-311, 2020.

STARK, J. Product lifecycle management (PLM). In: **Product lifecycle management (volume 1) 21st Century paradigm for product realisation**. Cham: Springer International Publishing, 2022.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

TOLEDO, J. C. D.; SILVA, S. L. D.; ALLIPRANDINI, D. H.; MARTINS, M. F.; FERRARI, F. M. Práticas de gestão no desenvolvimento de produtos em empresas de autopeças. **Production**, v. 18, p. 405-422, 2008.

TONDIN, R.; DREGER, A. A.; BARBOSA, L. A. Melhoria no desenvolvimento de produto: uma aplicação da ferramenta FMEA. **Revista Espacios**, v. 38, p. 18, 2017.

ULLMAN, D. G. **The Mechanical Design Process**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D.; YANG, M. **Product design and development**. 7. ed. New York: McGrawHill, 2019.

VIEIRA, A. V. **Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecânicos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2016.

YAN, Z.; TU, G.; HE, J. Integrated product and process development of clutch friction material using quality function deployment processes. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018.